

Obtención de mucílago a partir de residuos de nopal y su caracterización fisicoquímica

Espinosa Ortiz Sarahi¹, Ramírez Castillo María Leticia¹, Valdez Castro Lucila¹, Murillo Murillo Misael²

¹Universidad Politécnica de Puebla, Laboratorio de Investigación y Posgrado, 3er Carril del Ejido Serrano S/N, San Mateo Cuanalá, Juan C. Bonilla, CP 72640, Puebla

²Instituto Tecnológico de Puebla, Departamento de Posgrado, Avenida Tecnológico No. 420 Colonia Maravillas, Puebla, CP 72220 Puebla

E-mail: sarahi.eo@hotmail.com

Resumen

En este trabajo se llevó a cabo la extracción y caracterización del mucílago a partir de residuos de nopal. Para la extracción del mucílago se propuso un diseño experimental 2³ (3 factores 2 niveles) con el fin de conocer las mejores condiciones para obtener un mayor rendimiento, donde las variables a estudiar fueron pH, temperatura de calentamiento y tiempo de extracción. El mejor rendimiento de mucílago obtenido fue de 12,21 % calculada en base seca, con pH de 2,5, 80 °C, y 2 h. La caracterización del mucílago se hizo mediante el análisis de cenizas, humedad, ácido galacturónico, contenido de metoxilos, grado de esterificación y viscosidad. Los resultados indican que el mucílago presenta características similares a las de una pectina de bajo metoxilo pero con mayor viscosidad.

Palabras clave: Mucílago, Nopal, Diseño experimental, Caracterización.

1. Introducción

El mucílago de nopal, conocido también como “baba de nopal” es una sustancia viscosa, sin capacidad de gelificar [1], a pesar de ser un hidocoloide producido por reacciones bioquímicas naturales del nopal [2]. Por algunas de sus propiedades el mucílago se conoce también como “pectina” de nopal, aunque no forma geles sólidos como las pectinas cítricas, sino soluciones de consistencia viscosa. Tiene una alta capacidad de retención de agua, debida a su contenido de ácido galacturónico. Su estructura consiste en una serie de unidades de azúcar que forman un polisacárido ramificado del ácido galacturónico y ramnosa como unidades centrales [3]. Las cadenas

laterales tienen a su vez un esqueleto formado de β -galactosa, el cual se encuentra unido a ramnosas en el eje central y ramificaciones laterales con unidades de arabinosa, xilosa y galactosa.

Este biopolímero tiene diversos usos en la industria alimentaria, tales como: espesante en alimentos, estabilizante de bebidas, como emulsificante, reemplazante de grasas y buen ligante de sabor. También se emplea para la fabricación de películas plásticas comestibles para recubrimiento de frutas [4]. Ha tenido importancia en la industria de la construcción en la que se ha encontrado que el mucílago ayuda reforzar la durabilidad del cemento, incrementa la resistencia a la compresión de morteros, mejora las propiedades adhesivas de la cal, de adobes y pinturas, así como la repelencia al agua, lo cual ayuda a restaurar edificios históricos. Asimismo, actúa como anticorrosivo del hierro. También se ha incrementado el interés en este hidocoloide por sus propiedades nutraceuticas, puesto que ayuda a proteger la mucosa gástrica, además de actuar como hipocolesterolémico e hipoglucémico [5]. Ha sido utilizado como clarificante para disminuir la turbidez del agua. Recientemente se ha investigado su capacidad para remover metales pesados y coliformes fecales en el agua.

El nopal es producido en gran cantidad a nivel nacional, y la mayor parte se consume como nopalito fresco. Sin embargo, si los brotes no se cortan durante los primeros seis meses estos nopales son destinados principalmente para forraje ganadero, además de la merma debida a los nopales dañados por plagas, por daños físicos, el nopal que no se vende y todo el nopal silvestre que no se consume como alimento humano. Por todo lo anterior, el objetivo de este trabajo es estimar los rendimientos y calidad del mucílago, a diferentes condiciones de extracción a partir de nopal considerado deshecho o como inadecuado para el

consumo humano, con lo que se incrementaría el valor económico de este vegetal.

2. Materiales y Métodos

2.1 Materia prima

Se utilizaron nopales que por sus características son considerados deshechos, debido a que ya tienen más de un año de edad y ya no se comercializan como verdura, presentan daños físicos o mecánicos, o bien se trata de nopales silvestres no comercializables, provenientes de la región mixteca oaxaqueña.

2.2 Diseño experimental

Para la extracción, se empleó un diseño experimental 2^3 (3 factores y 2 niveles), los factores seleccionados y sus niveles fueron: el tiempo (1 y 2 h), la temperatura de extracción (60 y 80 °C), y el pH (2.5 y 4.5). La variable respuesta del diseño fue el rendimiento de mucílago. Cada tratamiento se hizo por duplicado. Los resultados obtenidos se evaluaron a través del paquete estadístico Minitab 16.

2.3 Extracción del mucílago

Los nopales se llevaron al Laboratorio de Investigación y Posgrado de la Universidad Politécnica de Puebla. Se lavaron y cepillaron con el fin de eliminar impurezas presentes en la cutícula y espinas. Una vez lavados, se disminuyó el tamaño manualmente a cuadritos de aproximadamente 1 cm con el propósito de aumentar el área de contacto y facilitar así el proceso de extracción del mucílago.

Se pesaron 200 g de nopal triturado y se agregó agua en relación 1:1 (w/w). Se añadió HCl para ajustar el pH. La mezcla se sometió a calentamiento con agitación constante de acuerdo a la temperatura y tiempo definidos para cada tratamiento. La mezcla se dejó macerando por 48 horas. La mezcla se filtró usando una bomba de vacío y un embudo Büchner para separar el material sólido del líquido, la fracción líquida se recuperó y la fibra se molió en licuadora, para posteriormente centrifugarlas a 4500 rpm durante 30 min., y el sobrenadante se recuperó y se le agregó alcohol, al 96 %, en relación 1:1.5 (V/V), mediante agitación constante durante 30 min. La mezcla se dejó reposando durante 14 horas a 4 ° C. El mucílago se separó por medio de decantación y después por centrifugación a 4500 rpm durante 20 min. Luego se secó a 50 °C hasta peso constante.

El mucílago seco se pulverizó y se conservó en frascos. Es importante mencionar que se utilizó el mucílago correspondiente al mayor rendimiento, para realizar la caracterización.

2.4 Caracterización del mucílago

La caracterización del mucílago se determinó mediante los siguientes parámetros: Contenido de humedad, cenizas, metoxilo, ácido galacturónico, grado de esterificación y viscosidad.

2.4.1 Determinación de humedad

Las cápsulas de porcelana empleadas se llevaron a peso constante de acuerdo a la metodología utilizada en [6]. Posteriormente se agregaron 2 g de mucílago en polvo a cada cápsula. Después se secó en el horno a 100 °C durante 4 horas hasta obtener el peso constante.

Los cálculos se hacen de acuerdo a la siguiente ecuación (1):

$$\% \text{ de humedad} = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} * 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

Dónde:

W_1 = Peso de la cápsula

W_2 = Peso de la cápsula más la muestra húmeda

W_3 = Peso de la cápsula más la muestra seca

2.4.2 Determinación de cenizas

Los crisoles empleados se llevaron a peso constante de acuerdo a la metodología descrita por Kameswara y col. [6]. Posteriormente se agregaron 2 g de mucílago en polvo y se quemó la muestra hasta que dejó de desprender humo. Se incineró en la mufla a 650 °C durante 4 horas. Una vez transcurrido el tiempo se dejó enfriando el crisol y se pesó hasta obtener peso constante.

La determinación de cenizas se calculó mediante la ecuación (2).

$$\% \text{ de cenizas} = \frac{W_3 - W_1}{W_2 - W_1} * 100 \quad \text{Ec. (2)}$$

Dónde:

W_1 = Peso de la cápsula

W_2 = Peso de la cápsula más la muestra húmeda

W_3 = Peso de la cápsula más la muestra seca

2.4.3 Determinación de grupos metoxilos

Se empleó un matraz Erlenmeyer de 250 ml, al que se agregaron 5 g de mucílago, se agitó por 10 min., con una mezcla de (5:100) de ácido clorhídrico concentrado y alcohol al 60 %.

Se filtró en embudo Büchner con 6 porciones de 15 ml de la mezcla ácido clorhídrico concentrado y alcohol 60 %, se lavó con 20 ml de alcohol, después se secó a 105 °C por una hora. Una vez que se enfrió se pesaron 250 mg de la muestra obtenida anteriormente y se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 250 ml

humedeciéndolo con 2 ml de alcohol, se agregó 50 ml de agua libre de CO₂, la mezcla se tapó y se agitó hasta disolución completa.

Después se agregaron 3 gotas de fenolftaleína como indicador y se tituló con NaOH 0.5 N. Posteriormente se adicionaron 10 ml de NaOH 0.5 N agitando vigorosamente la mezcla y dejando reposar por 15 min. En seguida se añadieron 10 ml de HCl 0.5 N, y se agitó hasta que desapareció la coloración rosada.

A continuación se agregaron 3 gotas de fenolftaleína, y se tituló con NaOH 0.5 N hasta que la coloración rosada débil persistió después de agitar fuertemente la mezcla [7].

Cada mililitro de NaOH 0.5 N es equivalente a 15.52 mg de metoxilo (OCH₃) en muestra seca.

2.4.4 Determinación de Ácido Galacturónico

El volumen consumido en la valoración total de la determinación grupos metoxilos (A+B).

Cada mililitro de NaOH 0.5 N es equivalente a 97.07 mg de ácido galacturónico (C₁₆ N₁₀ O₇) [7].

2.4.5 Determinación del grado de esterificación

Se disolvió 1 g de pectina con 100 ml de agua libre de CO₂. Se tomó una alícuota de 10 ml de disolución anterior, y se valoró con NaOH 0.1 N usando 2 gotas de fenolftaleína como indicador (A). En seguida se agregaron 20 ml de NaOH 0.5 N, y se dejó reposar por 30 min con el fin de desesterificar al mucílago, posteriormente se adicionaron 20 ml de HCl 0.5 N hasta neutralizar el NaOH 0.1 N (B). El cálculo de grado de esterificación se hizo mediante la siguiente ecuación [7]:

$$DE = \frac{B}{A + B} * 100 \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde las variables son:

DE = grado de esterificación.

A = Volumen gastado de valoración A.

B = Volumen gastado en valoración B.

2.4.6 Determinación de la viscosidad

Determinación de la viscosidad a diferentes velocidades de cizallamiento

Para determinar la viscosidad del mucílago y saber si se trata de un fluido newtoniano o no newtoniano, se preparó una solución de mucílago en agua destilada, a una concentración de 0.6 % (p/v), y otra de pectina con la misma concentración, se tomó la viscosidad con el viscosímetro rotacional Brookfield, utilizando el spin No. 62, a 25 °C y diferentes velocidades de cizallamiento (0.6, 1.5, 3, 6, 12, 30 y 60 rpm). La viscosidad se reportó en cp.

Determinación de la viscosidad a diferentes temperaturas

Para observar el comportamiento de las soluciones de mucílago a diferentes temperaturas, se preparó una solución de mucílago al 5 %, (P/V), en un vaso de precipitados de 250 ml, agitando por 10 minutos hasta disolución completa. La muestra se colocó en baño maría a 25 °C dejando estabilizar la temperatura por 10 min., posteriormente se tomó la viscosidad, con el viscosímetro de Brookfield, utilizando el spin No. 62, a 60 rpm y se anotó el valor de la viscosidad expresada en cp. Se siguió el mismo procedimiento para las temperaturas de 35, 45 y 55 °C [7].

3. Resultados y discusiones

3.1 Extracción de mucílago

Para evaluar las condiciones de extracción los resultados obtenidos se analizaron utilizando el programa Minitab 16. El mejor rendimiento se logró con el tratamiento realizado a pH 2.5, durante 2 h y 80 °C obteniendo 12.21 % de mucílago. El rendimiento más bajo se obtuvo a pH 4,5, un tiempo de 1 h y una temperatura de 60 °C, alcanzando 7,17 % de mucílago los resultados fueron calculados sobre base seca de residuos de nopal.

En la **Tabla 1**, se observan las combinaciones de los niveles de los tres factores estudiados y el porcentaje de rendimiento obtenido para cada tratamiento.

Tabla 1. Rendimiento de mucílago extraído

Tratamiento	Efectos	t (h)	T (°C)	pH	Mucílago obtenido (g)	Rendimiento (%)
1	central	1	60	2.5	1.8695 ± 0.13	10.1
2	t	2	60	2.5	1.975 ± 0.12	10.67
3	T	1	80	2.5	1.986 ± 0.17	10.73
5	pH	1	60	4.5	1.326 ± 0.00	7.17
4	t*T	2	80	2.5	2.26 ± 0.02	12.21
6	T*pH	2	60	4.5	1.433 ± 0.12	7.74
7	T*pH	1	80	4.5	1.483 ± 0.20	8.01
8	t*T*pH	2	80	4.5	2.031 ± 0.09	10.97

En la **Tabla 2** se presenta el análisis de varianza (ANOVA) mostrando los efectos que tienen los factores sobre el rendimiento de mucílago. Como se puede apreciar, los tres factores; es decir tiempo, temperatura y pH tienen efecto sobre el rendimiento, ya que su nivel de significancia P es menor que 0.05. De la misma manera, se encuentra la interacción del tiempo con la temperatura. Las demás interacciones se descartan puesto que no producen ningún efecto considerable en el rendimiento del mucílago.

Tabla 2. ANOVA para el diseño factorial del rendimiento de mucílago.

Efectos	GL	SC sec.	SC ajust.	MC Ajust.	F	P
t (h)	1	7,8098	7,8098	7,8098	16	0,004
T (°C)	1	9,7614	9,7614	9,7614	20	0,002
pH	1	24,1161	24,1161	24,1161	49,4	0,000
t*T	1	2,718	2,718	2,718	5,57	0,046
t*pH	1	0,5524	0,5524	0,5524	1,13	0,318
T*pH	1	0,9102	0,9102	0,9102	1,87	0,209
t*T*pH	1	0,5444	0,5444	0,5444	1,12	0,322
Error	8	3,9041	3,9041	0,488		
Total	15	50,3164				

Para conocer los cambios que se producen al pasar de un nivel bajo a un nivel alto o viceversa, en cada factor se calculan los efectos principales, es decir la respuesta media observada cuando un factor pasa de su primer nivel al segundo. En la **Figura 1** se observan estos cambios.

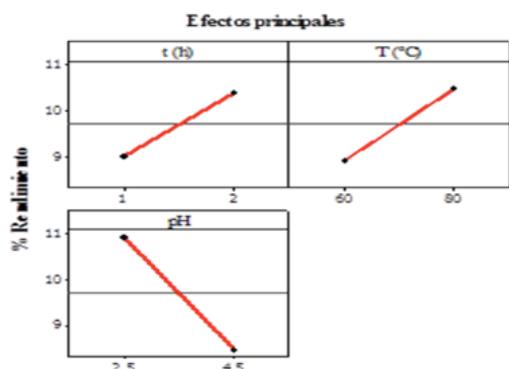


Figura 1. Representación de los efectos principales para el rendimiento de mucílago.

De acuerdo a las gráficas presentadas, para el factor pH se obtiene un mejor rendimiento en su nivel bajo, mientras que para los factores tiempo y temperatura el rendimiento es mayor cuando pasa al nivel alto.

Es importante determinar el efecto de las interacciones de los factores sobre la variable respuesta, en la **Figura 2** se observan cada una de estas interacciones. Se aprecia que si la temperatura pasa del nivel bajo al alto, cuando el tiempo es de una 1 h, el rendimiento aumenta. Sin embargo, si el tiempo es de 2 h el rendimiento es mucho mayor. En la interacción del tiempo-pH se observa que si el pH del nivel bajo al nivel alto, en cualquiera de los dos niveles de tiempo va a decrecer considerablemente. Por último para la interacción temperatura-pH observamos que el rendimiento disminuye al pasar el pH de su nivel bajo al alto, en cualquiera de los dos niveles de la temperatura.

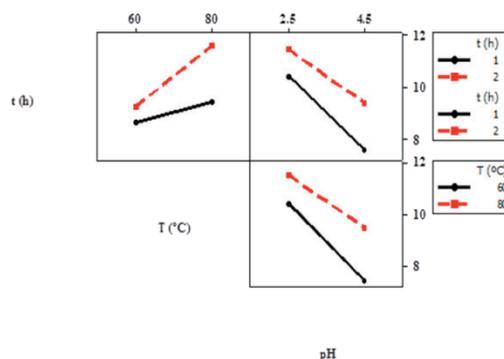


Figura 2. Efecto de la interacción: tiempo-temperatura, tiempo-pH, Temperatura-pH, para el rendimiento de mucílago.

En la **Figura 3** se muestra la superficie de respuesta de los factores tiempo-temperatura, manteniendo el pH constante y se aprecia como el rendimiento es mayor en niveles altos de temperatura y tiempo con un porcentaje de 12.21 %.

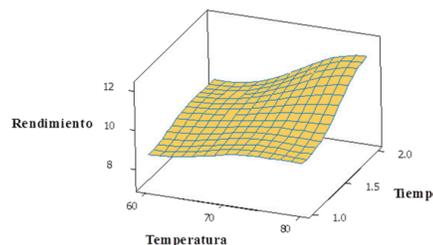


Figura 3. Superficie de respuesta para el rendimiento de mucílago de nopal, manteniendo el pH constante.

3.2 Caracterización del mucílago y su comparación con la pectina comercial cítrica

En la **Tabla 3** se presentan los resultados de la caracterización fisicoquímica, comparando el mucílago obtenido con una pectina cítrica. De acuerdo a estos resultados, el mucílago se comporta como una pectina de bajo metoxilo (menor a 7%), lo cual indica que es de difícil gelificación. El contenido de ceniza es alto, lo que indica el gran contenido de impurezas del mucílago [8]. En cuanto a la humedad los resultados son muy similares al de la pectina cítrica.

Los resultados reológicos (**Figura 4**) indican que el mucílago es un fluido no newtoniano pseudoplástico en el que la viscosidad disminuye con el incremento de la velocidad de cizallamiento.

Tabla 3. Caracterización de mucílago de nopal comparada con la pectina cítrica.

Características	Pectina Cítrica	Mucílago
Humedad (%)	9.59 ± 0.35	9.06 ± 0.31
Cenizas (%)	2.41 ± 0.11	18.62 ± 0.10
Metoxilos (%)	8.07 ± 0	4.96 ± 0
Grado de esterificación (%)	79.48 ± 1.28	92.27 ± 0.45
Acido galacturónico (%)	94.15 ± 1.37	84.83 ± 0.82

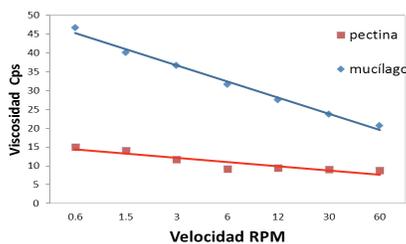


Figura 4. Gráficas de viscosidad en función de la velocidad de cizallamiento para la pectina cítrica y para el mucílago.

La **Figura 5** de viscosidad contra temperatura muestra un comportamiento típico en el que la viscosidad disminuye con el incremento de temperatura siendo más patente en la pectina cítrica.

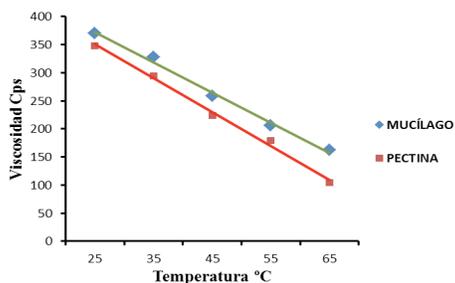


Figura 5. Gráficas de viscosidad en función de la temperatura para la pectina cítrica y para el mucílago.

4. Conclusiones

El contenido de mucílago de los residuos de nopal fue del 12.21 % sobre base seca. De acuerdo al diseño experimental planteado, los factores que más influyen en el rendimiento del mucílago son: el pH y temperatura de extracción. A pH más bajo y temperaturas altas se extrae mayor cantidad de mucílago. En lo que respecta a la caracterización, la evaluación fisicoquímica indica que el mucílago presenta características muy similares a la de una pectina de bajo metoxilo, además presenta mayor viscosidad que la de una pectina cítrica. Con este

estudio se contribuye a las alternativas del aprovechamiento integral de los residuos de nopal que se generan en México posibilitando la obtención de un producto de alto valor agregado.

5. Agradecimientos

Al CONACYT por la beca de maestría de la Ing. Espinosa Ortiz.

6. Referencias

- [1] Goycoolea F., Cárdenas A. (2001). Propiedades Gelificantes de la Pectina de Nopal. XXV Premio Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos 2001 auspiciado por la Industria Mexicana de Coca Cola y el CONACYT.
- [2] Kirchmer C. (1975). Polímeros Naturales y su Aplicación como Ayudantes de Flocculación. CEPIS, Lima Perú.
- [3] Aguilar C. (2007). Optimización del Proceso de Modificación del Maíz Ceroso por Extrusión y el uso de Mezclas de Almidones Modificados con Mucílago de Nopal para la Encapsulación de Aceite Esencial de Naranja Empleando el Secado por Aspersión. Pachuca de Soto: Instituto de ciencias básicas e Ingeniería Centro de Investigaciones Químicas.
- [4] Aquino L., Rodríguez J., Méndez L., Torres K. (2009). Inhibición de Oscurecimiento con Mucílago de Nopal (*Opuntia ficus indica*) en el Secado de Plátano Roatán. Información Tecnológica, 20(4): 15-20.
- [5] Sáenz C. (2006). Utilización Agroindustrial del Nopal, Roma: Boletín de servicios Agrícolas de la FAO.
- [6] Kameswara N., Hanson J., Ehsan M., Ghosh K., Nowel D., Larinde M. (2007). Manual para el Manejo de Semillas en Bancos de Germoplasma, Roma Italia.
- [7] Alonso E.E. (2012). Estudio del Comportamiento Reológico de las Pectinas con Diferente Grado Galacturónico Obtenida a Partir de *Citrus Paradisi* (Gray Fruit), San Salvador, El Salvador: Universidad de el Salvador.
- [8] Arellanes A., Jaraba M., Mármol Z., Páez G., Aiello Mazzarri C., Rincón M. (2011). Obtención y caracterización de pectina de la cascara del cambur manzano (*Musa AAB*). Revista de la Facultad de Agronomía. (LUZ), 28: 523-539.