

Elaboración y caracterización de películas biodegradables a partir de mucilago de nopal-caseinato de sodio y mucilago de nopal-pectina

Bethsua Mendoza, Erik Gómez, Edna Hernández, Adriana Rodríguez y Norberto Chavarría.

B. Mendoza, E. Gomez, E. Heranandez, A. Rodriguez y N. Chavarria
Cuerpo Académico de Industrias Alimentarias. Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo, Carretera Apan-Tepeapulco Km. 3.5 Col las peñitas, CP 43900, Apan, Hidalgo. Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
bmendoza@itesa.edu.mx

M.Ramos.,V.Aguilera.,(eds.) Ciencias Agropecuarias, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

Abstract

In this paper the effect of age cladodio and ratio extract-ethanol yield was studied, finding the best results using cladodes 1 and a 1:4 ratio extract-mucilage respectively mucilage is suitable for be applied in the preparation of edible films in combination with sodium caseinate, pectin and glycerol as plasticizer, suitable formulations were 4% sodium caseinate, mucilago 1% and 30% w / v glycerol (F1); 2% pectin, 1% mucilage and 20% w / v glycerol (F2). The film obtained has suitable physical characteristics, to be utilizandas food. It was found that the solubility of the film in water with the addition disminuyenopal mucilage, which is beneficial since the peliucla may be more efficient to maintain the integrity of food.

14 Introducción

La importancia del uso y aprovechamiento del nopal en México es superior a la de cualquier país, el nopal ha representado, para los mexicanos, en su desarrollo histórico, una de las plantas más relevantes y de mayor significado cultural, ambiental, económico y social.

Tradicionalmente ha sido de los alimentos de mayor consumo del pueblo mexicano, tanto que, en los últimos años se ha incrementado su demanda, principalmente en las áreas urbanas, sobre todo porque se le han atribuido diferentes beneficios a su consumo, como lo es, el efecto hipoglucemiante y laxante.

México es el centro de diversidad de *Opuntia*, donde sus usos son diversos, como fruta, hortaliza o forraje, cercos para casa, jardín y parcelas agrícolas, protección del suelo, planta medicinal, materia prima para la industria de cosméticos y a nivel experimental se ha obtenido fructuosa, pectina Y colorante. Hoy en día se les puede encontrar en todos los continentes, en una gran variedad de condiciones agroclimáticas, en forma silvestre o cultivada (Bravo, 1978).

Entre las transformaciones que puede tener el nopal, está la elaboración de productos como shampoo, crema, jabón, entre otros, cuya demanda ha aumentado considerablemente gracias al incremento de los patrones naturistas de consumo (López-Ruiz, 2011).

Los nopalitos (cladodios) contribuyen con una alta proporción de agua (90%) y son altamente cotizados por su contenido de fibra, comparable al de varias frutas y hortalizas (Zambrano et al. 1998; Ruales y Zumba, 1998). Los carbohidratos que se encuentran en este tipo de vegetales son monosacáridos, disacáridos y polisacáridos. Los néctares son sustancias que exudan los órganos especializados de las cactáceas y constituyen una mezcla de sacáridos que, probablemente, en ocasiones contengan también ligeras cantidades de aceites esenciales, sobre todo los que produce la flor. Su función es participar en la polinización. Así mismo, la composición de azúcares en *Opuntia* es de gran interés debido a la utilidad comercial de la goma de cholla y otros mucilaginosos (Granados-Sánchez y Castañeda-Pérez, 2000).

El nopal excreta una sustancia viscosa llamada mucilago o baba de nopal, uno de los componentes más importantes, el cual también forma parte de la fibra dietética, ha sido objeto de estudio desde hace varias décadas y su composición química (Ornelas-Núñez, 2011).

Este compuesto se presenta tanto en los cladodios como en la piel y pulpa de la fruta, aunque en muy diversas proporciones. Estudios efectuados por Sáenz y Sepúlveda, (1993) indican que el rendimiento en todos los casos es bajo: 0.5 % en la cáscara y 1.2 % en los cladodios. El mucílago es un carbohidrato complejo. Entre los monómeros contenidos en la cadena se encuentran: Larabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-Xilosa y ácido galacturónico.

La proporción de estos monómeros en la molécula varía de acuerdo a diversos factores como: variedad, edad, condiciones ambientales y estructura empleada para la extracción (fruto, cáscara, cladodio), entre otros factores.

Cualquier tipo de material utilizado para envolvimiento, es decir, capa o envoltura en un alimento, para prolongar su vida útil y que se puede comer junto con el alimento, se considera una película o recubrimiento comestible. Las películas comestibles pueden fortalecer las capas naturales de los alimentos, para evitar pérdidas de humedad, mientras que permiten el intercambio controlado de gases de efecto importante, como el oxígeno, dióxido de carbono y etileno, involucrados en los procesos de la respiración y evitan la pérdida de otros componentes importantes. Las películas comestibles se utilizan para una gran variedad de propósitos y en una amplia gama de sistemas alimentarios, desde alimentos frescos o mínimamente procesados, hasta productos procesados, como son: dulces, lácteos o cárnicos (Embuscado y Huber, 2009).

Este tipo de películas son producidas exclusivamente de ingredientes comestibles y renovables, por lo tanto, se degradan con mayor rapidez que los materiales sintéticos. Pueden ser producidas a partir de diversos materiales con habilidad para la formación de láminas (Bourtoom, 2008). Se producen de biopolímeros comestibles y aditivos grado alimentario (Jung y Gennadios, 2005).

Los componentes principales de los alimentos que se consumen a diario (hidratos de carbono, proteínas y lípidos), cumplen con los requerimientos necesarios para la elaboración de películas. Estos materiales pueden ser utilizados individualmente o como mezclas con otros compuestos, siempre y cuando, el sabor de los alimentos no se vea afectado. La estructura química de estos compuestos difiere grandemente entre ellos, y como consecuencia, las características que cada uno proporcionan a las películas también cambian (Embuscado y Huber, 2009).

Por ello en el presente trabajo se pretende utilizar algunos biopolímeros que en combinación con el mucilago de nopal resulten en películas biodegradables con mejores propiedades tanto de permeabilidad y mecánicas como de solubilidad.

14.1 Materiales y métodos

Extracción del mucilago:

El nopal utilizado fue obtenido de diferentes municipios del Estado de Hidalgo (Apan, Acaxochitlan y Tepeapulco), se eligieron noples de edad de 1 a 3 años, con el fin de determinar si existen diferencias entre las edades del nopal y el tipo de sembradío. Los cladodios se limpiaron quitando las espinas y selavaron perfectamente a fin de eliminar tierra y partículas contaminantes. Para el proceso de extracción se siguieron las metodologías propuestas por Rodríguez-González et al. (2010); Martínez-Flores, (2011) y Abraján, (2008), con ligeras modificaciones; en las cuales se propone una molienda del nopal (relación 1:4 nopal:agua) seguida por una cocción (90°C durante 1 h) y precipitación con etanol (relación 1:3 y 1:4 extracto: etanol) para posteriormente secar (60 °C por 24 h) y obtener un polvo. Las variables a controlar en este proceso fueron la edad del nopal y la relación extracto-alcohol utilizada. Una vez obtenido el polvo se realizó la detemrinación de cenizas de acuerdo a lo que establece la norma NMX-F-066-S-1978. Determinación de cenizas en alimentos. Normas mexicanas. Dirección general de normas.

Elaboración de la película comestible:

Para preparar la solución filmogénica se realizó una mezcla en agua destilada de mucilago de nopal en polvo, utilizando glicerol como plastificante y biopolímeros en diferentes concentraciones como se muestra en la tabla 1. La película se realizó por el método de casting o vaciado en placa y se secó a 60°C por 12 h, posteriormente se realizó el desmoldado y la película formada se acondiciona en un desecador manteniendo una humedad relativa de 50-55 % a temperatura ambiente durante 48 horas.

Tabla 14 Tratamientos probados para la elaboración de la película biodegradable a base de mucilago de nopal, caseinato de sodio y pectina, utilizando glicerol como plastificante.

Reactivo	F1	F2
Mucilago de nopal (%)	1	1
Caseinato de sodio (%)	4	---
Pectina (%)	---	2
Glicerol (% p/v)	30	20

Prueba de solubilidad:

Las películas una vez acondicionadas, se cortaron en cuadros de 4 cm² los cuales se pesaron y se colocaron en tubos de centrifuga con 30 mL de agua destilada, se agitron durante una hora y posteriormente se filtraron, el papel filtro se secó a 100°C por 2 horas y se pesó. Para determinar el porcentaje de solubilidad se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Solubilidad (\%)} = \left(\frac{\text{Peso inicial seco} - \text{Peso final seco}}{\text{Peso inicial seco}} \right) \times 100 \quad (14)$$

Analisis estadístico:

Cada tratamiento fue realizado por triplicado y los datos fueron analizados con un diseño factorial y una comparación de medias por Tukey con una $\alpha = 0.05$, utilizando un paquete estadístico Sigma Plot 12.0.

14.2 Resultados y discusión

Extracción de mucilago:

Se obtuvo mucilago en polvo totalmente homogéneo de color blanco con ligera tonalidad verde, el mayor rendimiento de extracción obtuvo fue de 0.84%, en la tabla 2 se muestra el rendimiento en los diferentes tratamientos probados, donde podemos observar que de las variables estudiadas (edad del cladodio y relación agua-etanol) solo la edad y la interacción entre las dos variables tienen una influencia significativa sobre el rendimiento de extracción, observando que los cladodios de un año y utilizando una relación de 1:3 sería el mejor tratamiento. Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Sepulveda et al (2007), que estudio diferentes variables en las que destacan la relación extracto: etanol para la precipitación, dicho autor reporta que la mejor relación es 1:4 respectivamente, sin embargo el rendimiento obtuvo en el presente trabajo, se encuentra por debajo de lo reportado por este autor (1.2%), esto puede ser debido a que durante el proceso de extracción se deben cuidar variables como la edad, la relación extracto-etanol, la temperatura de cocción, el tiempo de extracción, la variedad del nopal e incluso las condiciones climáticas, ya que el mucilago juega un papel de almacenaje de agua y de protección del daño a las altas temperaturas. Por lo que podría deducirse que la mayor cantidad de mucilago en el nopal podría ser en temporadas de sequía, donde la planta requiere mayor protección a las condiciones climáticas extremas (Ornelas-Nuñez, 2011). Por otro lado, los resultados obtenidos están por arriba de lo reportado por Abrajam, (2008) quien reporta rendimientos de 0.66 – 0.85 %.

Tabla 14.1 Rendimiento de extracción de mucilago de nopal utilizando diferentes cantidades de alcohol y diferentes edades de cladodio.

Extracción	Edad años	Relación mucilago/etanol	Rendimiento (%)
1	1	1:4	0.75 ± 0.010 ^e
2	1	1:3	0.84 ± 0.004 ^f
3	2	1:4	0.20 ± 0.020 ^a
4	2	1:3	0.30 ± 0.076 ^b
5	<1	1:4	0.40 ± 0.003 ^d
6	<1	1.3	0.30 ± 0.007 ^b

^{abcdef}: Letras diferentes en columnas indican valores significativamente diferentes (Diseño factorial seguido por una comparación de medias por Tukey; $p < 0.05$)

Para la caracterización se realizó la determinación de cenizas, (solo para aquel tratamiento en el que se obtuvo mayor rendimiento), reflejando que el mucilago tiene 22.46% de cenizas, estos resultados concuerdan con lo obtenido por Abrajam, (2008) quien reporta valores desde 20-25.9 % de cenizas y son mayores en comparación con lo que reporta Ornelas-Nuñez, (2011), quien obtuvo un valor de 11.91%.

Elaboración de la película comestible y determinación de solubilidad:

Se ha logrado obtener una película con propiedades físicas adecuadas para su manejo y aplicación en alimentos, sin embargo queda pendiente la caracterización de propiedades de permeabilidad y mecánicas. Las películas obtenidas son totalmente transparentes, incoloras, inodoras e insípidas. Los resultados de solubilidad se muestran en la tabla 3, donde podemos observar que las películas de caseinato de sodio-mucilago son mas solubles que las de pectina-mucilago, sin embargo los resultados indican que el mucilago de nopal disminuye la tasa de solubilidad en agua de las películas, pues en ambos casos las películas con mucilago de nopal tuvieron valores menores en comparación con las películas que no tenían mucilago. Una baja tasa de disolución indica que existe una mayor cohesión en la matriz polimérica, debida sobre todo a la formación de numerosos enlaces de hidrógeno entre las cadenas de los polímeros involucrados (Nazan y Sahbaz, 2004).

Tabla 14.2 Valores promedio de solubilidad de películas elaboradas con caseinato de sodio, caseinato de sodio –mucilago, pectina y pectina-mucilago de nopal, utilizando glicerol como plastificante

Película	Solubilidad (%)
CasNa	91.56 ±2.26a
CasNa/mucilago	57.48 ±7.62b
Pectina	44.60 ±2.10c
Pectina/mucilago	43.34 ±0.70c

CasNa: Caseinato de Sodio. Letras diferentes (a,b,c) en las columnas indican valores significativamente diferentes (ANOVA, seguida de comparación de medias, prueba de Tukey; $p < 0.05$).

La solubilidad en agua es una propiedad importante para las películas comestibles, pues de este valor dependerá su aplicación ya que en la mayoría de los casos se requiere que la película sea totalmente insoluble para mantener la integridad del producto, sin embargo en algunos casos una mayor solubilidad en agua es requerida o puede ser benéfica, sobre todo para que la degradación de esta sea mas rápida.

14.2 Conclusiones

La extracción de mucilago de nopal es un proceso donde deben controlarse diversas variables, entre las que se destacan la edad del cladodio y la relación extracto:etanol, encontrando que un cladodio de 1 año y una relación de extracto:etanol de 1:4 permiten elevar el rendimiento, así mismo, se logró combinar el mucilago de nopal con pectina y caseinato de sodio para elaborar películas comestibles con mejores características físicas, disminuyendo la tasa de solubilidad de dichas películas, lo cual las hace mas aptas para ser aplicadas en los alimentos.

14.3 Referencias

Abraján-Villaseñor, M. A. (2008). Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucilago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible. *Tesis doctoral no publicada*. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Tecnología de alimentos. Valencia, España.

Bourtoom T (2008) Edible films and coatings: characteristics and properties. *International Food Research Journal*. 15:237-248.

Embuscado, M.E. & Huber, K.C. (2009) Edible films and coatings for food applications. Springer, New York, pp 2-10.

Granados Sánchez, D. & Castañeda Pérez, A.D. (2000). *El Nopal. Historia, Fisiología, Genética e Importancia Frutícola*. Editorial Trillas. México.

Jung HH, Gennadios A (2005) Edible films and coatings a review. En: Jung HH (ed) *Inovations in food packaging*, Elsevier Ltd, pp 239-262.

López-Ruiz S. (2011). El nopal: propiedades y paquete tecnológico para su producción. Memoria de capacitación. *Fundación produce Sinaloa, AC*. Sinaloa, México.

Martínez-Flores, H. E. (2011). Mejoramiento del método de extracción del mucilago de nopal *Opuntia ficus indica* y evaluación de sus propiedades de viscosidad. *Tesis de licenciatura no publicada*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán.

Nazan, K.T., Sahbaz, F. (2004) Water vapor permeability, tensile properties and solubility of methylcellulose-based edible films. *Journal of Food Engineering*, 61:459-466.

Ornelas-Núñez, H. (2011). Mejoramiento del método de extracción del mucilago de nopal *Opuntia ficus indica* y evaluación de sus propiedades de viscosidad. *Tesis de licenciatura no publicada*. Universidad michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Michoacan.

Rodríguez-González, S, Martínez-Flores, H. E., Loaiza-Anaya, S. G., Ornelas-Núñez, J. L. (2010). Aplicación del mucilago de nopal (*Ficusl Indica*) como espesante en una crema de huitlacoche (*UstilagoMaydis*) en la producción de un alimento funcional, y su evaluación sensorial. *XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Guanajuato, Guanajuato. 442-448.

Rúales, J. & Zumba, J. (1998). Cuantificación y caracterización de fibra dietética en frutas y hortalizas ecuatorianas. En: M. Lajolo y E. Wenzel de Menezes, eds. *Temas en Tecnología de Alimentos. Fibra Dietética. F. CYTED. Dirección de Publicaciones y Materiales Educativos*, Instituto Politécnico Nacional. México.

Sáenz, C. y Sepúlveda, E. 1993. Alternativas d industrialización de la tuna (*Opuntia ficus-indica*). *Alimentos*, 18: 29-32.

Sepúlveda, E., Sáenz C., Aliaga, E., Aceituno C. (2007). Extraction and Characterization of mucilage in *Opuntia spp.* *Journal of Arid Environments*, 68:534-545.

Zambrano, M. L., Hernández, A. D. & Gallardo, Y. (1998). Características fisicoquímicas del nopal. *En*. M. Lajolo y E. Wenzel de Menezes, eds. *Temas en Tecnología de Alimentos*. Fibra Dietética. F. *CYTED*. Dirección de Publicaciones y Materiales Educativos, Instituto Politécnico Nacional, México.