

Propiedades físicas del mucílago de nopal Physical properties of mucilage prickly pear

Lorena Vargas-Rodríguez*, Gabriela Arroyo Figueroa*, Carlos Hernán Herrera Méndez*,
Antonio Pérez Nieto*, María Isabel García Vieyra*, Jesús Rubén Rodríguez Núñez*

RESUMEN

En el presente trabajo se evalúa la dependencia de la viscosidad (η) respecto a la temperatura (20 °C - 80 °C) y a los grados Brix (0.2 - 0.6) para el mucílago de nopal (*Opuntia spinulifera*). El valor máximo de $\eta_{20^\circ\text{C}}$ fue de 1091.5 cSt a 0.6 °Bx de mucílago. Los resultados muestran la variación de la η respecto a los sólidos solubles (°Bx) para cada temperatura estudiada. El mucílago mostró comportamiento no-newtoniano.

ABSTRACT

In this paper, dependence of viscosity (η) is evaluated with respect to temperature (20 °C - 80 °C), and degrees brix (0.2 - 0.6), for mucilage prickly pear (*Opuntia spinulifera*). The maximum value of $\eta_{20^\circ\text{C}}$ was 1091.5 cSt at 0.6 °Bx of mucilage. The results show, the variation of the viscosity on soluble solids (°Bx) for each temperature studied. The mucilage showed non-newtonian behavior.

INTRODUCCIÓN

El mucílago de nopal en general (*Opuntia* spp.), obtenido de cladodios, es una sustancia hidrocoloidal, heteropolisacárida (con residuos de arabinosa, galactosa, ramnosa y xilosa como azúcares neutros); sus estructuras moleculares son polielectrolitas (Majdoub, Sadok & Deratani, 2001), altamente ramificadas (MacGarvie & Parolis, 1979) y con peso molecular (PM) en el orden de los millones de Da (3×10^6 Da en Cárdenas, Higuera & Goycoolea, 1997; 4.3×10^6 Da en Trachttemberg & Mayer, 1981).

Las aplicaciones a escala doméstica del mucílago con fundamento en conocimiento empírico son muy diversas. Algunas de ellas han sido aproximadas a publicaciones científicas. Sáenz, Sepúlveda & Matsuhira (2004) comentan, por ejemplo: 1) en área de salud para el control de glicemia (además, Laurenz, Collier & Kutti [2003] realizaron estudios preclínicos en cerdo como modelo biológico; Alarcón-Aguilar [2003] identificaron y aislaron un polisacárido con propiedad hipoglucemiante; Basurto, Lorenzana & Magos [2006] hicieron una revisión de la literatura precisando en algunos casos para el mucílago sobre la acción de hipoglucemiante), colesterolemia, protección de mucosa gástrica ulcerada, analgésico, anti-inflamatorio y antiviral (herpes simple tipo); 2) tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados, coliformes fecales y mal olor; 3) construcción y pinturas, la adición del mucílago como adhesivo natural en la cal, con la finalidad de restaurar y proteger edificios históricos; 4) agricultura, mejorando la infiltración de agua en suelo; 5) alimenticia, como aglutinante de sabores y sustituto de grasas; exhibe también fuerte capacidad emulsificante. Por último, las biopelículas comestibles de mucílago de *Opuntia ficus indica* para prolongar la vida de anaquel de las fresas ha sido de las aplicaciones más innovadoras para esta sustancia (Del Valle, Hernández, Guarda & Galotto, 2005).

Recibido: 22 de junio de 2015
Aceptado: 12 de octubre de 2015

Palabras clave:

Mucílago; nopal; viscosidad.

Keywords:

Mucilage; prickly pear; viscosity.

Cómo citar:

Vargas-Rodríguez, L., Arroyo Figueroa, G., Herrera Méndez, C. H., Pérez Nieto, A., García Vieyra, M. I., & Rodríguez Núñez, J. R. (2016). Propiedades físicas del mucílago de nopal. *Acta Universitaria*, 26(NE-1), 8-11. doi: 10.15174/au.2016.839

* Departamento de Ingeniería Agroindustrial, División de Ciencias de la Salud e Ingenierías, Campus Celaya-Salvatierra, Universidad de Guanajuato. Privada de Arteaga s/n, zona centro, Salvatierra, Guanajuato, México, C.P. 38900. Tel.: (466) 6633413; fax: (466) 6632132. Correo electrónico: vargaslloreana@yahoo.com.mx

Aun cuando existen diversos trabajos reportados con caracterizaciones químicas y físicas de esta sustancia del nopal, siguen siendo limitados e insuficientes. Entre otras razones, se exponen argumentos (McGarvie & Parolis, 1981 a y b) que el clima modifica el contenido de mucílago en el nopal, reflejando rendimientos de extracción de mucílago sumamente bajos (0.06 % del nopal fresco), que obstaculizan las aplicaciones y el estudio del conocimiento. Adicionalmente, Naod & Tsige (2012) discuten que la abundancia y la calidad (inherente de la composición) del mucílago del nopal varían con el tipo de especie, edad del cladodio, estación climática y la topografía del lugar de plantación (el tipo de suelo, lluvia, temperatura, etc.), dificultando esta multitud de factores la comparación o correlación de materiales mucilaginosos, incluso mostrándose algunas veces abruptamente diferentes. Otras razones más son la diversidad de especies y variedades de nopal a estudiar, así como también las imprecisiones en la identificación taxonómica del nopal (referida como nopal u *Opuntia* sp.).

La *Opuntia spinulifera*, endémica de los valles de Apán Hidalgo, Mezquital y México, es una especie productora de xoconostle poco documentada y referenciada en la literatura científica, muy probablemente debido al desconocimiento de este nopal por tratarse de una especie silvestre, por lo cual no existen registros donde se documente en torno a su mucílago. Sin embargo, nuestro grupo de trabajo lo ha estudiado desde cosecha en plantación silvestre (Vargas-Rodríguez *et al.*, 2012), y se ha encontrado un material con alta viscosidad y abundancia respecto al de otros nopales. En este trabajo se estudió el mucílago de esta especie adaptada al clima de la ciudad de Cortazar, Gto.

La tabla 1 muestra los resultados de contenido de mucílago para el nopalito verdura y cladodio de dos años de edad de la *O. ficus indica*, comparada con los respectivos de *O. spinulifera*.

Tabla 1.
Extracción del mucílago de cladodios de *Opuntia*.

Edad del cladodio/ <i>Opuntia</i>	Extracción %
2 meses/ <i>O. ficus indica</i>	0.35
2 años/ <i>O. ficus indica</i>	0.92
2 años/ <i>O. spinulifera</i>	4.4

Fuente: Elaboración propia.

Por lo anterior, aunado con el atractivo en su potencial de las aplicaciones antes mencionadas, es interés para este grupo de trabajo contribuir al conocimiento de las características físicas y químicas del mucílago específico del nopal no tradicional *Opuntia spinulifera*, enfatizando para el presente artículo en la propiedad más representativa de la sustancia: su mucilaginosidad en la penca (cladodio), esto llevado a través del indicador de la viscosidad.

La viscosidad es la principal característica del mucílago, sobre la que se proyecta la aplicación como aditivo de alimentos, adhesivo de pinturas y recubrimiento de mucosa gástrica ulcerada, entre otras.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los cladodios de la *Opuntia spinulifera* fueron cortados y limpiados para la extracción a dos años de edad (figura 1, izquierda).

Técnica de extracción de mucílago. El parénquima medular de los cladodios fue separado manualmente con navaja, para luego triturado. Por cada 100 g de parénquima se adicionó 250 ml de agua destilada. Posteriormente, se agitó el material a 100 rpm durante 12 h a temperatura ambiente y luego se filtró (figura 1, centro) en un tamiz doméstico (primer filtrado); a continuación se repite el proceso, adicionando igual volumen de agua, reposando y filtrando para obtener, 2°, 3° y 4° filtrado. El mucílago obtenido en los filtrados presentó un pH ligeramente ácido, con un valor de 6.6 y variabilidad en los grados *Brix*.

Rendimiento de mucílago. El rendimiento de mucílago fue determinado por precipitación asistida de 100 ml de filtrado con tres volúmenes de etanol 96° (por triplicado). El producto fue deshidratado a 50 °C durante 3 h (Vargas-Rodríguez *et al.*, 2012). El rendimiento de mucílago fue de 2.56 ± % en peso fresco de parénquima medular para la primera extracción.



Figura 1. Izquierda a derecha. Cladodios de *Opuntia spinulifera* de 1 y 2 años de edad. Mucílago extraído de parénquima de cladodio de *Opuntia spinulifera*. Medición de viscosidad del mucílago utilizando una copa Zahn.

Fuente: Elaboración propia.

Viscosidad. La determinación de la viscosidad se realizó con una copa *Zahn* de acero inoxidable del número 4 (específica de líquidos viscosos), y capacidad para 44 ml, cronometrando el flujo ininterrumpido del mucílago y registrado en segundos (figura 1, derecha). Previamente, el material fue llevado por calentamiento escalonado a las temperaturas de 20 °C, 35 °C, 50 °C, 65 °C y 80 °C para su medición por triplicado de la propiedad viscosa.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los líquidos tienen una propiedad denominada *viscosidad*, la cual se puede definir como la resistencia a fluir, resultante de los efectos combinados de la cohesión y la adherencia.

Los trabajos que anteceden en torno al estudio de la viscosidad del mucílago de nopal han sido realizados para *Opuntia ficus indica*, específicamente en área de reología. En estudios preliminares, la viscosidad de mucílago de cáscaras de tuna de *Opuntia ficus indica* dependió del incremento de pH de las dispersiones, alcanzando el máximo valor de 60 mPa.s a pH de 6.6 (Sáenz, Vásquez, Trumper & Fluxa, 1992). Medina, Brito, Torrestiana & Katthain (2000) reportaron las propiedades reológicas de dispersiones de mucílago de cladodio de nopal *Opuntia ficus indica*, como un fluido no newtoniano y el efecto de iones en la viscosidad.

En este trabajo se obtiene el valor de viscosidad cinemática (η) a través del uso de una copa *Zahn* número 4 y la siguiente expresión matemática:

$$\eta = K(t-c) \quad (1)$$

Donde:

η = viscosidad cinemática en cSt

$K = 14.8$

t = tiempo en segundos (s)

$c = 5$

Para obtener la propiedad de viscosidad cinemática se emplearon los diferentes filtrados (1°, 2°, 3° y 4°) de mucílago obtenido según la metodología comentada en los materiales y métodos. Todos ellos analizados a las temperaturas de 20 °C, 35 °C, 50 °C, 65 °C y 80 °C. La medición de los grados Brix fue realizada a 20 °C para todos los casos.

La tabla 2 muestra los valores máximo y mínimo de viscosidad cinemática (η) determinados para el mucílago del nopal.

La figura 2 evidencia la variación de la viscosidad cinemática (η) con respecto a la temperatura, lo que corrobora que la viscosidad es fuertemente dependiente de la temperatura. La mayoría de los materiales disminuye su viscosidad al aumentar la temperatura. En general, mientras más caliente es un líquido, menos viscoso se vuelve. Esto se debe a que en un líquido las moléculas poseen más energía a temperaturas más elevadas, y se pueden oponer con mayor fuerza a las grandes fuerzas de cohesión moleculares. Es decir, en los líquidos las moléculas están bastante cercanas entre sí, con intensas fuerzas de cohesión entre ellas, y la resistencia al movimiento del fluido entre sus capas adyacentes (viscosidad) está relacionada con esas fuerzas. A medida que aumenta la temperatura en un líquido, las fuerzas de cohesión entre sus moléculas se reducen con una disminución correspondiente a la resistencia del movimiento.

Tabla 2. Máximo y mínimo valor de viscosidad cinemática para el mucílago del nopal (*Opuntia spinulifera*).

η (cSt)	°Brix	T (°C)	pH
Máxima: 1091.5	0.6	20	6.6
Mínima: 57.72	0.2	80	6.6

Fuente: Elaboración propia.

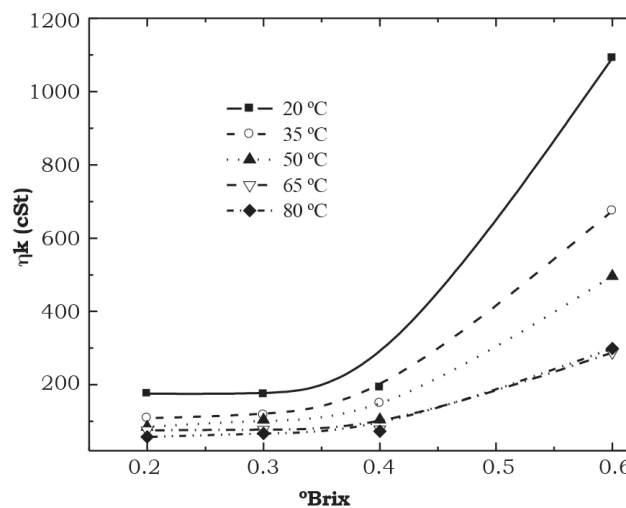


Figura 2. Isotermas para la viscosidad cinemática del mucílago de cladodio del nopal *Opuntia spinulifera* en función de la concentración.

Fuente: Elaboración propia.

Este comportamiento demuestra que se trata de un fluido no-newtoniano, pues la viscosidad del fluido no permanece constante. Sin embargo, a las temperaturas de 65 °C y 80 °C la viscosidad se mantiene del mismo orden, no obstante, continúa siendo un fluido no-newtoniano debido al incremento de la viscosidad al aumentar la concentración. Ello sugiere efectuar caracterizaciones reológicas para indagar el comportamiento de la viscosidad a estas temperaturas, o inclusive a mayores temperaturas, con el objeto de tener mejor caracterizado a este mucílago y proponer una posible aplicación tanto en industrias alimentarias y no alimentarias.

En la misma figura 2 se observa un incremento en la viscosidad al aumentar la concentración. El máximo valor de la viscosidad obtenido fue de 1091.5 cSt a la mayor concentración de 0.6 °Bx y a una temperatura de 20 °C. En tanto, el mínimo valor de viscosidad fue de 57.72 a la temperatura de 80 °C y a una concentración de 0.2 °Bx. Esto sugiere que existe una relación entre la concentración y la viscosidad, es decir, existe un incremento en la viscosidad al aumentar la concentración.

El valor máximo obtenido de viscosidad, como resultado preliminar, permite aproximarse a diversas aplicaciones innovadoras del mucílago en la industria, una de ellas como sustituto de huevo en procesos de industrias alimentarias, pues la clara de huevo presenta un valor promedio de 1084.84 cSt similar al de la sustancia investigada.

Experimentos adicionales deben ser realizados para sugerir expresiones matemáticas que relacionen los parámetros físicos de viscosidad y concentración (°Bx) a temperaturas determinadas; o bien, la viscosidad como función de la temperatura a concentraciones determinadas, esto es $\eta_T = f(^{\circ}\text{Bx})$ y $\eta = f(T)$, respectivamente.

CONCLUSIONES

Se obtuvieron datos preliminares de la sustancia mucílago de una especie no tradicional de nopal (*Opuntia spinulifera*). Se determinó que la viscosidad cinemática varía directamente proporcional con el aumento de la concentración e inversamente con las temperaturas. Por lo anterior y por la magnitud del máximo valor de viscosidad, este mucílago es un material promisorio para diversas aplicaciones.

REFERENCIAS

- Alarcón-Aguilar, F. J. (2003). Hypoglycemic activity of two polysaccharides isolated from *Opuntia ficus indica* and *Opuntia streptacantha*. *Proceedings of the West Pharmacology Society*, 46, 139-142.
- Basurto, S. D., Lorenzana Jiménez, M., & Magos G. A. (2006). Utilidad del nopal para el control de la glucosa en la diabetes mellitus tipo 2. *Revista de la Facultad de Medicina*, 49(4), 157-162.
- Cárdenas, A., Higuera Ciapara, I., & Goycoolea, F. (1997). Rheology and aggregation of cactus (*Opuntia ficus indica*) mucilage in solution. *Journal of the Professional Association for cactus development*, 2, 152-159.
- Del Valle V., Hernández, M. P., Guarda, A., & Galotto, M. J. (2005). Development of cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food Chemistry*, 91(5), 751-756.
- Laurenz, J. C., Collier, C. C., & Kutti, J. O. (2003). Hypoglycaemic effect of *Opuntia lindheimeri*. Englem in a diabetic pig model. *Phytotherapy Research*, 17(1), 26-29.
- McGarvie, D., & Parolis, H. (1979). The mucilage of *Opuntia ficus indica*. *Carbohydrate Research*, 69(1), 171-179.
- McGarvie, D., & Parolis, H. (1981a). Methylation analysis of the mucilage of *Opuntia ficus indica*. *Carbohydrate Research*, 88(2), 305-314.
- McGarvie, D., & Parolis, H. (1981b). The acid-labile, peripheral chains of the mucilage of *Opuntia ficus indica*. *Carbohydrate Research*, 94(1), 57-65.
- Majdoub, H., Sadok, R., & Deratani, A. (2001). Polysaccharides from prickly pear peel and nopals of *Opuntia ficus indica*: extraction, characterization and polyelectrolyte behavior. *Polymer International*, 50(5), 552-560.
- Medina, T. E., Brito, de la F. E., Torrestiana, S. B., & Katthain, R. (2000). Rheology properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). *Food Hydrocolloids*, 14(5), 417-424.
- Naod, G., & Tsige, G. M. (2012). Comparative physico-chemical characterization of the mucilages of the two cactus pears (*Opuntia spp.*) obtained from Mekelle northern, Ethiopia. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*, 3(1), 79-86.
- Sáenz, C., Sepúlveda, E., & Matsuhiro, B. (2004). *Opuntia spp.* Mucilage's: a functional component with industrial perspectives. *Journal of Arid Environments*, 57(3), 275-290.
- Sáenz, C., Vásquez, M., Trumper, S., & Fluxa, H. C. (Septiembre, 1992). Extracción y composición química de mucílago de tuna (*Opuntia ficus indica*) (pp. 93-96). Actas: II Congreso Internacional de la tuna y cochinilla. Santiago, Chile.
- Trachtemberg, S., & Mayer, A. M. (1981). Composition and properties of *Opuntia ficus indica* mucilage. *Phytochemistry*, 20(12), 2662-2668.
- Vargas-Rodríguez, L., Arroyo Figueroa, G., Jiménez Alamilla, D., Hernández Morales, A., Herrera Méndez, C.
- H., & Gómez Luna, B. E. (2012). Adhesivo de nopal en pintura a la cal. *Revista Salud Pública y Nutrición*, Ed. Esp. (4), 165-174.