



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

PROPIEDADES MECÁNICAS, PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA E ISOTERMAS DE SORCIÓN DE  
PELÍCULAS ELABORADAS A BASE DE QUITOSANO CON MUCILAGO DE NOPAL Y ALCOHOL  
POLIVINILICO

**M.C. Blanca Marisol Domínguez Martínez<sup>a\*</sup>**

**Dr. Héctor Eduardo Martínez Flores<sup>b</sup>**

**Dr. Gonzalo Velázquez de La Cruz<sup>a</sup>**

**a** Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada- IPN, Unidad Querétaro, Calle Cerro Blanco  
141, Colinas del Cimatarío, C.P. 76090. Querétaro, Qro, México;

**b** Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas, Facultad de Químico Farmacobiología, Universidad  
Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Tzintzuntzan #173, Col. Matamoros, C.P. 58240. Morelia, Mich. México.

\*Autor de correspondencia: [b\\_marisol\\_dominguez\\_m@yahoo.com.mx](mailto:b_marisol_dominguez_m@yahoo.com.mx);



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”  
Multidisciplinario  
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
ISBN: 978-607-95635

## PROPIEDADES MECÁNICAS, PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA E ISOTERMAS DE SORCIÓN DE PELÍCULAS ELABORADAS A BASE DE QUITOSANO CON MUCILAGO DE NOPAL Y ALCOHOL POLIVINILICO

### RESUMEN

Los consumidores actuales han desarrollado una conciencia sustentable lo que se traduce en la reducción de residuos y utilización de empaques amigables al medio ambiente pero también demandan alimentos de mejor calidad con un mínimo de conservadores y mayor vida de anaquel. Tanto el quitosano como el mucílago de nopal reúnen propiedades estructurales útiles para la elaboración de películas biodegradables comestibles. La combinación adecuada de quitosano, mucílago de nopal y alcohol polivinílico forma películas resistentes y estables para utilizarse como material de empaque de tal forma que permite aumentar la vida de anaquel de alimentos frescos y procesados. Se elaboraron películas de quitosano, mucilago de nopal de *Opuntia ficus indica* y *Opuntia tomentosa*, alcohol polivinílico y glicerol como plastificante, mediante la técnica de vaciado en placa, obteniendo películas con propiedades mecánicas y de permeabilidad aptas para extender la vida de anaquel de algunos productos alimenticios.

### ABSTRACT

The consumers have developed awareness for sustainability which reflects in a reduction of waste and utilization of environmental friendly packaging but at the same time demand foods with better quality, minimum use of preservatives and longer self-life. Chitosan and nopal's mucilage have structural properties useful to form edible biodegradable films. The adequate combination of chitosan and nopal's mucilage combined with polyvinyl alcohol form resistant and stable films to be used as packaging material allowing to increase the



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”  
Multidisciplinario  
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
ISBN: 978-607-95635

shelf-life of fresh and processed foods. Were prepared films of chitosan, nopal's mucilage of *Opuntia ficus indica* and *Opuntia tomentosa*, polyvinilic alcohol were prepared by the casting method using glycerol as plasticizer. The obtained films showed mechanical properties and permeability suitable to extend the shelf-life of some food products.

**PALABRAS CLAVE:** Empaques, películas biodegradables, quitosano, mucilago de nopal, alcohol polivinílico



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

### I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el consumidor es más consciente de la relación existente entre su salud y su dieta por lo que busca productos más frescos, con vida de anaquel prolongada y con mínimo contenido de conservadores; esto se traduce en alimentos de mejor calidad lo que ha fomentado la investigación de técnicas alternativas de conservación. Dentro de estas técnicas alternativas se encuentra el uso de películas comestibles, las cuales se definen como una capa delgada de material que puede ser consumido y proporciona una barrera a la humedad, al oxígeno y otros solutos en el alimento (Bourtoom, 2008). La estabilidad en postcosecha de frutas, vegetales y algunos granos es afectada por la infestación con insectos, microorganismos y las malas condiciones meteorológicas ocasionando pérdidas en la productividad. Algunos métodos de protección tienen un impacto negativo sobre el medio ambiente, ya que implican la introducción de sustancias químicas nocivas en forma de fertilizantes y pesticidas. A pesar de que en la actualidad existen propuestas de uso de materiales biodegradables, es necesaria la búsqueda de nuevas alternativas en el uso de materiales que se encuentren disponibles en el país que ayuden a alargar la vida de anaquel de algunos productos alimentarios altamente sensibles y de interés en el mercado nacional.

El uso del quitosano en la elaboración de películas ha permitido obtener materiales con características fisicoquímicas deseables. El quitosano en las películas proporciona protección contra productos químicos y agentes biológicos peligrosos (Howard, Lloyd, McKinney, Sauer, & Weinberg, 2007). Se ha demostrado que el quitosano reduce el crecimiento de un amplio rango de hongos y bacterias, además, induce mecanismos de defensa, tales como la producción de fitoalexinas y aumento en la actividad de quitinasas. Sin embargo, la funcionalidad y actividad del quitosano depende de sus características fisicoquímicas como el peso molecular y el grado de acetilación.

El quitosano es derivado de la quitina por desacetilación en presencia de una base alcalina. Dentro de sus características se conoce que es hidrofílico, biocompatible, biodegradable, con actividad antimicrobiana, no tóxico y una afinidad notable a las



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

proteínas. Se ha demostrado que es un material adecuado para formar películas comestibles.

Otro producto que también es una buena alternativa para la elaboración de películas comestibles es el mucilago de nopal, que puede ser usado como aditivo funcional puesto que en los últimos años se está prestando especial importancia a este compuesto en la industria como fuente de alimentos funcionales, especialmente en la preparación de bebidas saludables, tortillas y dulces.

El mucílago de nopal es un compuesto con la capacidad de formar redes moleculares y retener importantes cantidades de agua. Dichas propiedades hacen al mucílago de nopal un material adecuado para la obtención de una solución formadora de películas comestibles.

El quitosano así como el mucílago de nopal reúnen propiedades estructurales útiles para la elaboración de películas biodegradables comestibles sin embargo la homogenización de estos dos componentes es difícil.

El alcohol polivinílico (PVA o también denominado PVOH) es un compuesto formador de películas traslucidas, se utiliza como ayuda en la polimerización en emulsiones y como coloide protector. El alcohol polivinílico mejora propiedades mecánicas y de permeabilidad al agua en las películas, por lo que la combinación adecuada de quitosano, mucílago de nopal y alcohol polivinílico puede formar películas resistentes y estables para utilizarse como material de empaque de tal forma que permite aumentar la vida de anaquel alimentos fácilmente perecederos.

El tipo de estructura que se forma con la interacción del quitosano y el mucílago de nopal es un tema de interés y en este trabajo se estudia la interacción entre estos dos componentes y su efecto sobre las propiedades mecánicas y de barrera de las películas obtenidas con el objetivo de elaborar y caracterizar una película biodegradable a base de quitosano y mucílago de nopal con uso potencial en la conservación de alimentos.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”  
Multidisciplinario  
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
ISBN: 978-607-95635

**II. METODOLOGÍA**

**II.1.- Formulación de películas comestibles a base de quitosano y mucílago de nopal**

Cada componente se preparó individualmente. La solución al 1% de quitosano (Aldrich) en ácido acético glacial (Fermont) al 1% fue centrifugado a 4100 rpm durante 10 min. El mucílago en polvo de *Opuntia ficus indica* y de *Opuntia tomentosa* se reconstituyó al 1% con agua destilada. Se utilizó glicerol como plastificante. Para la incorporación del mucílago con el quitosano se requirió de alcohol de polivinilo (Baker) preparado en solución acuosa al 10%. Se realizaron 4 formulaciones variando los componentes y el tipo de mucílago de acuerdo a la Tabla 1:

**Tabla 1: Formulación de películas**

Formulación	PVOH (%)	M (%)	Q (%)	G (%)	Tipo de mucílago
F1	2.5	0.25	0.5	0	<i>Opuntia ficus indica (Ofi)</i>
F2	2.5	0.25	0.5	0.5	<i>Opuntia ficus indica (Ofi)</i>
F3	2.5	0.25	0.5	0.5	<i>Opuntia tomentosa (Ot)</i>
F4	1	1	0.5	0.5	<i>Opuntia tomentosa (Ot)</i>

*Donde PVOH= alcohol polivinílico, M=mucílago de nopal, Q=quitosano y G=glicerol*

Las películas se elaboraron por vaciado en cajas Petri de vidrio, plástico y en placas de vidrio y acrílico, para determinar la superficie a la cual mostraban mejor respuesta.

**II.2.- Propiedades mecánicas**

Se siguió la metodología descrita por la ASTM D882-12 puesto que las películas tienen un espesor menor a 0.004 in. Las películas se cortaron en rectángulos de 10 x 2.5 cm y se acondicionaron a 57.7% de humedad relativa en una sal de NaBr. Las propiedades mecánicas se midieron en un analizador de textura (TA plus, Lloyd) con una distancia inicial de las pinzas mecánicas de 6 cm antes de comenzar el ensayo y con los resultados se calcularon el % de elongación, la tensión a la fractura y el módulo de Young



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

### II.3.- Permeabilidad al vapor de agua

La celda de permeabilidad consistió de un recipiente de acrílico con un diámetro interno de 51.1mm. Las películas evaluadas se recortaron del diámetro adecuado, se determinó el espesor en al menos 10 puntos tomados al azar utilizando un micrómetro y se acondicionaron en un desecador con 57.7% de humedad relativa en una sal de NaBr. Para determinar la permeabilidad al vapor de agua se registró el peso de la celda con la película asumiendo que la variación de peso se debió al paso del vapor de agua a través de la película.

La variación del peso se siguió con una balanza analítica conectada a una computadora que toma el peso automáticamente en intervalos de tiempo definidos. Se registró la cinética de variación de peso de la celda en función del tiempo.

### II.4.- Isotermas de adsorción de vapor de agua

Para obtener las isotermas de adsorción de las películas flexibles, se utilizó el método estático de microclimas (Romero-Bastida, 1994). El sistema experimental consistió en recipientes de vidrio con tapa hermética, los cuales contenían distintas soluciones salinas sobresaturadas con una actividad de agua ( $a_w$ ) específica preparadas de acuerdo a la Tabla 2. Muestras cuadradas (3x3 cm) fueron colocadas por triplicado en soportes sobre las soluciones salinas saturadas, asegurando que la adsorción de vapor de agua ocurriera en toda la superficie de la película. Los recipientes fueron colocados en un equipo que controla la temperatura a 30 °C hasta que las condiciones de equilibrio fueron alcanzadas. Para calcular los valores en la monocapa se utilizó el modelo teórico de Guggenheim-Anderson-DeBöer (GAB) que está considerada como la mejor ecuación disponible para correlacionar adecuadamente la actividad de agua con el contenido de humedad en equilibrio y está descrita por la ecuación siguiente: 
$$x = \frac{x_m c k a_w}{(1 - k a_w)(1 - k a_w + c k a_w)}$$

Donde  $a_w$  es la actividad de agua,  $x$  es el contenido de humedad en base seca,  $x_m$  es el contenido de humedad en la monocapa,  $c$  es una constante relacionada con los efectos



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”  
Multidisciplinario  
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
ISBN: 978-607-95635

térmicos y  $k$  es la constante de GAB relacionada con las propiedades de las moléculas en la multicapa con respecto al volumen líquido.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”  
Multidisciplinario  
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
ISBN: 978-607-95635

### III. RESULTADOS

#### III.1.- Propiedades mecánicas

El análisis de varianza a los datos y la comparación de medias de Tukey-Kramer demostraron una diferencia estadística en las propiedades mecánicas de las películas con distintas formulaciones.

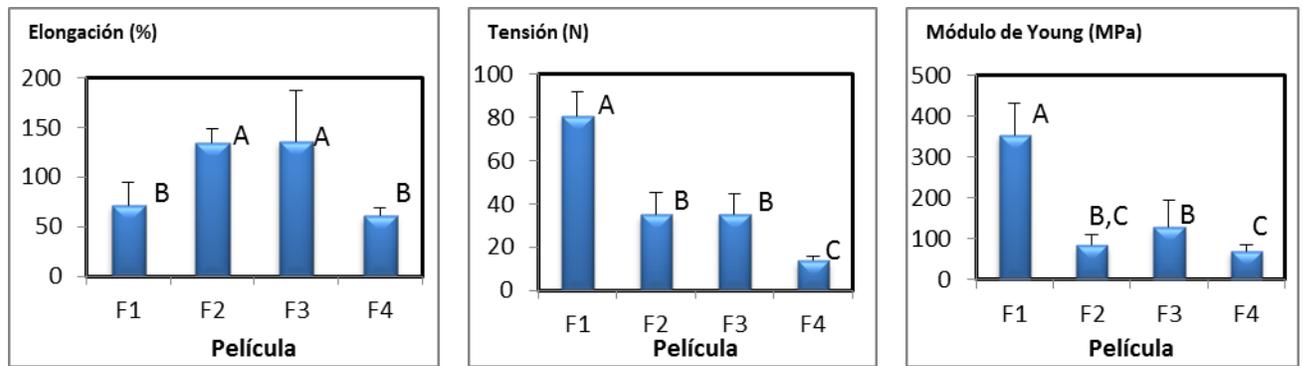


Figura 1: Propiedades mecánicas de las películas elaboradas

En la Figura 1 se aprecian de manera gráfica las propiedades mecánicas de las películas numeradas acorde a la Tabla 1. La película F1 es que la que no contiene glicerol, la película F2 y F3 tienen las mismas proporciones a excepción del tipo de mucílago, en la película F4 se variaron las proporciones de los componentes. La inclusión de glicerol en la película cambió sus propiedades mecánicas puesto que en la tensión se muestra una diferencia estadísticamente significativa. Esta película demostró mayor resistencia o tensión a la ruptura lo cual indica que las películas sin glicerol son más duras. En las películas F2, F3 y F4 se muestra el efecto que tuvo la variación de los componentes, sin embargo, en la F2 y F3 no hubo cambios estadísticamente significativos con respecto al tipo de mucílago. La elongación también resultó modificada al adicionarse el glicerol teniendo las mayores elongaciones la película F2 y F3. El aumento del mucílago en la película supuso un cambio drástico en su elongación y por lo tanto en su flexibilidad, aunque todas las películas superaron el 60% de elongación.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”  
 Multidisciplinario  
 10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
 ISBN: 978-607-95635

El módulo de Young indica la elasticidad de los materiales, mientras más grande es el módulo menor elasticidad presenta, por lo que acorde a lo anterior se aprecia claramente que el aumento en la concentración de mucílago favoreció el aumento en su elasticidad siendo esta una característica deseable en las películas. Los módulos de Young descritos en un estudio de películas de quitosano y ácido poliláctico (Suyatma, Copinet, Tighzert, & Coma) son mayores a 384 MPa mientras que la película menos elástica en este estudio (F1) tiene valores menores a 355 MPa. La elongación de estas también fue significativamente mayor puesto en el trabajo reportado nuevamente por Suyatma no superan el 6%. Las películas de pectina de tuna, gelana desacetilada, glicerol y ácido oleico realizadas por (Terrazas-Hernández et al., 2010) tienen mayor elongación que las de quitosano y glicerol (23.52%) pero son menores que las realizadas en este estudio.

**III.2.- Permeación y permeabilidad al vapor de agua**

Los resultados de permeabilidad se muestran en la Figura 2, donde también se muestra el análisis de varianza obtenido y la comparación de medias mediante Tukey-Kramer La

permeabilidad de las películas fue afectada significativamente con la inclusión del glicerol, esto indica que el glicerol hace permeable la matriz de la película, mientras que la variación de PVOH y

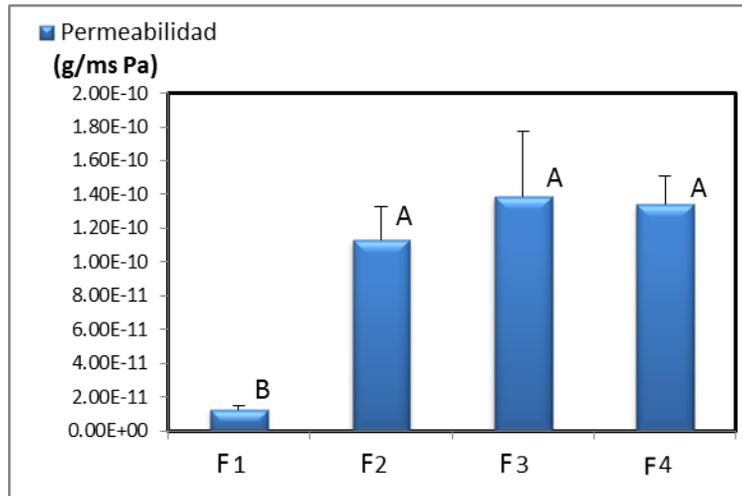


Figura 2: Permeabilidad al vapor de agua de las películas elaboradas mucílago no supuso cambios significativos en la permeabilidad de la película. Algunas películas no biodegradables que son altamente impermeables como el cloruro de polivinilideno ( $0.7-2.4 \times 10^{-13}$  g/ms Pa), polietileno de alta densidad ( $2.4 \times 10^{-13}$ ) de baja



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

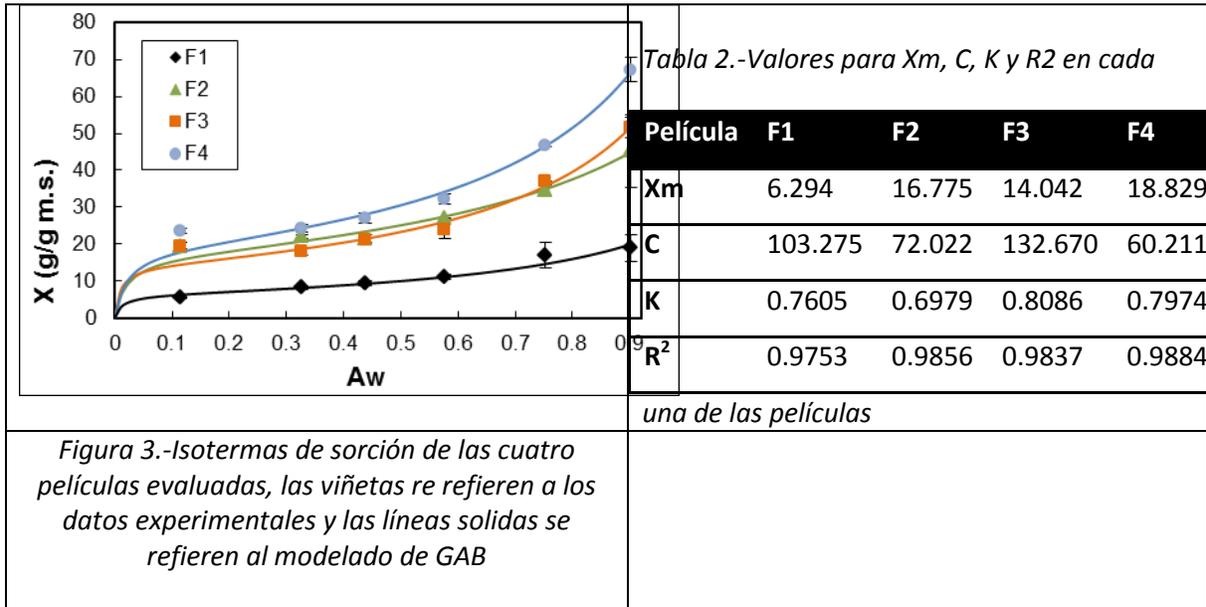
densidad ( $27.3-9.7 \times 10^{-13}$  g/ms Pa), poliéster ( $1.2-1.5 \times 10^{-12}$  g/ms Pa) (Gennadios, Mchugh, Weller, & Krochta, 1994; Krotchta, Baldwin, & Nisperos-Carriedo, 1994), celofán ( $7.7-8.4 \times 10^{-11}$ ) tienen una permeabilidad más baja a los expuestos en este estudio que se asemejan más a las películas de almidón de alta amilosa ( $2.0 \times 10^{-10}$ ). De acuerdo a la literatura, la parafina, candelilla, cera de abejas y celulosa son los compuestos más eficaces para la reducción de la permeabilidad al vapor de agua con permeabilidades aproximadas de  $1-148 \times 10^{-11}$  g  $^{-1}$  s  $^{-1}$  Pa  $^{-1}$  (Lacroix, 2009).

### III.3.- Isotermas de adsorción de vapor de agua

En la Figura 3 se muestra el modelado de los datos experimentales para cada película. El factor de correlación  $R^2$  es muy cercano a la unidad, indicando una alta correlación entre los datos experimentales y los datos obtenidos con el modelo de GAB. Acorde a la Figura 2 se puede observar que la presencia del mucílago en mayor cantidad en la formulación F4 permite obtener películas más hidrofílicas ya que la humedad absorbida es mayor en esta película lo que indica una una relación directa con el agua absorbida y la interacción del plastificante en la matriz polimérica. Se encontró una diferencia de más de tres veces entre la película con mayor contenido de mucílago (F4) y la que no contenía glicerol (F1). El modelo de GAB permite determinar el valor del contenido de humedad en la monocapa  $X_m$ ,  $c$  que es una constante relacionada con los efectos térmicos y  $k$  que es la constante de GAB relacionada con las propiedades de las moléculas en la multicapa con respecto al volumen líquido (Tabla 10). Los valores de  $R^2$  muestran que el modelo se ajusta de una manera similar a los datos experimentales obtenidos en las 4 formulaciones estudiadas.



**“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”**  
 Multidisciplinario  
 10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
 ISBN: 978-607-95635





## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

### IV. CONCLUSIONES

- Se requiere de la inclusión de PVOH para formar una matriz adecuada de mucílago de nopal y quitosano
- La incorporación del glicerol a la película modifica drásticamente las propiedades mecánicas, la permeabilidad al vapor de agua y la capacidad de adsorción de agua en la película
- Los estudios realizados permitieron determinar una proporción adecuada para coaccionar con la matriz polimérica
- Las películas obtenidas tiene propiedades mecánicas y de permeabilidad adecuadas para su aplicación en un alimento

### V. BIBLIOGRAFÍA

- A.Terrazas-Hernández, J., Rodríguez-Hernández, A. I., Vargas-Torres, A., Ávila, J. H., Romero-Bastida, C. A., Bello-Pérez, L. A., . . . . (2010). *PROPIEDADES MECÁNICAS Y DE PERMEABILIDAD DE PELÍCULAS COMESTIBLES ELABORADAS CON POLISACÁRIDOS DE CÁSCARA DE TUNA (Opuntia albicarpa) Y GELANA.*, Guanajuato, Gto. Mexico.
- Bourtoom, T. (2008). Edible films and coatings: characteristics and properties *International Food Research Journal* (Vol. 15).
- Gennadios, A., Mchugh, T. H., Weller, C. L., & Krochta, J. M. (1994). Edible coatings and films based on proteins. In J. M. KROCHTA, E. A. BALDWIN & M. NISPEROS-CARRIEDO (Eds.), *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality* (pp. 201–277). Lancaster.
- Howard, E. G., Lloyd, R. B., McKinney, R. J., Sauer, B. B., & Weinberg, M. G. (2007). USA Patent No. US 11/593,958.
- Krotchta, J. M., Baldwin, E. A., & Nisperos-Carriedo, M. O. (1994). *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*. Technomic Publishing Company Incorporated.
- Lacroix, M. (2009). Mechanical and Permeability Properties of Edible Films and Coatings for Food and Pharmaceutical Applications. In M. E. Embuscado & K. C. Huber (Eds.), *Edible Films and Coatings for Food Applications* (pp. 347-366).



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Romero-Bastida, C. A. (1994). *Desarrollo y evaluación de una película biodegradable a base de zeína y etilcelulosa. Efecto de la hidratación sobre la eficiencia de la misma.* (Maestría), UAQ, Querétaro, Qro. México.

Suyatma, N. E., Copinet, A., Tighzert, L., & Coma, V. Mechanical and Barrier Properties of Biodegradable Films Made from Chitosan and Poly (Lactic Acid) Blends. *Journal of Polymers and the Environment*, 12(1), 1-6.