



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Revalorización de pencas mermadas de *Opuntia* mediante la obtención de hidrocoloides: una alternativa en pymes nopaleras

Revalorization of waste matter of cactus cladodes *Opuntia* obtaining hydrocolloids: an alternative in SMEs nopaleras

Sánchez-Gutiérrez, A.E.^a, Soto-Zarazúa, G.M.^a, Rodríguez-González, S.^b

^a Facultad de Ingeniería, Campus Amazcala, Universidad Autónoma de Querétaro, Carr. Chichimequillas S/N Km 1, Amazcala, El Marqués, Qro. 76265, México.

^b Laboratorio de Rumiología y Metabolismo Nutricional, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, Blvd. Juriquilla 3001, Juriquilla 76230, Querétaro, Qro.
genaro.soto@uaq.mx; diarantzaelena@uaq.mx; shary_200@hotmail.com

Innovación tecnológica: alternativa sostenible para el aprovechamiento de residuos orgánicos para la extracción de hidrocoloides.

Área de aplicación industrial: extracción de pectina y mucílago como potenciales en el sector industrial (alimentario, farmacéutico y biotecnológico).

Recibido: 14 junio 2021

Aceptado: 04 abril 2022

Abstract

In current times nopal producing small and medium-sized enterprises in Mexico have been economically affected because of the overproduction of this vegetable, having as a result a huge generation of organic waste. The present article's main objective is to evaluate the feasibility of hydrocolloid (mucilage and pectin) extraction from the discarded cladodes (*O. ficus-indica* y *O. robusta*). In order to separate the content fractions of polysaccharides present in cladodes the adaptation of alkaline process aided with a sequestering agent, an isolation and purification of hydrocolloids was carried out. Having as a variable response yield, in addition to the analysis of costs and characterization of the degree of esterification and an FTIR of the soluble and insoluble matter. Pectins and mucilage extraction is feasible in discarded nopal cladodes with the developed methodology, regardless of the presence of unhealthy physical characteristics and abnormalities which hinder its sale. *Opuntia robusta* turns out to have double dry-weighted yield of both hydrocolloids (mucilage and pectin). Nevertheless, drying time of the hydrocolloids extracted proves to be way higher than *Opuntia ficus-indica*. The extraction of present hydrocolloids can be

an alternative to increase nopal producing profits as a result of the great importance for food, cosmetics, and biotechnology industries that the extracted compounds boast. Allowing to generate a revaluation of waste, reducing organic excess and favoring the environmental factor.

Keywords: Extraction of mucilage and pectin, *O. ficus-indica*, *O. robusta*, Small and Medium-Sized Enterprises, Use of organic waste.

Resumen

Actualmente las pequeñas y medianas empresas productoras de nopal (*Opuntia spp.*) en México se han visto afectadas de manera económica debido a la sobreproducción de este vegetal, resultando en una gran generación de residuos orgánicos. El objetivo de este artículo fue evaluar la factibilidad para la extracción de hidrocoloides (mucílago y pectina) en pencas mermadas de nopal (*O. ficus-indica* y *O. robusta*). Para separar las fracciones contenientes de polisacáridos en mermas de nopal, se llevó a cabo la adaptación de un proceso alcalino auxiliado con un agente secuestrante, un aislamiento y la purificación de los hidrocoloides. Teniendo como variable respuesta el rendimiento, además del análisis de costos, caracterización del grado de esterificación y un FTIR de la materia soluble e insoluble. La extracción de pectina y mucílago es factible en pencas de nopal mermadas con la metodología desarrollada, sin importar la presencia de características físicas no sanas y deformidades presentadas que dificultan su venta. *Opuntia robusta* resulta con el doble de rendimiento en peso seco para ambos hidrocoloides (mucílago y pectina). Sin embargo, el tiempo de secado de los hidrocoloides extraídos resulta ser mucho mayor que en *Opuntia ficus-indica*. La extracción de estos hidrocoloides es una alternativa para incrementar las utilidades de las pequeñas y medianas empresas nopaleras, debido a que los compuestos extraídos son de importancia para las industrias de alimentos, cosméticos y biotecnológicas. Permitiendo generar una revalorización de residuos, disminuyendo los desechos orgánicos y favoreciendo el factor ambiental.

Palabras clave: Aprovechamiento de residuos orgánicos, Extracción de mucílago y pectina, *O. ficus-indica*, *O. robusta*, Pequeñas y medianas empresas nopaleras.

I. Introducción

El nopal del género *Opuntia spp.*, es definida como una cactácea originaria del continente americano presente en zonas áridas y semiáridas de todo el territorio nacional con importante producción agroeconómica. En los últimos años el cultivo del nopal en México se ha incrementado pasando de 400 mil toneladas en el 2002 a 812 mil toneladas en el 2019 [1], provocando una sobreproducción, la cual ha afectado a pequeños productores de manera económica.

Esto último, como resultado de las malas prácticas de cultivo, las pocas cadenas agroindustriales para su venta y exportación y la falta de investigación en la postcosecha, lo cual ha provocado que el 53.26% de la producción de nopal se pierda y desperdicie [2].

La parte del nopal clasificada como merma o desperdicio es conocida como penca o cladodio, estas son desechadas debido a que no cumplen con las normas de calidad oficiales. La norma mexicana NMX-FF-068-

SCFI-2006 la cual se refiere a las condiciones y características como deformidades y tamaño que debe tener el nopal verdura de los géneros *Opuntia spp.* y *Nopalea spp.* destinados a consumo humano y comercialización nacional [3-4] y la norma CODEX STAN 185 que es aplicada a las variedades comerciales como *Opuntia ficus-indica*, *O. tomentosa*, *O. hyptiacantha*, *O. robusta*, *O. inermis*, *O. undulata*, de la familia Cactaceae, que habrán de suministrarse frescos al consumidor, después de su acondicionamiento y envasado, y que hace mención a que la materia prima recolectada debe estar entera, sana, limpia, exenta de daños causados por plagas, climas, manchas y espinas, con consistencia firme, y presentar un rango de madurez satisfactorio [5]. Por lo tanto, no pueden ser utilizadas para consumo humano originando grandes pérdidas económicas en los agricultores [6-7].

En México existen alrededor de 11 mil productores de nopal, los cuales se diversifican por la finalidad que su materia prima tiene como: nopal verdura para alimento humano, nopal forrajero para alimento de ganado, nopal para producción de tuna y su origen como nopal orgánico. Estos cultivos nopalersos son catalogados por la secretaría de economía como pequeñas y medianas empresas (pymes) debido a su producción moderada. Sin embargo, este tipo de empresas representan un papel importante en el desarrollo económico del país [8]. La mayoría de los esfuerzos en este tipo de empresas se han enfocado a obtener una sostenibilidad mediante el aprovechamiento de sus recursos principalmente centrados en su crecimiento económico, previendo factores de tipo ambiental, los cuales pueden ayudar a su éxito.

Vinculado con el aprovechamiento de sus residuos o mermas, el nopal es una planta que contiene una gran cantidad de compuestos bioactivos, los cuales son definidos como

aquellos que tienen efectos benéficos para la salud del ser humano [9]. Entre estos compuestos bioactivos se encuentra la fibra dietaria principalmente, la cual está compuesta de polisacáridos que son sustancias viscosas (mucílagos y pectinas) causantes de los efectos benéficos debido a su capacidad para retener agua [10] lo cual le permite a la planta sobrevivir a climas extremos.

Los compuestos benéficos (particularmente el butirato) son producidos al llegar al intestino grueso y al ser fermentados por el microbiota en el colón, resultan en ácidos grasos de cadena corta (AGCC). Estos compuestos benéficos tienen un efecto antiinflamatorio ayudando al proceso digestivo, acelerando el tránsito intestinal e inhibiendo la absorción de carbohidratos (azúcares), lípidos (grasas) y colesterol [11-12]. Repercutiendo en la disminución de inflamación en el intestino grueso y ejerciendo efectos atenuantes en los niveles de estos compuestos en la sangre, influyendo en la mejora y control de diabetes, obesidad, cáncer de colon y enfermedades cardiovasculares [13]. Además, la fibra dietaria incrementa la saciedad e inhibe el apetito debido a la producción de leptina en el estómago. La leptina es la hormona reguladora del apetito, encargada de mandar la señal de saciedad al cerebro [14-15].

Los polisacáridos (mucílago y pectina) son catalogados como hidrocoloides de origen vegetal y se localizan en diferentes partes de la planta en altas concentraciones. Estos hidrocoloides son metabolitos secundarios que funcionan como mecanismo de defensa ante la sequía y el interés sobre estos se ha incrementado debido a que son de fácil acceso, bajo costo y sus usos son variados [16-17]. Los hidrocoloides (mucílago y pectina) tienen propiedades de interés para la industria alimentaria, cosmética, farmacéutica y de construcción ya que logran

funcionar como sustitutos de componentes industriales como recubrimientos, gelificantes y espesantes, los cuales logran mejorar propiedades físicas, organolépticas y mecánicas [18].

El mucílago de nopal es ácido debido a su estructura, la cual se identifica por tener un alto contenido de carbohidratos de alto peso molecular, conformado por pentosas y hexosas, entre las que destacan: Arabinosa (24.6–42%), galactosa (21–40%), ácido galacturónico (8–12.7%), rhamnosa (7–13.1%) y xilosa (22–22.2%) [19]. Este mucílago se caracteriza por ser usado como laxante debido a su actividad como fibra dietaria, la cual funciona como agente que facilita el vaciado intestinal. Por otra parte, el nopal también contiene pectina la cual se conforma por largas cadenas de α -D- (1→4) ácido galacturónico unidas a residuos de L-ramnosa con cadenas laterales de azúcares neutrales y que posee propiedades gelificantes [20]. Comercialmente la pectina es extraída de desechos de las pieles de las frutas como la manzana, mango y cítricos, para darle un valor agregado a este desperdicio [21]. Esta pectina es usada en industrias cosméticas, farmacéuticas y de alimentos como aditivos, agentes espesantes y gelificantes [22- 23].

Sin embargo, según el conocimiento reportado las características de los hidrocoloides extraídos de pencas mermadas de nopal con particularidades físicas no sanas como daños por plagas, climas, manchas y espinas, con consistencia madura y fracciones incompletas de las especies *O. ficus-indica* y *O. robusta* no ha sido informado por completo. Los objetivos de este estudio fueron reportar la adaptación de la metodología de extracción, los rendimientos, la caracterización del grado de metil-esterificación (DM) y un análisis estructural FTIR de los hidrocoloides presentes. Con la intención de brindarle un valor agregado a las

mermas de nopal en pymes nopaleras siendo una alternativa para generar beneficios económicos y potencializar su sostenibilidad.

II. Materiales y equipo

Para esta investigación se utilizó la merma (cladodios) de dos especies de *Opuntia* producidas en el Estado de Querétaro a campo abierto con edad de 1 a 2 años y ciclo de producción primavera-verano. La especie *Opuntia ficus-indica* V1 fue recolectada en la PyME nopalera XATA (dedicada al cultivo de nopal orgánico para consumo humano) en el municipio de Corregidora ubicado al Suroeste del Estado de Querétaro, entre las coordenadas 20° 23" y 20° 35" de latitud Norte y entre los 100° 22" y los 100° 31" de longitud Oeste. La especie *Opuntia robusta* fue recolectada en el ejido de la comunidad de Ajuchitlán en el municipio de Colón ubicado en el centro-Oeste del Estado de Querétaro en la latitud Norte 20° 34" a 20° 56" y en la longitud Oeste 99° 56" a 100° 16", dedicado a la producción de tuna bondota (usada como alimento para ganado y elaboración de pulque). Las pencas recolectadas de acuerdo al tamaño registrado y la etapa de madurez en la que se encontraban son llamadas nopal maduro y son clasificadas como mermas por no cumplir con las normas antes descritas.

Los reactivos utilizados fueron hidróxido de sodio (0.5 N, J.T. BAKER), hexametáfosfato sódico (65%, 500 g, GOLDEN BELL), ácido clorhídrico (35.5% - 38.0%, J.T. BAKER) y etanol (96%, J.T. BAKER). Los equipos utilizados fueron la centrifugadora (VELOCITY 14R, METRIX), pH metro (LAQUA F-72) y mufla (DYNAMICA, air performance).

Los análisis se realizaron en el laboratorio de Bromatología de la Facultad de Ingeniería en la Universidad Autónoma de Querétaro, campus Amazcala ubicado en el municipio de el Marqués, Querétaro.

III. Métodos experimentales

En la Figura 1 se describe el procedimiento para la extracción de pectina y mucílago de *O. ficus-indica* y *O. robusta*, la cual se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Goycoolea y Cárdenas (2003) [24] y adaptada por Rodríguez-González y col. (2011) [25].

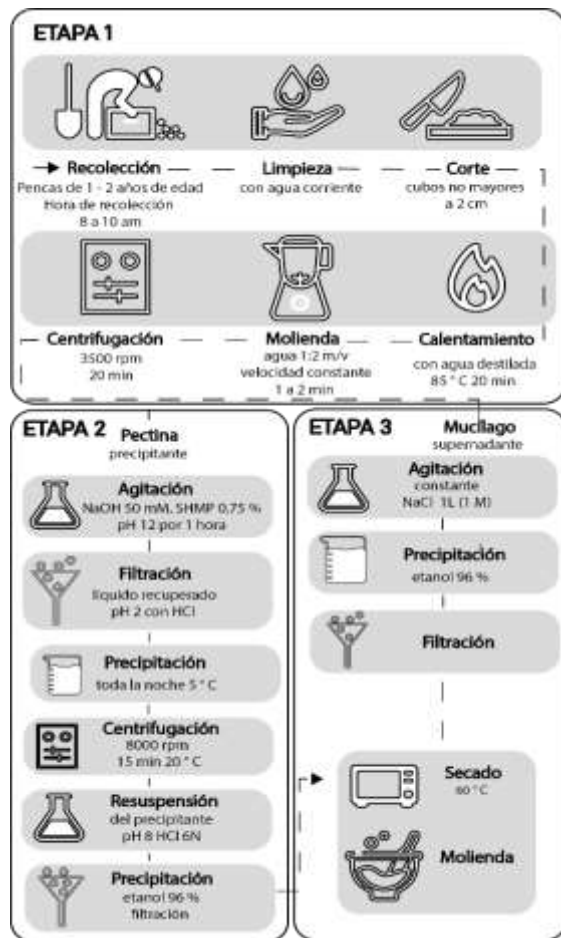


Figura 1. Metodología experimental para extracción de pectina y mucílago.

Etapa 1- Recolección de materia prima y separación de hidrocoloides

Como se observa en la Figura 1, la primera etapa fue la recolección de materia prima (cladodios), realizada en un horario de 8:00 a.m. a 10:00 a.m. debido al Metabolismo Ácido de las Crasuláceas (CAM) presente en este tipo de plantas. Los cladodios fueron trasladados al laboratorio y limpiados con agua corriente (1 L y 1 mL de NaClO por 15

s). Estos pasaron a ser desespinaados con el uso de un cuchillo casero. Posteriormente, fueron cortados de manera manual en trozos uniformes de 2 ± 0.5 cm. Muestras de 300 g de penca mermada y cortada en cuadros se colocaron en un vaso de precipitado en una relación 1:2 (m/v) con agua destilada, estos fueron calentados a 85 °C, durante 20 min sin agitación. Después, la muestra se dejó enfriar a temperatura ambiente, el pH fue ajustado a 7 – 7.5 (con NaOH 3N 3 mL) y se realizó una molienda en licuadora (Oster Clásica) a velocidad constante durante 3-4 min y con un nivel 3, agregando agua destilada 1:2 (m/v). La suspensión se centrifugó a 3500 rpm por 20 min a 23 °C [24].

La separación de los hidrocoloides se hizo por centrifugación del sobrenadante (mucílago) y del precipitado (pectina) [24].

Etapa 2- Aislamiento y purificación de pectina

Para la purificación de la pectina (precipitado) se aplicó el método descrito por Goycoolea y Cárdenas (2003) [24], con alcohol etílico (96%). El precipitado fue mezclado en una suspensión de NaOH 50mM y sodio de hexametáfosfato 0.75% (50 g/ 1 L) (pH 12) y se agitó durante una hora. Posteriormente se filtró con una tela de algodón, al líquido recuperado se ajustó pH 2 (HCl 6N) y se agitó por 10 min [26]. La muestra se reposó a 5 °C durante toda la noche para promover su precipitación.

Se realizó una centrifugación (8000 rpm por 15 min a 20 °C), el precipitante fue pesado y resuspendido en agua con pH ajustado a 8 (NaOH 3N) para la obtención de la pectina purificada. Posteriormente se mantuvo la solución en agitación constante, agregando etanol (96%) hasta la suspensión de la pectina (300 g de muestra / 7 L de etanol), esta se dejó reposar (5 h aprox.). Para la obtención de mayor contenido de pectina la mezcla se filtró

en una bomba de vacío (Chemker 300 presión 300A, AC110V, 60Hz. con una manguera de alta y filtro Whatman 1). El material recolectado (pectina purificada) se secó en estufa a 60 °C [27]. Por último, se molió, se pesó y se envasó a temperatura ambiente.

Etapa 3- Aislamiento y purificación de mucílago

Para la purificación del mucílago (sobrenadante), se agregó 1 L de solución de NaCl (1 M) al líquido contenido de este hidocoloide (500 mL), se agitó constantemente durante 20 min [28]. Posteriormente se agregó etanol (96%) hasta lograr la precipitación [29]. La muestra se dejó reposar por 16 h a temperatura ambiente y después se filtró al vacío (Chemker 300 presión 300A, AC110V, 60Hz. con una manguera de alta y filtro Whatman 1), el material fue recolectado y secado a 60 °C, pasando a su molienda, pesado y envasado a temperatura ambiente.

Rendimiento

Los rendimientos de pectina y mucílago extraídos se calcularon de acuerdo al método de Seggiani y col. (2009) [30], utilizando la Ec. (1).

$$\%R = \frac{P \text{ ó } M (g)}{PS (g)} \times 100\% \quad (\text{Ec. 1})$$

%R (Porcentaje de Rendimiento), P (Pectina), M (Mucílago), PS (Peso promedio de Pencas en Base Seca).

Grado de Metil-esterificación (DM)

Se usó el método de titulación propuesto por Santos et al., (2020) [31] por triplicado, obteniendo un promedio de cada muestra y se usó la Ec. (2) para obtener el porcentaje de grado de metoxilación y descrito en la figura 2, para la caracterización de los hidocoloides.

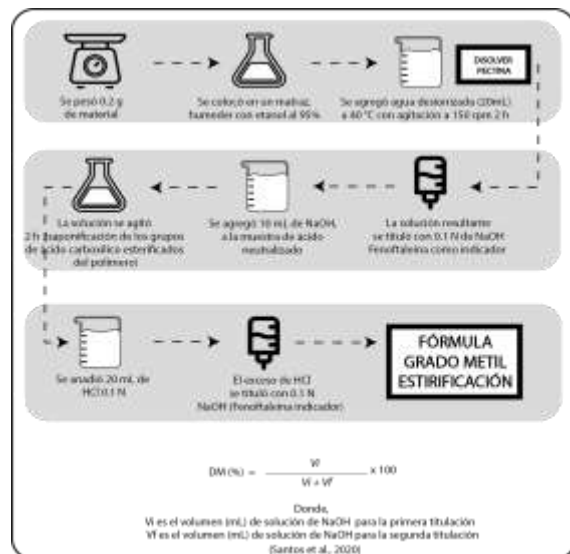


Figura 2. Metodología para la caracterización del Grado de Esterificación.

La pectina se pesó (0.2 g) y fue colocada en un matraz Erlenmeyer, se humedeció con unas gotas de etanol al 95%. Se agregó agua desionizada (20 mL) a 40 °C, con agitación continua a 150 rpm durante 2 h para disolver la pectina. La solución resultante se tituló con 0.1 N de NaOH, usando fenolftaleína como indicador. Después de eso, se agregaron 10.00 mL de la solución de NaOH 0.1 N a la muestra de ácido neutralizado y la solución se agitó durante 2 h para saponificar los grupos de ácido carboxílico esterificados del polímero. Posterior, se añadieron 20.00 mL de HCl 0.1 N. El exceso de HCl se tituló con 0.1 N NaOH, también usando fenolftaleína como indicador.

$$DM (\%) = \frac{V_i}{V_i + V_f} \times 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde, Vi es el volumen (mL) de solución de NaOH para la primera titulación y Vf es el volumen (mL) de solución de NaOH para la segunda titulación.

Espectroscopia FTIR

Los grupos funcionales presentes en las pectinas y mucílagos extraídos de las dos especies de nopal se determinaron mediante

FTIR, por el método de transmisión (muestra laminada), leída directamente [32]. Además, se realizó el desarrollo de la molécula con la lectura del FTIR y la vibración de los grupos funcionales.

Análisis estadístico

Se realizó un diseño completamente aleatorizado, donde el factor es la especie de nopal *O. ficus-indica* u *O. robusta*, las variables respuestas fueron el rendimiento de pectina y mucílago con 3 repeticiones y, los resultados se expresaron como promedio y desviación estándar, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) y una comparación múltiple de medias Tukey con nivel de significancia 0.5 para comparar los rendimientos obtenidos de cada especie.

IV. Resultados y discusión

a. Recolección de pencas mermadas

En cada poda se merma alrededor de 4.5% de la producción por hectárea que equivale a 450 kg, es decir, un total de \$4,207.5 tomando el precio actual del nopal de \$9.35 x kg [33]. Una penca de nopal entre 1 a 2 años tiene un peso promedio de 1.1 kg sin importar la especie; concordando con lo reportado por Lefsih y col. (2015) [23] donde el peso reportado para producto nacional es de 1.6 kg y para exportación de 1.2 kg.

Las pencas de *O. ficus-indica* tienen un promedio de 28.27 ± 2.62 cm de alto y un promedio de 16.2 ± 2.81 cm de ancho debido a su forma ovalada. A diferencia de la especie *O. robusta* las cuales tienen un promedio de 22.1 ± 3.6 cm de alto y 19.6 ± 3.4 cm de ancho debido a su forma casi redonda, y concertando Valdez y col. (2008) y Galicia-Villanueva y col. (2017) [34-35] tienen un peso que oscila entre 1.08 ± 1.12 kg.

De acuerdo con la observación realizada las manifestaciones no sanas descritas

anteriormente en la norma CODEX STAN 185 (la materia prima recolectada debe estar entera, sana, limpia, exenta de daños causados por plagas, climas, manchas y espinas, con consistencia firme, y presentar un rango de madurez satisfactorio y deformidades) son más notorias para la especie *O. ficus-indica*, sólo el 10% no muestra estas características, cabe señalar que el nopal es un producto percedero con un corto ciclo de vida, alrededor de 10 días y como menciona Salvador-Trujillo y col. (2019) [7] en estos cultivos llegan a presentarse mermas o desperdicios que van desde el 20 al 30% del producto.

b. Rendimientos de pectina

La formación de polisacáridos estructurales como la pectina en nopales, se debe al sistema de Metabolismo ácido de crasuláceas (CAM) en donde las estomas permanezcan abiertas durante la noche y cerrados durante la mayor parte del día, resultando en una pérdida mínima de agua, permitiendo que este tipo de plantas ahorren grandes cantidades de agua y puedan desarrollarse en condiciones hostiles [19].

El rendimiento de Pectina Total (PT) obtenido a partir de pencas mermadas de nopal de *O. ficus-indica* fue de $0.58 \pm 0.14\%$, los resultados para PT en la especie *robusta* fueron de $1.25 \pm 0.18\%$ en base seca. La pectina de nopal representa un rendimiento que va desde el 0.6% [36], con el cual deducimos que por cada 10 kg de nopal se obtiene alrededor de 67.15 g de pectina en polvo [37] usando un medio alcalino en presencia de un agente secuestrante, concordando con los resultados obtenidos en el presente estudio.

Los resultados muestran que existe una diferencia entre en el rendimiento de pectina respecto a la especie *Opuntia ficus-indica* (OFI) y la especie *Opuntia robusta* (OR) con

una $p < 0.0075$ de acuerdo con Tukey-Kramer. Cabe mencionar que se requirió de un tiempo de secado de 3.30 h para *O. ficus indica* y 16 h para *O. robusta* con una temperatura de 60 °C, lo que sugiere, que *O. robusta* contiene un mayor porcentaje de humedad 95%, concordando con Torres y col. (2016) [38]. Resultado que nos sugiere aumentar la temperatura de secado para OR con el objetivo de disminuir el tiempo de secado, y que nos confirma que a menor

rendimiento menor tiempo de secado variables que se correlacionan.

Villareal y col. (1963) [39] mencionan que el contenido de pectinas en varias especies de *Opuntia* van en rendimientos de 0.13 a 2.14% en base húmeda que equivale a 1.00 a 23.87% en peso seco, tomando en cuenta variables como especie, estado de madurez, temperatura y método de extracción [40-42] (Figura 3).

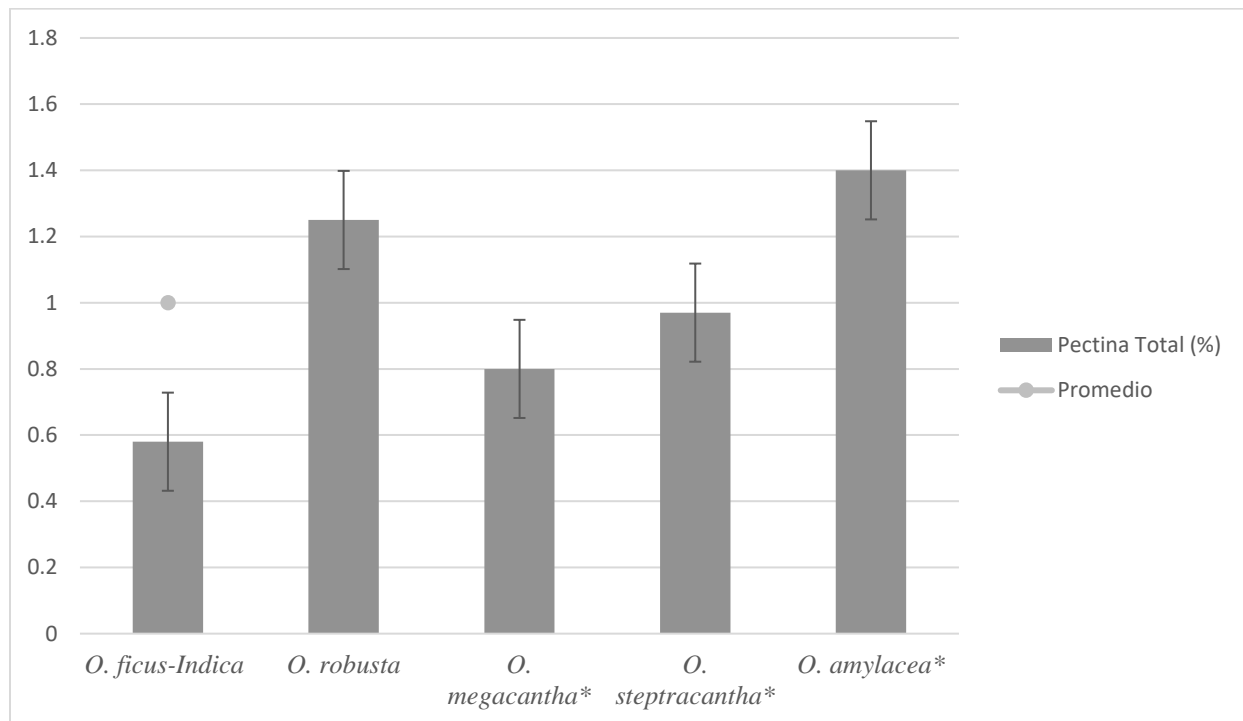


Figura 3. Contenido de Pectina Total en diferentes especies de *Opuntia* spp. *[40-42]. El rendimiento reportado para *O. ficus-indica* y *O. robusta* es el obtenido en este estudio.

En la Figura 3 se observa el contenido de PT de alto grado de esterificación en diferentes especies de *Opuntia*, podemos resaltar que el contenido obtenido en este estudio y reportado en la figura anterior para *O. robusta* se acerca al contenido de PT de *O. amylacea*. Siendo estas dos especies las que tienen un mayor porcentaje de PT. Sin embargo, la especie *O. robusta* es mayormente comercializada en el centro del país, teniendo mayor cantidad de mermas. Concordando con la investigación realizada por Gooycolea y

Cárdenas (2003) [24] la cantidad de pectina encontrada para *O. robusta* conocido como nopal “camueso o bondote” duplica el rendimiento en comparación con *O. ficus-indica*. Aza y Méndez (2011) [37] mencionan que para obtener una pectina de calidad con buen rendimiento se deben usar pencas de 1 año, con las siguientes condiciones de extracción, temperatura de 80 °C por 30 min. Sin embargo, al usar las condiciones de nuestro estudio 85 °C por 20 min, se logró incrementar los rendimientos. A pesar que,

los rendimientos de pectina obtenidos en el presente estudio para *O. ficus-indica* u *O. robusta* extraídos con el método alcalino, no son comparables con los rendimientos obtenidos en mermas de otros desechos cítricos debido a que son de diferente género (Tabla 1), algunas propiedades mecánicas como el porcentaje de enlongación (%) y resistencia a la tracción (MPa) son mejores que las fuentes actuales, esto debido a su

composición de sus azúcares, pudiendo ser comparada con la composición de azúcares de la pectina obtenida de la piel de limón [42]. Además, que el nopal tiene ventajas como materia prima debido a su facilidad de cultivo, atemporalidad, resistencia a climas extremos, bajo presupuesto para su cultivo y que se encuentra distribuido en todo el territorio mexicano [43].

Tabla 1. Rendimiento de pectinas de diferentes residuos de industrias en peso seco.

Fuente mermada	Pectina %	Metodología de extracción	Referencia
<i>O. ficus-indica</i>	0.6	Proceso alcalino con la presencia de un agente secuestrante	Presente estudio
<i>O. robusta</i>	1.5	Proceso alcalino con la presencia de un agente secuestrante	Presente estudio
Cáscara ñame	10.2	Hidrólisis ácida	Moreno y col. (2020) [44]
Uva tinta	7.73	Hidrólisis ácida	Mojica y col. (2019) [45]
Cáscara de piña	1.15	Hidrólisis ácida	Guevara y col. (2020) [46]
Cáscara de melón	3.8	Hidrólisis ácida	Mathukumaran y col (2017) [47]
Cáscara de plátano	7.65	Hidrólisis ácida	Vasquez y col. (2015) [48]

c. Rendimientos de mucílago

Los rendimientos obtenidos para la extracción de mucílago a partir de pencas mermadas de nopal para *O. ficus-indica* fue de $0.97 \pm 0.05\%$ y para *O. robusta* de $1.5 \pm 0.09\%$.

Las condiciones óptimas mencionadas por Rodríguez-González y col. (2011) [25] y tomadas en cuenta en la metodología para la extracción del hidrocoloide mucílago en el presente trabajo, mejoraron el rendimiento en peso seco obtenido. Rodríguez-González y

col. (2011) [25] obtuvieron un rendimiento en peso seco máximo de 0.5 – 0.6%, este se incrementó en un 0.3% para *O. ficus-indica*.

De acuerdo con Tukey-Kramer para el rendimiento de mucílago respecto a la especie *Opuntia ficus-indica* (OFI) y la especie *Opuntia robusta* (OR) se obtuvo una diferencia significativa ($p < 0.000524$) (Fig. 4). Con un tiempo de secado de 3.30 h para *O. ficus-indica* y 16 h para *O. robusta.*, al igual que en el hidrocoloide anterior pectina. Sin embargo, un estudio menciona un rendimiento máximo de 6.91% [49].

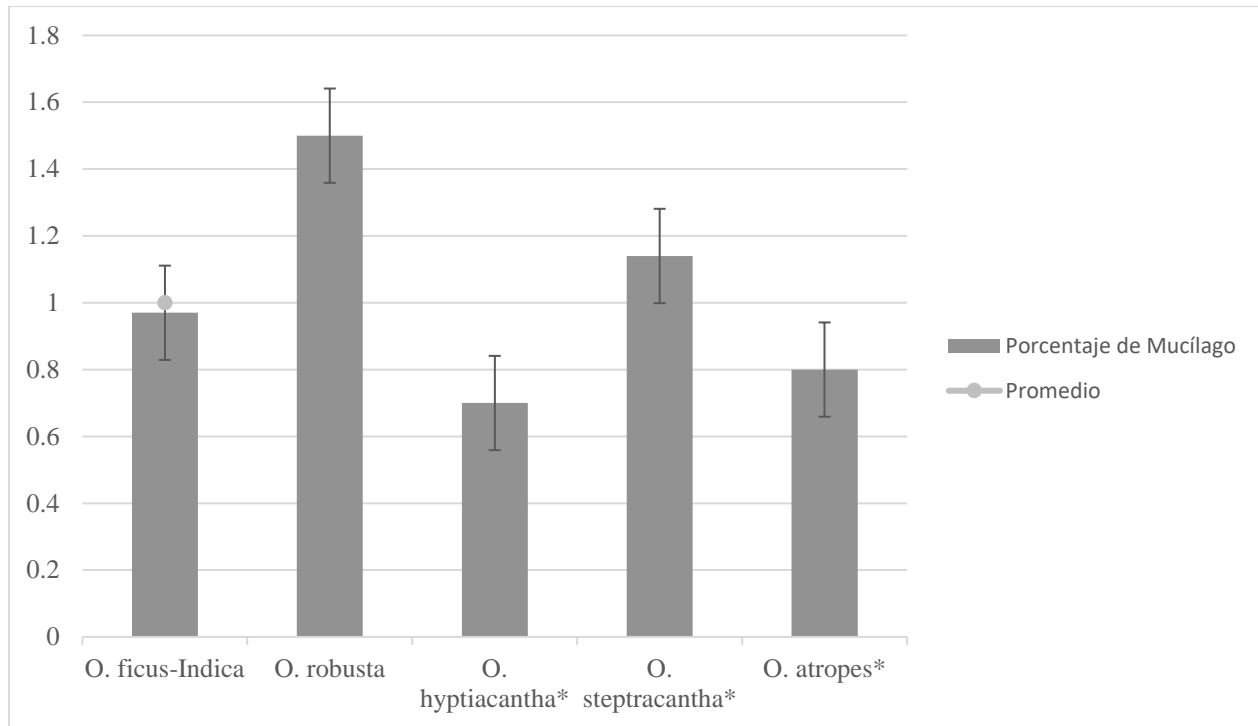


Figura 4. Contenido de mucílago en diferentes especies de *Opuntia spp.* *[48-50].

En la Figura 4, el rendimiento obtenido en el presente trabajo para *O. robusta* sobre sale de las especies estudiadas en otros trabajos (*O. ficus-indica*, *O. robusta*, *O. hyptiacantha*, *O. streptacantha* y *O. atropes*). A pesar del alto contenido de mucílago en pencas de *O. robusta* sus estudios son precarios [51]. Sin embargo, se sabe que el contenido de fibra cruda insoluble es mayor en esta especie (17.63%) [52], por lo tanto, a partir de su composición química el contenido de hidrocoloides es mayor, concordando con lo comprobado en el presente estudio. *O. robusta* es reconocido por su amplia distribución en el centro del país de manera

silvestre y el uso de sus tunas, y sin embargo, la penca no ha sido domesticada con fines económicos.

d. Grado de Metil-esterificación (DM)

El DM de los hidrocoloides puede relacionarse con un alto grado de metil esterificación (HDM) (DM>50) o un a bajo grado de metil esterificación (LDM) (DM<50) [53], lo cual le proporciona propiedades a la sustancia estudiada (Tabla 2).

Tabla 2. Caracterización mediante el método de titulación.

Muestra	Sustitución Fórmula	Resultado	Clasificación
OFI-P	$DM (\%) = \frac{4.5 \text{ ml}}{4.5 \text{ ml} + 1.4} \times 100$	71.42%	HDM
OFI-M	$DM (\%) = \frac{0.4 \text{ ml}}{0.4 \text{ ml} + 2.8} \times 100$	12.5%	LDM
OR-P	$DM (\%) = \frac{3.9 \text{ ml}}{3.9 \text{ ml} + 2.8} \times 100$	58.2%	HDM
OR-M	$DM (\%) = \frac{0.2 \text{ ml}}{0.2 \text{ ml} + 2.6} \times 100$	7.14%	LDM

*OFI-P = Opuntia ficus-indica- pectina, OFI-M = Opuntia ficus- indica. Mucilago, OR-P = Opuntia robusta- pectina, OR-M = Opuntia robusta- mucilago.

De acuerdo a los resultados obtenidos las muestras pueden ser divididas en dos tipos de sustancias, las pectinas con un HDM las cuales pueden ser comparadas con pectinas comerciales como la obtenida de la cáscara de naranja la cual tiene un DE 70.49% [54]. Los mucilagos como sustancias con un LDM los cuales para la formación del gel requieren la presencia de cationes divalentes, generalmente con la ayuda de calcio [55].

e. ATM-FTIR

Para la identificación molecular de pectina se utilizó una Reflexión Total Atenuada Fourier-Transformada de espectroscopia Infrarroja (ATM-FTIR), en el cual el número de ondas de las pectinas extraídas fueron en un rango de 1000 cm^{-1} a 4000 cm^{-1} , teniendo vibraciones en los tipos de enlaces de alcoholes, metilos, amidas, éteres y alcoholes secundarios enlaces pertenecientes a la estructura general de las pectinas (Fig. 7).

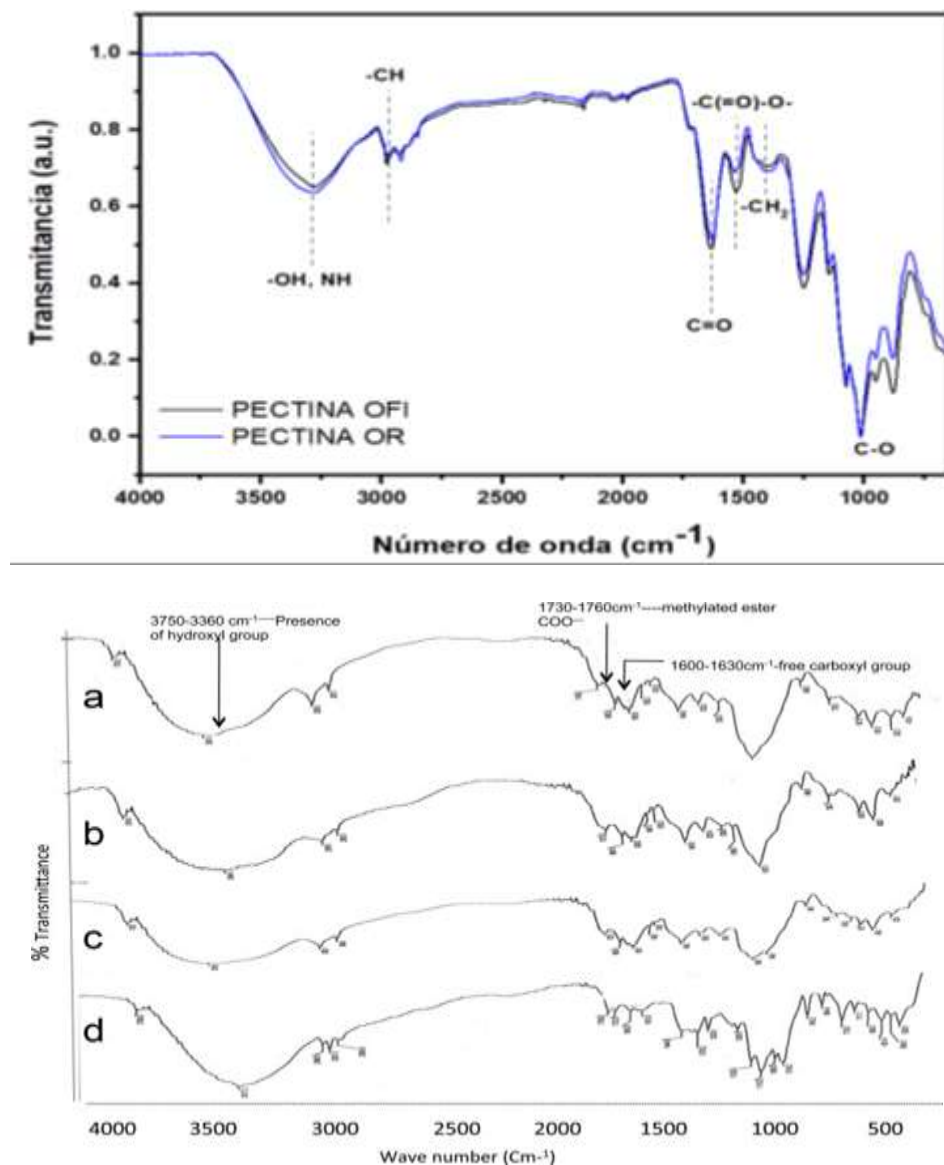


Figura 7. ATM-FTIR pectinas extraídas de dos especies de nopal (elaboración propia) y su comparación con otro estudio [56].

Confirmando la identidad del extracto de pectina de cladodio de nopal y con la estimación del grado de esterificación, se encontró que los espectros del extracto precipitante (pectina) exhibieron similitudes en su patrón de transmitancia con el de los estándares comerciales de pectina. El espectro FTIR en el rango de longitud de onda 1200 y 850 cm^{-1} se considera como la región de huella digital para los carbohidratos, ya que permite la identificación de los principales grupos químicos en los

polisacáridos. Por lo tanto, las similitudes del extracto obtenido de pencas mermadas de nopal con los espectros estándar de pectina en la región de huella digital sugieren que el extracto es efectivamente pectina, en ambas especies de nopal. Las pectinas alto grado de esterificación se determinaron utilizando la relación del área del pico de los grupos carboxilo libres (1650 cm^{-1}) y los grupos esterificados (1750 cm^{-1}). Dando como resultado una molécula de pectina (Fig. 8).

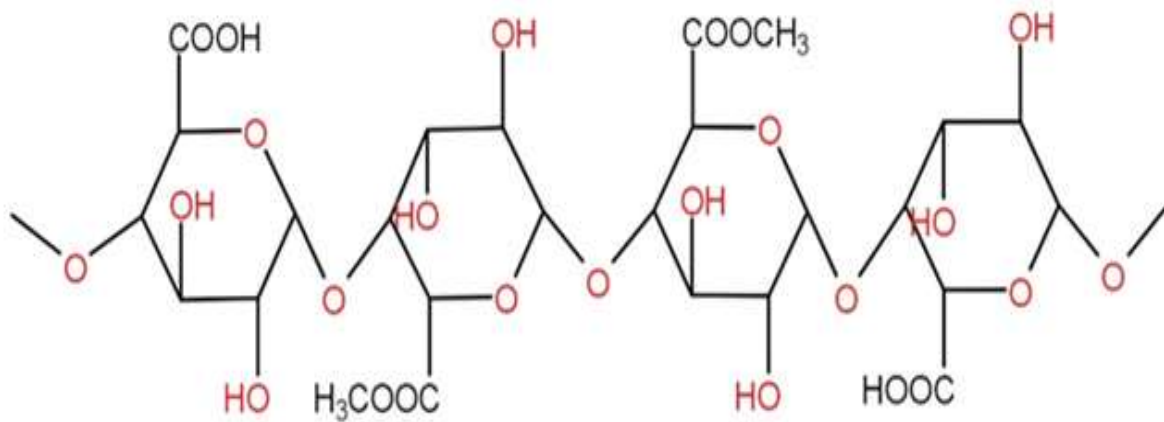


Figura 8. Estructura parcial para pectinas de *Opuntia spp.* (Elaboración propia).

El ATM-FTIR molecular de mucilagos registró número de ondas en rango de 1000 cm^{-1} a 4000 cm^{-1} , teniendo vibraciones en los tipos de enlaces de alcoholes, alcanos y

ésteres, enlaces pertenecientes a la estructura general de los mucílagos, además de un bajo grado de esterificación (Fig. 9).

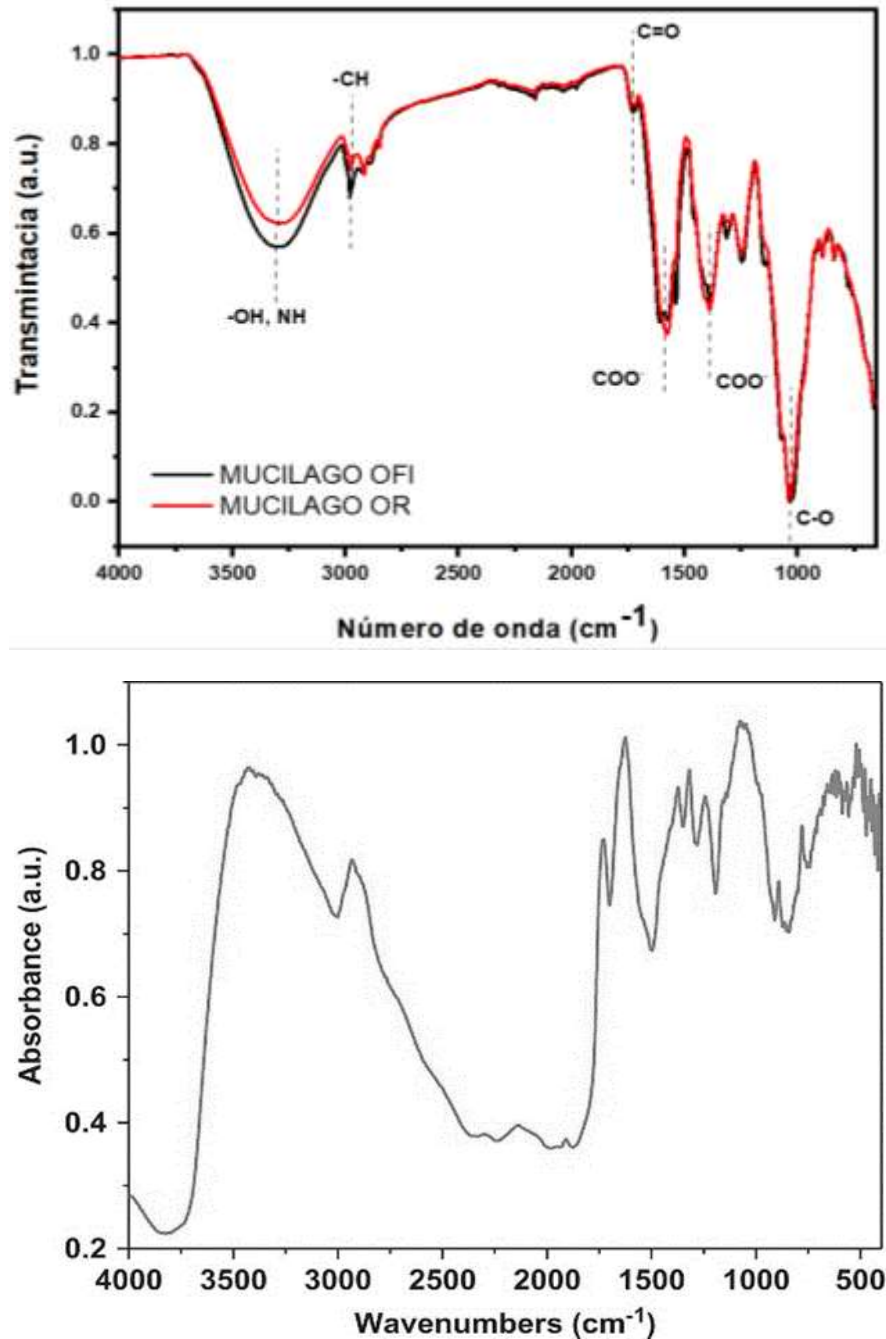


Figura 9. ATM-FTIR mucílagos extraídas de dos especies de nopal (elaboración propia) y su comparación con otro estudio [57].

Confirmando la identidad del extracto supernadante (mucílago) de pencas mermadas de nopal, y con la estimación del bajo grado de esterificación, se concluyó que las vibraciones de los grupos de la sustancia extraída exhibieron similitudes en su patrón de transmitancia con el de los estándares

determinados para mucílagos. Se muestra en el espectro FTIR de la fracción de polisacáridos, tres regiones características: bandas de -OH en la región 3500 a 3200 cm^{-1} , seguido por el grupo metilo, y por último la región de la huella digital de polisacáridos o unidades de carbohidratos 1600 a 1000 cm^{-1} .

Las bandas se atribuyen a grupos funcionales de componentes polisacáridos neutros, arabinosa, ramnosa, galactosa y xilosa [57]. Dando como resultado una estructura parcial de su molécula (Fig. 10).

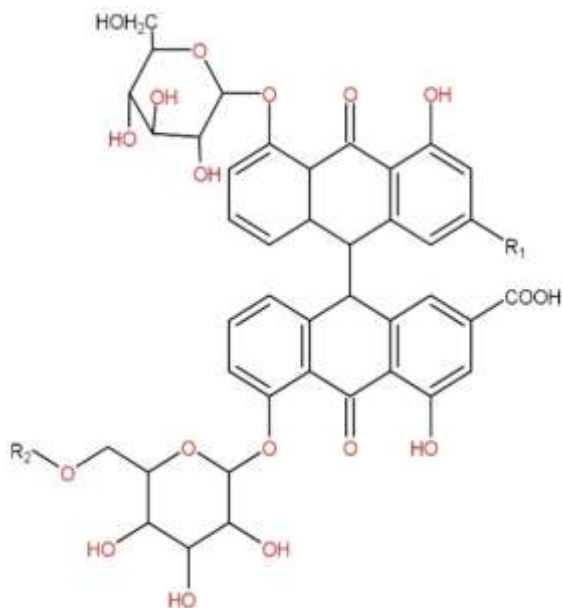


Figura 10. Estructura parcial para mucílagos de *Opuntia spp.* (Elaboración propia).

f. Pymes nopaleras y su oportunidad de crecimiento

La cantidad de pectina extraída por tonelada tiene un rendimiento de alrededor de 15.83 kg (tomando como base el mejor rendimiento) y sabiendo que el precio de la pectina es de \$840.00/kg, se generaría un ingreso de \$13,297.2, menos el costo total de producción de 300 g por \$1,155.35, da la posibilidad para voltear a ver canales de distribución ignorados a nuevos productos nacionales, además de generar una sustentabilidad a la pyme debido a la reducción de sus desechos orgánicos. Para el análisis costo/beneficio para la extracción de pectina y mucílago se tomaron en cuenta las cantidades de materias primas utilizadas a escala laboratorio (Tabla 3).

Tabla 3. Costos de operación basada en reactivos principales.

Material	Cantidad	Precio Unitario	Costo total
Pencas mermadas	300 g	\$0.00	\$0.00
NaClO 5%	1 ml	\$160.0/ 500 ml	\$0.32
Etanol al 96%	20 litros	\$56.25/ L	\$1125.00
SHMP 65%	45 g	\$100.00/ 500 g	\$9.00
HCl	2.5 ml	\$417.95/2.5 L	\$0.41
NaClO	58.44 g	\$161.15/500 g	\$18.83
NaOH	2.99 g	\$300.00/500 g	\$1.79
		TOTAL	\$1,155.35

*Extracción de 3.8 g de pectina y 4.5 g de mucílago.

A partir de los rendimientos obtenidos de las extracciones, se deduce que hoy en día los agricultores nopaleros están perdiendo una posible fuente de ingresos con el aprovechamiento de la merma generada en cada poda. Los rendimientos de los hidrocoloides extraídos podrían considerarse bajos, extrapolando las cantidades de mermas generadas, así como su potencial de aplicación en diferentes industrias (alimentaria, farmacéutica y biotecnológica), estos

rendimientos representan beneficios monetarios, sustentable y sostenible para las pymes involucradas en el sector.

Conjuntamente, la extracción del hidrocoloide mucílago es oportunidad para que los agricultores nopaleros realicen subproductos a partir de sus residuos, tales como espesantes, gelificantes, aditivos, shampoos, jabones, fibra, etc. generado con ello mayores utilidades para sus empresas.

V. Conclusiones

La extracción de pectina y mucílago de nopal en pencas mermadas en pymes nopaleras, extraídas mediante un proceso alcalino y la presencia de un agente secuestrante es viable, factible y deseable, de acuerdo a lo presentado a los productores participantes en este proyecto.

La materia prima desechada es una fuente prometedora de hidrocoloides que cuenta con la ventaja de encontrarse durante todo el año, sin importar la estación. Por lo que puede considerarse una materia prima para la elaboración de otro tipo de productos en industrias de importancia económica como la biotecnológica y la medicina. Por ello, se propone el análisis de otros métodos que puedan incrementar el rendimiento y el estudio reológico de estos hidrocoloides. Este proyecto es una propuesta para que los productores de nopal generen mayores ingresos, mediante el aprovechamiento de las mermas generadas, para incorporarse en cadenas de suministros industriales como productores de insumos nacionales. Complementando la sustentabilidad y sostenibilidad de sus pymes.

VI. Agradecimientos

El agradecimiento es para la Universidad Autónoma de Querétaro y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por dar la oportunidad de continuar con la investigación y aplicación de tecnología en el área de biosistemas con la beca otorgada 779027 para realizar esta investigación. Además de agradecer al personal de laboratorio de bromatología de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores y coautores de este documento declaran no tener un conflicto potencial de intereses respecto a este estudio o

investigación, autoría y/o publicación de este artículo.

VII. Referencias

- [1]. Campos-Montiel, R. G., Razo-Rodríguez, Ó. E. D., Almaraz-Buendía, I., Ramírez-Bribiesca, E., Soriano-Robles, R., Salinas-Martínez, J. A. & González-Muñoz, S. S. (2018). Bioconversión de desperdicios vegetales a biogás a partir de microorganismos ruminales. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 34(1), 149-155. 10.20937/rica.2018.34.01.13
- [2]. Inglese, P., Mondragon, C., Nefzaoui, A., Saenz, C., Taguchi, M., Makkar, H. & Louhaichi, M. (2018). Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://hdl.handle.net/20.500.11766/9380>
- [3]. Maki-Díaz, G., Peña-Valdivia, C. B., García-Nava, R., Arévalo-Galarza, M. L., Calderón-Zavala, G., & Anaya-Rosales, S. (2015). Características físicas y químicas de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) para exportación y consumo nacional. *Agrociencia*. 49(1), 31-51.
- [4]. Bonilla, B. E. H., Reynoso, A. M. R., Cortés, V. R., Trujillo, S. J. S., & Hernández, M. D. (2020). Análisis económico de productores y comercializadores de nopal en el Valle de Teotihuacán. *RICEA Revista Iberoamericana de Contaduría, Economía y Administración*, 9(17), 72-108. 10.23913/ricea.v9i17.147
- [5]. CODEX STAN 185. (1993). [En línea]. Disponible en: [file:///C:/Users/Nitro/Downloads/CXS_185s%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Nitro/Downloads/CXS_185s%20(3).pdf). Fecha de consulta: 15 marzo del 2021.
- [6]. FAO, OPS, WFP, & UNICEF. (2019). Panorama de la seguridad

alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe. <http://www.fao.org/3/ca6979es/ca6979es.pdf>

[7]. Sandoval-Trujillo, S. J., Ramírez-Cortés, V., & Hernández-Bonilla, B. E. (2019). Alternativas de producción del nopal en el Estado de México. *Vínculatégica*. 5(2), 1349-1359. [8]. González, D. D. C. C., Hidalgo, M. G. A., & Negrete, L. E. Z. (2019). Rotación de Personal en la Industria Hotelera en el Estado de Guanajuato, México. *Revista Ibero Americana de Estrategia*, 18(4), 615-629.

[9]. Remes-Troche, J. M., Taboada-Liceaga, H., Gill, S., Amieva-Balmori, M., Rossi, M., Hernández-Ramírez, G. & Whelan, K. (2021). La fibra de nopal (*Opuntia ficus-indica*) mejora los síntomas del síndrome del intestino irritable a corto plazo: un ensayo controlado aleatorio.

Neurogastroenterología y motilidad. 33(2), e13986. doi.org/10.1111/nmo.13986

[10]. Sánchez-Tapia, M., Aguilar-López, M., Pérez-Cruz, C., Pichardo-Ontiveros, E., Wang, M., Donovan, S. M. & Torres, N. (2017). Nopal (*Opuntia ficus indica*) protects from metabolic endotoxemia by modifying gut microbiota in obese rats fed high fat/sucrose diet. *Scientific reports*. 7(1), 1-16. doi.org/10.1038/s41598-017-05096-4

[11]. Gutiérrez-Verde, D. E., Gutiérrez-Valverde, R. A., Gutiérrez-Rodríguez, M. A., Guzmán-Julca, A. O., Huamán-Bacilio, H. S., Juárez-Salinas, L. J. & Larios-Canto, A. A. (2021). Efectos de la fibra dietética en la reducción de factores de riesgo cardiovasculares asociados a la obesidad. *Revista Médica de Trujillo*,

16(2), 117-123. doi.org/10.17268/rmt.2021.v16i02.08

[12]. Valdés, J. M. B., Alonso, M. D. C. V., Martínez, M. P., Rodríguez, R. M. M., Izquierdo, A. M., & Martín, I. M. (2017). Influencia en el balance energético de los factores que regulan el control del apetito y la saciedad a corto plazo. *Revista Cubana de Pediatría*. 89(2), 187-202.

[13]. Dugarte, N. Y., Molina, F. A., & García, M. A. (2020). Aplicaciones de los mucílagos en el sector agro-alimentario: Application of mucilages in the agro-food sector. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 30(1), 71-76.

[14]. Villa-Uvidia, D. N., Osorio-Rivera, M. Á., & Villacis-Venegas, N. Y. (2020). Extracción, propiedades y beneficios de los mucílagos. *Revista Científica Dominio de las Ciencias*. 6(2),503-524.

[15]. Saénz, C., García, N., Abraján, M., Fabry, A. M. & Robert, P. (2016). El nopal, una especie de zonas áridas productora de hidrocoloides naturales. *La alimentación latinoamericana*. 50(322), 60-68.

[16]. Madera-Santana, T. J., Vargas-Rodríguez, L., Núñez-Colínc, C. A., González-García, G., Peña-Caballero, V., Núñez-Gastélum, J. A., Gallegos-Vázquez, C. & Rodríguez-Núñez, J. R. (2018). *Journal of food*. 16(1), 650-657. [10.1080/19476337.2018.1454988](https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1454988).

[17]. Felkai-Haddache, L., Remini, H., Dulong, V., Mamou-Belhabib, K., Picton, L., Madani, k. & Rihouey, C. (2015). Conventional and Microwave-Assisted Extraction of Mucilage from *Opuntia ficus-indica* Cladodes: Physico-Chemical and Rheological Properties. *Food Bioprocess Technol*. 9(3), 481-492. [10.1007/s11947-015-1640-7](https://doi.org/10.1007/s11947-015-1640-7).

- [18]. San Martín-Hernández, C., Pérez-Rubio, V., Muy-Rangel, M. D., Vargas-Ortiz, M. A., & Quintana-Obregón, E. A. (2021). Caracterización del polvo y pectina del pericarpio del mango (*Mangifera indica L.*) 'Ataulfo' maduro y análisis FODA para su procesamiento. TIP. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*. 23, e274. 10.22201/fesz.23958723e.2020.0.274.
- [19]. Cárdenas, Y., Ríos-Silva, M., Huerta, M., López, M., Bricio-Barrios, J., Ortíz-Mesina, M., & Trujillo, X. (2019). The Comparative Effect of Nopal and Mucilage in Metabolic Parameters in Rats with a High-Fructose Diet. *Journal of Medicinal Food*. 22(5), 538-541. 10.1089/jmf.2018.0124.
- [20]. ALAVA, Y. J. R., Moreira, J. C. M., Velez, S. I. M., & Figueroa, D. M. P. (2021). Evaluación de dos métodos de extracción de pectina de la cáscara de cacao (*Theobroma Cacao*). *Revista Científica Sinapsis*, 2(20).
- [21]. Cerón-Salazar, I., & Cardona-Alzate, C. (2011). Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja. *Ingeniería y ciencia*, 7(13), 65-86.
- [22]. Cárdenas, Y., Ríos-Silva, M., Huerta, M., López, M., Bricio-Barrios, J., Ortíz-Mesina, M., & Trujillo, X. (2019). The Comparative Effect of Nopal and Mucilage in Metabolic Parameters in Rats with a High-Fructose Diet. *Journal of Medicinal Food*. 22(5), 538-541. doi.org/10.1089/jmf.2018.0124.
- [23]. Lefsih, K., Delattre, C., Pierre, G., Michaud, P., Aminabhavi, T. M., Dahmoune, F., & Madani, K. (2016). Extraction, Characterization and gelling behavior enhancement of pectins from the cladodes of *Opuntia ficus indica*. *Biological Macromolecules*. 82(1), 645-652. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.10.046
- [24]. Goycoolea, F. M., & Cárdenas, A. (2003). Pectins from *Opuntia spp.*: A Short Review. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 5(1), 17-29.
- [25]. Rodríguez-González, S., Martínez-Flores, H. E., Órnelas-Nuñez, J. L., & Garnica-Romo, M. G. (2016). Optimización de la extracción del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*). In XIV Congreso. Nacional de Biotecnología. y Bioingeniería. 22(12).
- [26]. Cárdenas, A., Rinaudo, M. and Goycoolea, F.M. (2003). On the gelling behaviour of 'nopal' (*Opuntia ficus indica*) low methoxyl pectin. *Carbohydrate Polymers*. 73(2), 212-222. doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.11.017
- [27]. Medina-Torres, L., Brito-De La Fuente, E., Torrestiana-Sanchez, B., & Katthain, R. (2000). Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). *Food hydrocolloids*. 14(5), 417-424. 10.1016/S0268-005X(00)00015-1
- [28]. Rascón-chu, A., Martínez-López, A. L., Carvajal-Millán, E., Martínez-Robinson, K. G., & Capma-Mada, A. C. (2016). Gelificación iónica de pectina de bajo grado de esterificación extraída de manzanas inmaduras de raleo. *Revista fitotecnología mex*. 39(1), 17-24. 10.1016/S0268-005X(00)00015-1
- [29]. Majdoub, H., Deratani, A., & Roudesli, S. (2001). Polysaccharides from prickly pear peel and nopsals of *Opuntia ficus-indica*: Extraction, characterization and polyelectrolyte

behaviour. *Polymer International*. 50(5), 552-560. 10.1002/pi.665

[30]. Seggiani, M., Puccini, M., Pierini, M., Giovando, S., & Forneris, C. (2009). Effect of different extraction and precipitation methods on yield and quality of pectin. *International journal of food science & technology*. 44(3): 574-580. 10.1111/j.1365-2621.2008.01849.x

[31]. Santos, E. E., Amaro, R. C., Bustamante, C. C. C., Guerra, M. H. A., Soares, L. C., & Froes, R. E. S. (2020). Extraction of pectin from agroindustrial residue with an ecofriendly solvent: use of FTIR and chemometrics to differentiate pectins according to degree of methyl esterification. *Food Hydrocolloids*, 107, 105921. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105921>.

[32]. Manrique, G. D. y F. M. Lajolo (2002). "FT-IR spectroscopy as a tool for measuring degree of methyl esterification in pectins isolated from ripening papaya fruit". *Postharvest Biology and Technology*. 25, 2002.

[33]. SMATTCOM. (2020). Consulta precios y comercializa Nopal en Smattcom. [En línea]. Disponible en: <https://smattcom.com/blog/el-nopal-en-smattcom>. Fecha de consulta: 21 de marzo del 2021.

[34]. Cepeda, R. D. V., Macías, F. B., & Vázquez, R. E. (2008). Producción y usos del nopal para verdura. *Revista salud pública y nutrición*. (14), 1-19.

[35]. Galicia-Villanueva, S., Escamilla-García, P. E., Alvarado-Raya, H., Aquino-González, L. V., Serna-Álvarez, H., & Hernández-Cruz, L. M. (2017). Plantación experimental de nopal para evaluación de sistemas de fertilización y extracción de mucílago. *Revista*

Mexicana de Ciencias Agrícolas. 8(5), 1087-1099. 10.29312/remexca.v8i5.110

[36]. Tripodo, M. M., Lanuzza, F., Mondello, F., Occhiuto, F., & Galati, E. M. (2013). Enzymatic extraction of pectin from *Opuntia ficus-indica* Cladodes. *Acta Horticulturae*. 1067, 393-397. 10.17660/ActaHortic.2015.1067.54

[37]. Aza, E. M. E., & Méndez, A. M. A. (2011). Extracción de pectina de nopal (*Opuntia ficus indica*) por medio ácido aplicando dos niveles de temperatura, tiempo y estados de madurez. Tesis, Universidad Técnica del Norte. Ecuador.

[38]. Torres, J., Hernández, O., Arce, G. & Vizuet, J. (2016). Secado de nopal (*Opuntia ficus*) utilizando secador solar con sistema de reflectores. *Revista de energía química y física*. 3(6), 39-46.

[39]. Villareal, F., Rojas, P., Arellano, V. & Moreno, J. (1963). Estudio químico sobre seis especies de nopales (*Opuntia spp.*). *Ciencia Mx*. 22, 59-65.

[40]. Bayar, N., Bouallegue, T., Achour, M., Kriaa, M., Bougatef, A. & Kammoun, R. (2017). Ultrasonic extraction of pectin from *Opuntia ficus indica* cladodes after mucilage removal: Optimization of experimental conditions and evaluation of chemical and functional properties. *Food Chemistry*. 235, 275-282. 10.1016/j.foodchem.2017.05.029

[41]. Bayar, N., Friji, M. & Kammoun, R. (2018). Optimization of enzymatic extraction of pectin from *Opuntia ficus indica* cladodes after mucilage removal. *Food Chemistry*. 241, 127-134. 10.1016/j.foodchem.2017.08.051.

[42]. Ros, J. M., Henk, A. S. & Voragen, A. G. J., (1996). Extraction, characterization, and enzymatic degradation of lemon peel pectins. *Carbohydrate research*. 282, 271-284.

10.1016/0008-6215(95)00389-4Get rights and content.

[43]. Colin, C. C., Soto, V. H., Rodríguez, F. A., Peralta, E., Saucedo, C. A. R., Guzmán C. M., & Turrado S. J. (2021). Papermaking as potencial use of fibers from Mexico *Opuntia ficus-indica* waste. *Biotecnia*. 23(1), 141-150. doi.org/10.18633/biotecnia.v23i1.1315

[44]. Moreno, M. E. Q., Gutiérrez, J. C. B., Gutiérrez, B. G. R., Sánchez, F. Y. P. (2020). Extrine and pectin extracted from vegetal disposals and their use as additive for glue. *Revista Boliviana de Química*. 37(2), 85-93.

[45]. Gómez, J. M., & Mora, W. H. P. residuos de la industria vinícola: materia prima reutilizable para la de obtención de pectina. Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA Regional Distrito Capital Centro de Gestión Industrial Sennova Grupo de Investigación-Neurona, 37. https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/7072/Innovacion_desarrollo_sostenible%20_choco_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=37.

[46]. Guevara, B., Cedulio, E., Garavito, A. & Cerquera, J. P. (2020). Extracción y caracterización de pectina a partir de residuos de cáscaras de piña (*ananas comosus*) por el método de hidrólisis ácida. Documentos De Trabajo ECBTI. 1 (2). doi.org/10.22490/ECBTI.4342

[47]. Muthukumar, C., Banupriya, L., Harinee, S., Sivaranjani, S., Sharmila, G., Rajasekar, V. & Kumar, N. M. (2017) Pectin from muskmelon (*Cucumis melo var. reticulatus*) peels: extraction optimization and physicochemical properties. 3 Biotech. 7(1), 66-75. doi.org/10.1007/s13205-017-0655-3

[48]. Vasquez, R., Ruesga, L, D'addosio, R., Páez, G, & Marín, M. (2008). Extracción de pectina a partir de la cáscara de plátano (*Musa AAB, subgrupo plátano*) clon Hartón. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 25(2), 318-333.

[49]. Felkai-Haddache, L., Hocine, R., Dulong, V., Mamou-Belhabib, K., Picton, L., Madani, K. & Rihouey, C. (2015). Conventional and Microwave-Assisted Extraction of Mucilage from *Opuntia ficus-indica* Cladodes: Physico-Chemical and Rheological Properties. *Food Bioprocess Technology*. 9(3), 481-492. 10.1007/s11947-015-1640-7

[50]. López-Palacios, C., Reyes-Agüero, J. A., Peña-Valdivia, C. B. & Aguirre-Rivera, J. R. (2019). Physical characteristics of fruits and seeds of *Opuntia sp.* as evidence of changes through domestication in the Southern Mexican Plateau. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 66 (2), 349-362. doi: 10.1007/s10722-018-0712-8

[51]. Bernardino-Nicanor, A., Montañez-Soto, J. L., Conde-Barajas, E., Negrete-Rodríguez, M. D. L. L. X., Teniente-Martínez, G., Vargas-León, E. A. & González-Cruz, L. (2018). Spectroscopic and structural analyses of *Opuntia Robusta* mucilage and its potential as an edible coating. *Coatings*, 8(12), 466.

[52]. Du Toit, A., De Wit, M. & Hugo, A. (2018). Cultivar and Harvest Month Influence the Nutrient Content of *Opuntia spp.* Cactus Pear Cladode Mucilage Extracts. *Molecules*. 23(4), 916. doi.org/10.3390/molecules23040916Robusta mucilage and its potential as an edible coating. *Coatings*, 8(12), 466-476. doi.org/10.3390/coatings8120466

[53]. Sandarani, M. D. J. C. (2017). A Review: Different Extraction Techniques of Pectin. *J Pharmacogn Nat Prod*.

3(3):143. doi: 10.4172/2472-0992.1000143

[54]. Ramírez-Gavidia, T. C., González-Colmenares, N. M., Guerrero-Pernía, E. K. (2020). Pectina de residuos de naranja aplicando el principio de las 3R. *Aibi revista de investigación, administración e ingeniería*. 8(2), 84-91.

[55]. Correa, C., Garza, Y., Rodríguez, J., Aguilar, C. N., Esquivel, C. J. (1999). Geles de pectina de bajo metoxilo modificadas enzimáticamente. *Journal of the Mexican Chemical Society*. 43(1):15-17.

[56]. Chaouch, M. A., Hafsa, J., Rihouey, C., Le Cerf, D., & Majdoub, H. (2016). Effect of extraction conditions on the antioxidant and antiglycation capacity of carbohydrates from *Opuntia robusta* cladodes. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(4), 929-937. 10.1111/ijfs.13055.

[57]. Madera-Santana, T. J., Vargas-Rodríguez, L., Núñez-Colín, C. A., González-García, G., Peña-Caballero, V., Núñez-Gastélum, J. A. y Rodríguez-Núñez, J. R. (2018). Mucilage from cladodes of *Opuntia spinulifera* Salm-Dyck: chemical, morphological, structural and thermal characterization. *CyTA-Journal of Food*, 16(1), 650-657. 10.1080/19476337.2018.1454988.