



## Mucilago de nopal y su aplicación en la obtención de biopolímeros

Lorena Vargas Rodríguez (1), Zeferino Gamiño Arroyo(2), Rosalba Fuentes Ramírez(2), David Contreras López (2)

1 Universidad de Guanajuato, División de Ciencias de la Salud e Ingenierías, Depto. de Ingeniería Agroindustrial. Av. Ing. Barros Sierra No. 201 Ejido de Santa María del Refugio C.P. 38140 Celaya, Gto, México

2 Universidad de Guanajuato, División de Ciencias Naturales y Exactas, Depto. de Ingeniería Química, Noria Alta S/N, Guanajuato, Gto. México 36050 Dirección de correo: [david.contreras@ugto.mx]

### RESUMEN

El estudio de los polímeros naturales como una alternativa más sustentable y natural que complementan a los polímeros sintéticos se encuentra en una etapa temprana pero de gran prosperidad, siendo el mucílago o baba de nopal una excelente opción para la obtención de biopolímeros con amplias aplicaciones industriales. Esta investigación se centró en la extracción del mucílago de los cladidos o pencas de nopal de las especies *OPUNTIA Ficus Indica* y *OPUNTIA Tehuacana* con el objetivo de obtener los mayores rendimientos, , siendo de  $0.472 \pm 0.01\%$  y  $0.949 \pm 0.01\%$  respectivamente; a la par se realizaron pruebas de caracterización con el producto obtenido tales como solubilidad, adhesividad, resistencia, pH y determinación de peso molecular por viscosimetría capilar y la ecuación de Mark-Houwink. Se elaboraron películas de biopolímero a base del mucílago obtenido, glicerol y agua variando la concentración de glicerol. En México, se presenta el mayor endemismo para las especies de nopal u *Opuntia* no se han aprovechado de la forma más apropiada los residuos de nopal por lo cual se debe prestar atención en esta problemática y además encontrar métodos de extracción con mayor viabilidad y rendimiento para la obtención del mucílago del nopal colaborando de esta manera a centrar las futuras investigaciones en la elaboración de películas de biopolímero con propiedades confiables a los polímeros sintéticos.

**Palabras claves:** Mucílago, nopal, extracción, biopolímero, película

### ABSTRAC

The study of natural polymers as a more sustainable and natural alternative that replaces synthetic polymers is at an early stage but of great prosperity being the mucilage or baba of nopal an excellent option for obtaining biopolymers with wide industrial applications. This research focused on the extraction of the mucilage from the cladids or cactus nopal of *Opuntia Ficus Indica* and *Opuntia Tehuacana* species with the aim of obtaining the highest yields being  $0.472 \pm 0.01\%$  and  $0.949 \pm 0.01\%$  respectively; at the same time characterization tests were performed with the obtained product such as solubility, adhesiveness, resistance, pH and molecular weight determination by capillary viscosimetry and the Mark-Houwink equation. Biopolymer films were made with the obtained mucilage, glycerol and water by varying the concentration of glycerol. In Mexico (birthplace of most species of the genus *opuntia*), nopal residues have not been used therefore, attention must be paid to this problem and also find extraction methods with greater viability and yield for obtaining the nopal mucilage collaborating in this way to focus future research on the production of biopolymer films with reliable properties replacing synthetic polymers.

**Keywords:** Mucilage, nopal, extraction, biopolymer, film



## INTRODUCCIÓN

El interés por los biopolímeros nace principalmente de la necesidad de realizar un cambio en la calidad de vida de hoy en día, debido a que actualmente el consumo de polímeros sintéticos se da de manera exponencial, trayendo esto como consecuencia la acumulación de toneladas de plástico que terminan en espacios naturales provocando efectos negativos tales como alteración de ecosistemas naturales (principalmente flora y fauna) y contaminación ambiental. Los polímeros sintéticos son fabricados en cantidades desmedidas ya que su uso actual es tan común que para darse cuenta de esto hace falta solo mirar alrededor y ver que la mayoría de las cosas tienen incluidas a estas macromoléculas. En consecuencia, este uso indiscriminado de polímeros sintéticos hizo que se llevaran a cabo investigaciones en busca de alternativas más sustentables y amigables con el medio ambiente.

Los polímeros naturales o biopolímeros están llamando la atención de manera significativa en numerosas investigaciones como principales sustituyentes a los polímeros sintéticos principalmente por que provienen de fuentes naturales y renovables, son altamente biodegradables y tiene propiedades bastante similares a los polímeros sintéticos. Las principales fuentes de los polímeros naturales son: origen animal (colágeno/ gelatina), origen marino (quitina/ quitosan), origen agrícola (lípidos y grasas e hidrocoloides: proteínas y polisacáridos) y origen microbiano (ácido poliláctico (PLA) y polihidroxicanoatos (PHA)) [1].

En México existe una fuente para la elaboración de biopolímero que se produce de manera importante, dándole a esto un plus el que existan 104 especies de las cuales el 60 % se encuentra ampliamente distribuida en el país [2]. Esta fuente es el género *Opuntia*, del cual se puede extraer el mucílago o hidrocoloide. Los cladidos o pencas de nopales pertenecen a este género y su importancia radica en la riqueza de mucilago que contienen.

Los cladidos están formados por la epidermis que sintetiza y secreta a la cutina, espinas que brotan en la epidermis, y por el parénquima. El mucílago se encuentra en el parénquima de los mismos. La composición del mucílago es de 20% de D-galactosa, 44% de L-arabinosa, 7% de L-ramnosa, 22% de D-xilosa y 7% de ácido galacturónico [3]. Es importante mencionar que cada una de las especies de opuntia produce mucílago con características similares y otras únicas, por ejemplo el mucilago de la especie *Opuntia sarca Griff* es bastante pegajoso [4], ayudándolo a extender sus aplicaciones.

Los nopales son una verdura tradicional y de alto consumo por el pueblo mexicano que por su abundancia en mucílago se origina una razón suficiente para buscar alternativas y así explotar los residuos generados de las podas de cultivos de nopal ya que actualmente se desechan cantidades importantes por la presencia de plagas, desaprovechando la oportunidad de extraer el mucílago para futuras investigaciones y aplicaciones [5].

El mucílago ha sido protagonista de numerosas investigaciones debido a sus propiedades que



contribuyen de manera excelente en conjunto con otros aditivos para la obtención de bioplásticos, películas y recubrimientos

comestibles, siendo esto de extrema importancia para la industria farmacéutica y la industria alimentaria [6, 7, 8 y 9]

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materiales

Los nopales del género *Opuntia Ficus Indica* (OFI) se obtuvieron de los cultivos de nopal ubicados en Valtierrilla, municipio de Salamanca en el estado de Guanajuato y los del género *Opuntia Tehuacana* (OT) de cultivos de nopal ubicados en el municipio de Guanajuato, Gto. El alcohol etílico con una pureza del 95 % como agente precipitante en la extracción. Los reactivos utilizados para las pruebas de caracterización fueron el ácido clorhídrico (0.1 M) con una pureza del 36.5-38%, acetona con una pureza del 99.7%, hidróxido de sodio (0.1 M) con una pureza del 97 %, alcohol etílico con una pureza del 95 % y acetonitrilo con una pureza del 99 %. Para la preparación de la película de mucílago se utilizó glicerol con una pureza de  $\geq 99.5\%$  adquirido en Sigma Aldrich.

### Extracción del Mucílago

El mucílago se obtuvo de dos especies de nopal: *opuntia ficus indica* y *opuntia tehuacana* (**figura 1**). Se utilizaron diversos métodos de extracción [5, 7 y 10] de los cuales se optó por la metodología de la referencia [7], debido a que la misma mostró un mayor rendimiento y facilidad de obtención del producto con respecto a las demás. De la metodología seleccionada se modificaron ciertas condiciones:

Los cladodios seleccionados de cada especie se lavaron con agua, se eliminó la epidermis

tratando de recuperar la mayor cantidad de parénquima, se pesaron tres muestras de parénquima con un peso aproximado de  $50\pm 8$  g,  $100\pm 8$  g y  $150\pm 8$  g respectivamente y con un grosor de  $1.5\pm 0.7$  cm, las muestras se lavaron nuevamente con agua y se cortaron en cubos, después se licuaron en una licuadora convencional hasta obtener una mezcla homogénea la cual se sometió a baño María a  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 20 minutos, la muestra se centrifugó por 18 minutos a  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  a 6000 rpm en una centrifuga Eppendorf modelo 5430 R de un volumen de 5 mL. El sedimento de la muestra obtenida se desechó y el sobrenadante se recolectó para precipitarlo con etanol al 65% v/v, la mezcla anterior se mantuvo por 20 horas a  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  en un refrigerador convencional. El mucílago precipitado se recolectó eliminando el exceso de sobrenadante con etanol y se congeló por 8 horas a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , por último la muestra fue secada en baño María a  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 8 horas. El producto obtenido en seco se retiró del vaso de precipitado y se pesó para calcular el rendimiento del mucílago de las dos especies de nopal.



**Figura 1.** Vista frontal y transversal para las especies de nopal a) *Opuntia Ficus Indica* y b) *Opuntia Tehuacana*.

### Rendimiento del Mucílago

Se calculó el rendimiento del mucílago obtenido con la siguiente ecuación

$$\%R = \frac{W_{MO}}{W_P} \times 100$$

Donde:

%R es el porcentaje de rendimiento

$W_{MO}$  es el del mucílago obtenido, gr

$W_P$  es el peso del parénquima propio de cada muestra, gr

### Pruebas de caracterización

- Solubilidad con agua

La solubilidad es el contenido de materia seca solubilizada después de 24 h de inmersión en agua destilada. Se siguió el método propuesto por [12] con algunas modificaciones para la de solubilidad en agua. Se secó de yterminación una muestra de mucilago en una estufa

Novatech serie 05554 a 80 °C por 5 h, se pesó aproximadamente 1 g en seco de mucílago, después se le agregó 40 mL de agua destilada dejándolo en inmersión por 24 h, se sometió a un secado en una estufa a 80 °C por 20 h (tiempo en el que la muestra logró tener un peso constante), por último la muestra obtenida se pesó. La solubilidad del mucílago se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\%S = \frac{W_0 - W_F}{W_F} \times 100$$

Donde:

%S es el porcentaje de solubilidad

$W_0$  es el peso en seco inicial de la muestra, g

$W_F$  es el peso en seco de la muestra después de la inmersión en agua y secado a 80 °C, g

- pH

Para conocer el pH del mucílago se pesó una muestra de 0.05 g de mucílago y se mezcló con



2 mL de agua destilada, finalmente se utilizó una tira de papel reactivo de pH.

- Adhesividad

La adhesividad se puede definir como la capacidad de una sustancia para mantener unida a una superficie. Para observar el grado de adhesividad del mucílago se preparó una mezcla con 0.05 g de mucílago y 1 mL de agua destilada, se cortaron trozos de papel de 2 X 2 cm, se le agregó y extendió una gota de la mezcla a un trozo de papel colocándole otro encima, se hizo lo mismo con 5 trozos más, se monitoreó cada 10 min el grado de adhesividad hasta llegar a los 60 min, correspondiendo cada par de trozos adheridos a un tiempo determinado (10 min, 20 min, 30 min).

- Determinación del Peso molecular

Los pesos moleculares promedio fueron determinados con un viscosímetro Cannon-Fenske #25 y la ecuación de Mark-Houwink. Las constantes K y  $\alpha$  son únicas para la mezcla de biopolímero (en nuestro caso mucílago) y agua como solvente.

$$[\eta] = KM_v^\alpha$$

Donde:

$[\eta]$  es la viscosidad intrínseca.

$M_v$  es el peso molecular promedio de viscosidad.

K constante de Mark-Houwink específica para el par biopolímero/agua.

$\alpha$  constante de Mark-Houwink específica para el par biopolímero/agua.

- Solubilidad en solventes orgánicos, ácidos y bases.

Se sometió a prueba la solubilidad del mucílago con algunos solventes, ácidos y bases a diferentes temperaturas. Se pesaron 6 muestras de mucílago de 0.05 g y se mezclaron respectivamente con 2 mL de los siguientes solventes: agua, acetona, ácido clorhídrico (0.1 M), hidróxido de sodio (0.1 M), alcohol etílico y acetonitrilo por 5 min a temperaturas de 25, 40 y 60 °C.

### Obtención de la película de mucílago

Se prepararon soluciones madre de la película de mucílago que consistieron en concentraciones diferentes de glicerol, esto para ver los efectos del glicerol en las propiedades de la película [11]. Las soluciones de la película se conformaron en base de mucílago, glicerol y agua (w/w/w) en proporciones [1:1.25:50], [1:0.50:50] y [1:0.25:50] respectivamente. Las soluciones se mantuvieron en agitación magnética constante por 10 h a temperatura ambiente (25 °C).

La película se hizo siguiendo la metodología de [7] modificando algunas condiciones. Las soluciones madre de la película se colocaron en portaobjetos cubiertos con cinta de teflón. Las películas fueron secadas en un horno de convección mecánica Lab Oven 0.7 Cubic ft modelo CA-1400 a 30 °C por 24 h con una humedad relativa de 50%.

### Caracterización de la película

Siguiendo la metodología de [12] y cambiando ciertos parámetros para:

- Combustibilidad

Para analizar las alteraciones de la película al contacto con la flama generada por gas LP, se colocó una muestra de 1 X 1 cm en contacto



directo con una flama; sí la película arde después de 15 segundos, se reporta como inflamable, sí se enciende la muestra pero al retirar la flama está se extingue sola, es auto extingible, pero sí continua ardiendo se mide la velocidad de propagación de la flama durante 15 segundos.

Al colocar la película en contacto con la flama y pasados 20 segundos se anotó el color de la flama, color de los humos y el olor de los vapores. Para analizar la alteración de la película se mantuvo la flama en contacto directo durante 2 min.

- pH

El pH de la película se pudo conocer al colocar una tira reactiva de pH en una mezcla de 0.5 X1 cm de película con 1 mL de agua.

- Resistencia en disolventes

El comportamiento plástico de la película se puso a prueba con algunos disolventes, ácidos y bases. Se colocaron muestras de película de 0.5 X 1cm en tubos de ensayo con 2 mL de las siguientes sustancias: agua destilada, acetona, alcohol etílico, ácido clorhídrico (0.1 M), ácido acético (0.1 M) e hidróxido de sodio (0.1 M), respectivamente. Las muestras se mantuvieron inmersas durante 10 h a 20 °C.

- Espectroscopía de infrarrojo

Para analizar la influencia de la concentración de glicerol en las películas y llevar a cabo un análisis cualitativo de la composición del mucílago se le realizó un análisis de espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier (IR-FT) a las películas y al mucílago en sólido en un Espectrofotómetro Infrarrojo

modelo Spectrum 100 de Perkin Elmer con accesorio de ATR universal, con detector de DTES (sulfato de triglicina deuterado), resolución 4  $\text{cm}^{-1}$  y un alcance de (4000-650)  $\text{cm}^{-1}$ .

## Resultados

El rendimiento promedio para la especie de nopal OFI indica con el método de extracción seleccionado fue de  $0.472 \pm 0.01\%$  bastante semejante al rendimiento reportado por [8], teniendo como valor máximo 0.732% y como mínimo 0.077%. Por otra parte para la especie de nopal *Opuntia Tehuacana* el rendimiento promedio fue aproximadamente el doble que el de OFI siendo de  $0.949 \pm 0.01\%$ , su valor máximo y mínimo fueron muy parecidos. Se debe aclarar que el contenido de mucílago en el nopal en las diferentes especies depende de las condiciones ambientales a las que estén expuestas, a la especie de nopal y la edad que tienen los cladidos siendo que el mayor contenido de mucílago se encuentra en el parénquima que usualmente tiene mayor lugar en las pencas adultas (2-3 años) [8].

Ambas especies de nopal mostraron solubilidades muy parecidas, siendo  $15.63 \pm 0.01\%$  y  $16.03 \pm 0.01\%$  para el nopal OFI y el nopal OT, respectivamente. Esta propiedad del mucílago es muy importante ya que se debe tomar en cuenta para elaboración de las películas del biopolímero debido a que uno de los factores para su aplicación a nivel industrial dependerá del grado de resistencia al agua, por ejemplo, para películas con destino a alimentos necesitará un material resistente al agua e insolubilidad a la misma mantener estado de los alimentos, en otro extremo para aplicación en



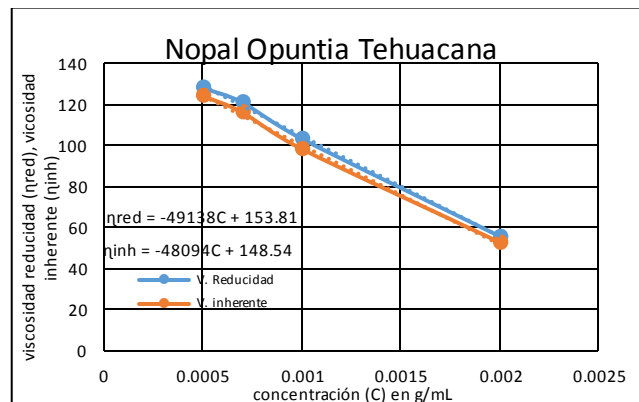
envasado una alta solubilidad en agua indica biodegradabilidad. Estos resultados nos ayudan a darnos una idea de la solubilidad que tendrá el mucílago ya integrado en una película como se muestra en [12].

El mucílago obtenido de ambas especies en medio acuoso muestra un pH de 5 este se encuentra entre los reportados [7], este valor de pH ácido se puede deber a la presencia de ácido D-glacturónico en la composición del mucílago, ya que las otras azúcares que lo integran tienen un pH neutro.

Los resultados obtenidos tanto para el nopal OFI como para OT mostraron un mismo comportamiento en su propiedad adhesiva,

teniendo un incremento de adhesividad en los primeros 40 minutos y pasado este tiempo se mantuvo una adhesividad constante. Las principales razones de esta propiedad adhesiva son los azúcares que componen al mucílago debido a que aumentan la viscosidad del mismo. Para el uso del mucílago como aditivo en pegamentos este comportamiento debe de ser de gran interés.

Para la especie de nopal OT, el valor de la viscosidad intrínseca (ordenada al origen,  $[\eta]$ ) obtenida a partir de la viscosidad reducida ( $\eta_{red}$ ) y la viscosidad inherente ( $\eta_{inh}$ ) muestra valores muy similares, como se muestra en la **figura 2**, este comportamiento es semejante para la especie de nopal OFI.



**Figura 2.** Comportamiento de la viscosidad reducida y de la viscosidad inherente contra la concentración de mucílago de nopal Opuntia Tehuacana.

En la **tabla 1** se muestran los pesos molecular promedio de viscosidad ( $M_v$ ) y peso molecular promedio en peso ( $M_w$ ) obtenidos para ambas especies a partir de las viscosidades antes mencionadas; donde el peso de viscosidad está dentro del 20% del peso molecular promedio en peso. Esta diferencia en los valores del peso molecular se debe a que  $M_v$  toma en cuenta propiedades como viscosidad, únicas del polímero (en este caso biopolímero) que  $M_w$  no puede cuantificar, por lo tanto  $M_w$  depende de los valores de  $M_v$  para algunos materiales plásticos.



**Tabla 1.** Pesos moleculares de viscosidad ( $M_v$ ) y promedio ( $M_w$ ) para las especies de nopal *Opuntia Tehuacana* y *Opuntia Ficus Indica*.

Y	viscosidad intrínseca, [ $\eta$ ]	$M_v$ (g/mol)	$M_w$ (g/mol)
$\eta_{red}$ (OT)	153.81	849101.41	1018921.7
$\eta_{inh}$ (OT)	148.54	799565.64	959478.77
$\eta_{red}$ (OFI)	103.39	428090.27	513708.33
$\eta_{inh}$ (OFI)	100.19	405502.66	486603.19

El comportamiento del mucílago con los diferentes disolventes, ácidos y bases a distintas temperaturas se muestra en la **tabla 2**. Es muy importante tomar en cuenta los resultados de esta prueba ya que pueden servir para la elección de un solvente o aditivo en la elaboración de un biopolímero a base de mucílago.

**Tabla 2.** Solubilidad del mucílago del *Opuntia Ficus Indica* en algunos solventes, ácido y bases a temperaturas de 25 °C, 40 °C y 60 °C.

	25 °C	40 °C	60 °C
Agua	Gran solubilidad	mediana solubilidad	No es soluble
Acetona	No es soluble	No es soluble	No es soluble
Alcohol etílico	No es soluble	No es soluble	No es soluble
Ácido clorhídrico (0.1 M)	Mediana solubilidad	Solubilidad mayor	Mejor solubilidad
Hidróxido de sodio (0.1 M)	Poco soluble	Poco soluble	Mejor solubilidad
Acetonitrilo	No es soluble	No es soluble	No es soluble

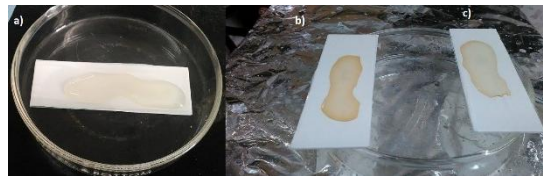




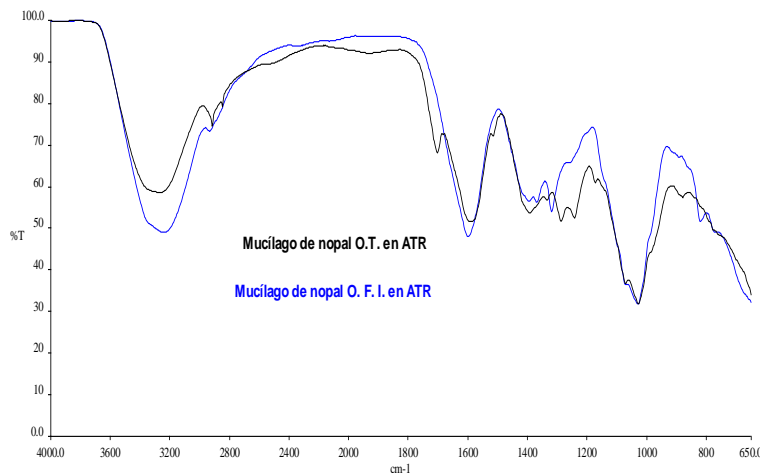
Después de las 24 horas de secado las películas mostraron características particulares de acuerdo a la concentración de glicerol contenido. Las películas con mayor contenido de glicerol no se secaron completamente incluso cuando se dejaron secar por 4 días más, su consistencia era gelosa y su color café. De manera contraria las películas con menor contenido de glicerol se secaron casi completamente después de las 24 h, su consistencia era prácticamente firme y elástica y su color era café claro (**figura 3**). De modo que al ir disminuyendo la concentración de glicerol aumentaba la posibilidad de secado, la consistencia se volvía más firme y el color se aclaraba.

La concentración de glicerol no afectó las características de combustibilidad, resistencia y

pH de las películas debido a que se obtuvieron los mismos resultados en todas. Para un mejor análisis se muestran en la **tabla 3** las características de la película a base de mucílago y comparando estas con las de un material hecho de polímero sintético se puede mencionar que la presencia de humos blancos indica una estructura con ligaduras simples y sin presencia de compuestos aromáticos [12], lo cual refuerza la propuesta de sustitución de polímeros sintéticos por biopolímeros. Lo único que causa cierta controversia es la mala resistencia al agua, debido a que un requisito fundamental en la elaboración de polímeros es que se tenga una buena barrera contra la misma.



**Figura 3.** Películas elaboradas a base de mucílago, glicerol y agua con proporciones de a) [1:1.25:50], b) [1:0.50:50] y c) [1:0.25:50] respectivamente.



**Figura 4.** Espectros IR-FT para el mucílago de nopal de las especies opuntia ficus indica (OFI) y opuntia tehuacana (OT).

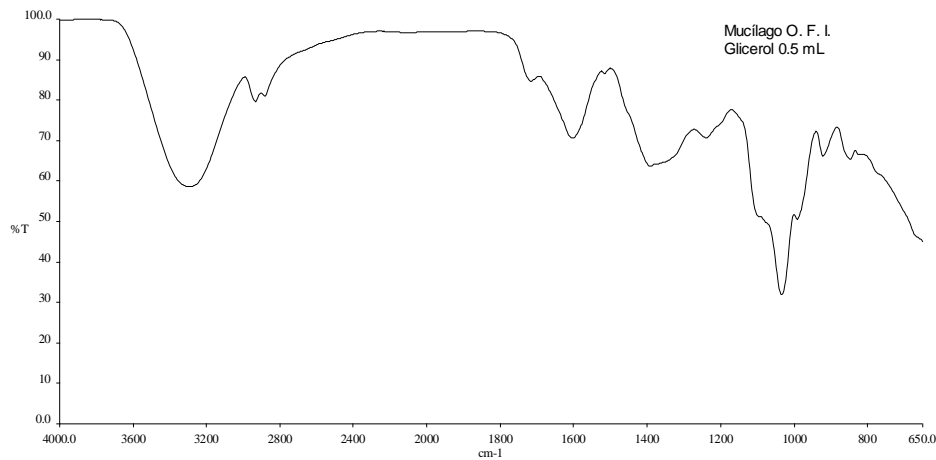


Los espectros IR-FT obtenidos para el mucílago extraído de las especies de nopal de OFI y OT se muestran en la **figura 4**.

**Tabla 3.** Pruebas de caracterización para las películas a base de mucílago de nopal OFI y OT.

Características	Observaciones
<b>pH de la película en solución con agua destilada</b>	4-5
<b>Combustibilidad</b>	Difícil de incendiar, no logra mantener una flama constante
<b>Duración de la flama</b>	Se Autoextingue
<b>Color de la flama</b>	Rojo tenue
<b>Alteración de la muestra</b>	Carboniza la muestra después acercar la flama por 2 min
<b>Color de los humos</b>	Blancos
<b>Olor de los vapores</b>	Nopal carbonizado
<b>Resistencia</b>	Agua: se deshace Acetona: No se deshace Alcohol etílico: No se deshace Ácido clorhídrico (0.1 M): se deshace Ácido acético (0.1 M): se deshace Hidróxido de sodio (0.1 M): No se deshace pero pierde dureza.

En la **figura 5** se muestra el espectro IR-FT de la película hecha con una proporción [1:0.50:50] de mucílago, glicerol y agua respectivamente. Esta prueba se hizo por duplicado obteniendo el espectro IR-FT de la película con proporción [1:0.25:50] mucílago, glicerol y agua respectivamente.



**Figura 5.** Espectro IR-FT para la película de biopolímero con proporción [1:0.50:50] mucílago, glicerol y agua respectivamente.

## Conclusiones

Los rendimientos y resultados de las pruebas de caracterización del mucílago extraído de la especie *Opuntia ficus indica* y de la especie *Opuntia Tehuacana* son similares a los reportados para el mucílago puro, lo que nos permite pensar que el método de extracción elegido fue el correcto, sin embargo, nos fue imposible obtener el mucílago en polvo seco, esto pudo ser consecuencia de la propiedad hidrofílica del mucílago. La principal disimilitud que tuvieron las dos especies de nopal utilizadas se puede ver claramente en el espectro infrarrojo debido a que se encontraron algunos grupos funcionales diferentes y más mencionados.

Para las películas de mucílago el aumento en la concentración de glicerol provoca un incremento de permeabilidad de vapor de agua y contenido de humedad de las mismas, no obstante, en las pruebas de caracterización la concentración de glicerol solo tuvo efecto en la espectroscopia de IR ya que se mostraron algunos grupos funcionales más mencionados que otros, para todas las demás pruebas se

obtuvieron los mismos resultados. Para mejores resultados en la maleabilidad de las películas se debe considerar en un trabajo a futuro experimentar con mezclas de plastificantes con surfactantes, de modo que la película no pierda sus propiedades elásticas, pero si un poco su propiedad hidrofílica. La película biopolimérica obtenida tiene características confiables que pueden ser una base sólida para la obtención de otra que pueda sustituir por completo a una película de polímeros sintéticos.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dra. María del Rosario Galindo González y al Dr. Moises Pedro Gutierrez Valtierra por facilitar el área de trabajo para la parte experimental de esta investigación, también a la M.C. Lérica Liss Flores Villavicencio y a la M.C. Diana Mendoza Olivares por su excelente y amable disposición al utilizar los equipos del laboratorio de Biología Celular y Análisis Instrumental, respectivamente de la universidad de Guanajuato, de igual manera se agradece al XXII verano de la Investigación Científica y



Tecnológica del Pacífico por apoyar este tipo de investigaciones.

### **Bibliografía**

[1] Tharanathan, R. 2003. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Critical Review in Food Science and Technology* 14:71-78

[2] López, G., J. J., J. M. Rodríguez F., and A. Rodríguez G. (2001). Production and use of opuntia as forage in northern Mexico In: Mondragón J., C., and Pérez G. (Eds.) *Cactus (Opuntia spp.) as forage* FAO Plant Production and Protection Paper 169. Rome, Italy.

[3] Chandra, S., Eklund, L., y Villarreal R.R. (1998). Use of cactus in mortars and concrete, *Cement and Concrete*. *Revista Elsevier*, 28, 41-51.

[4] Soria, P. T., Flores, S. C., Pelaéz, N. C. P., Mendiola, S. E. F., Ibarra, M. A. R., & Becerril, A. C. (2015). La baba y el mucílago de nopal, una alternativa natural para la conservación de acabados arquitectónicos de tierra. *Antropología*. *Boletín Oficial del INAH*, (99), 92-114.

[5] Morales, D. J. S., Herrero, M. E. L., López, C. R., & Sánchez, V. M. (2013). Aprovechamiento de los residuos de nopal (*Opuntia ficus-indica* (L) Miller) para la obtención de mucílago y su aplicación como floculante. *Academia Journals*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas México

[6] Debeaufort, F., Quezada-Gallo, J. A., & Voilley, A. (1998). Edible films and coatings: tomorrow's packagings: A review. *Critical*

*Reviews in Food Science and Nutrition*, 38(4), 299–313

[7] Espino-Díaz, M., Ornelas-Paz, J., Martínez-Téllez, M., Santillán, C., BarbosaCánovas, G., Zamudio-Flores, P., y Olivas, G. (2010). Development and Characterization of Edible Films Based on Mucilage of *Opuntia ficus-indica* (L.). *Journal of Food Science* 75 (6), 347-352.

[8] Ruíz, F., & Guerrero, B. J. A. (2009). Aplicación de películas comestibles a base de quitosano y mucílago de nopal en fresa (*Fragaria ananassa*) almacenada en refrigeración (Tesis de maestría). Universidad de las Américas Puebla, Puebla, México.

[9] Villada, H. S., Acosta, H. A., & Velasco, R. J. (2007). Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables. *Temas agrarios*, 12(2).

[10] Dominguez-Canales, V. S. I., Zegbe-Domínguez, J. A., Alvarado-Nava, M. D., Mena-Covarrubias, J. (2011). Extracción y Purificación de mucílago de Nopal. *Centro de Investigación Regional del Norte-Centro Campo Experimental Zacatecas*.

[11] Dick, M., Costa, T. M. H., Gomaa, A., Subirade, M., de Oliveira Rios, A., & Flôres, S. H. (2015). Edible film production from chia seed mucilage: Effect of glycerol concentration on its physicochemical and mechanical properties. *Carbohydrate polymers*, 130, 198-205

[12] López-García, F., Jiménez-Martínez, C., & Delgado-Macuil, R. (2016).