

Películas de quitosano propiedades y aplicaciones

K. G. Espinosa-Cavazos¹, A. Sáenz-Galindo¹ y A. O. Castañeda-Facio^{1*}

¹Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Venustiano Carranza e Ing. José Cárdenas. Saltillo, Coahuila. CP.25280, México

Chitosan films properties and applications

Pel·lícules de quitosà, propietats i aplicacions

RECEIVED: 4 OCTOBER 2019; REVISED: 17 JANUARY 2020; ACCEPTED: 6 FEBRUARY 2020

SUMMARY

Chitosan is a natural polymer derived from the deacetylation of chitin, which is obtained from shellfish crustaceans as shrimp, lobster and crab. It is a biodegradable, non-toxic material that is currently booming due to the biological and chemical properties. These properties make possible the application of this material in different industries such as cosmetics, textiles, agriculture, food, packaging, pharmaceutical, medical, among others.

However, the disadvantage of chitosan is that it has deficiencies in some of the physicochemical properties that make chemical modifications, but when mixed with other materials that promote the formation of a three-dimensional network getting better properties and more natural stable polymer.

For this reason, this article shows a review of the importance of chitosan in the manufacture of films, which, when mixed with other compounds such as essential oils, plasticizers and metal nanoparticles, can potentiate its properties, considerably improving biocompatibility, properties antimicrobial, as well as some physical properties. In this way, chitosan stands out as an effective and sustainable biopolymer for various applications.

Keywords: Chitosan, films, applications.

RESUMEN

El quitosano es un polímero natural derivado de la desacetilación de la quitina, la cual es obtenida de los caparazones de crustáceos como el camarón, langosta y cangrejo. Es un material biodegradable, no tóxico que actualmente se encuentra en auge debido a las propiedades biológicas y químicas que presenta. Estas

propiedades hacen posible la aplicación de este material en diferentes campos de la industria como en la cosmética, textil, agricultura, alimentos, empaques, farmacéutica, médica, entre otras.

Sin embargo, una desventaja del quitosano es que presenta deficiencias en algunas de sus propiedades fisicoquímicas haciendo necesaria la modificación química o el mezclado con algún otro material para promover la formación de una red tridimensional y de esta manera mejorar dichas propiedades y obtener un polímero natural más estable.

Por tal razón en este artículo se muestra una revisión bibliográfica sobre la importancia del quitosano dentro de la fabricación de películas, las cuales, al mezclarse con otros compuestos como aceites esenciales, plastificantes y nanopartículas metálicas puede potencializar sus propiedades mejorando considerablemente su biocompatibilidad, sus propiedades antimicrobianas, así como algunas propiedades físicas. De esta manera el quitosano se destaca como un biopolímero eficaz y sustentable para diversas aplicaciones.

Palabra clave: Quitosano, películas, aplicaciones.

RESUM

El quitosà és un polímer natural derivat de la desacetilació de la quitina, la qual és obtinguda de les closques de crustacis com la gambeta, llagosta i cranc. És un material biodegradable, no tòxic que actualment es troba en auge a causa de les propietats biològiques i químiques que presenta. Aquestes propietats fan pos-

*Corresponding autor: adali.castaneda@uadec.edu.mx

sible l'aplicació d'aquest material en diferents camps de la indústria com en la cosmètica, tèxtil, agricultura, aliments, empaquetatges, farmacèutica, mèdica, entre d'altres. No obstant això, un inconvenient del quitosà és que presenta deficiències en algunes de les seves propietats fisicoquímiques fent necessària la modificació química o el barrejat amb algun altre material per promoure la formació d'una xarxa tridimensional i d'aquesta manera millorar aquestes propietats i obtenir un polímer natural més estable.

Per això en aquest article es mostra una revisió bibliogràfica respecte a la importància del quitosà dins de la fabricació de pel·lícules, perquè al barrejar-se amb altres compostos com olis essencials, plastificants i nanopartícules metàl·liques pot potencialitzar les seves propietats millorant considerablement la seva biocompatibilitat, les seves propietats antimicrobianes, així com algunes propietats físiques. D'aquesta manera el quitosà es destaca com un biopolímer eficaç i sostenible per a diverses aplicacions.

Paraula clau: quitosà, pel·lícules, aplicacions.

INTRODUCCIÓ

La quitina es el segon biopolímer més abundant en la naturalesa després de la cel·lulosa¹, composta per unitats de poli [β -(1-4)-2 acetamida-2-desoxi-D-glucopiranos] com se mostra en la figura 1, una de les característiques importants de la quitina es que posee una estructura lineal con alto peso molecular e insoluble en agua, esta última característica limita sus aplicaciones².

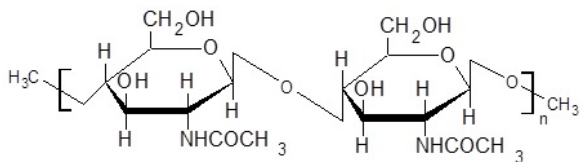


Figura 1. Estructura química de la quitina.

Hoy en día, la quitina se extrae por métodos químicos de los caparazones de crustáceos como el camarón, langosta y cangrejo. Por otro lado, el quitosano es un biopolímero catiónico lineal derivado de la desacetilación de la quitina en un medio alcalino altamente concentrado a temperaturas mayores a los 60°C. En esta reacción ocurre la pérdida del grupo acetyl de la amida, dejando en su lugar un grupo amino, obteniéndose como producto el quitosano con propiedades considerablemente diferentes a la quitina. En forma natural el quitosano se puede encontrar en la pared celular de hongos y algas verdes, aunque en menores proporciones. El quitosano está compuesto por unidades de poli[β -(1-4)-2-amino-2-desoxi-D-glucopiranos] como se muestra en la figura 2.

Actualmente el quitosano es considerado un material muy prometedor para varias aplicaciones debido a diversas causas: su ventaja económica al provenir de

una fuente natural renovable por ser un subproducto de la industria pesquera, no es tóxico, es biocompatible, biodegradable, bioactivo, y además presenta actividad antimicrobiana³.

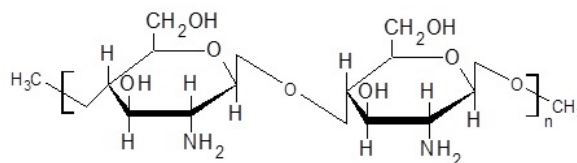


Figura 2. Estructura química del quitosano.

1.1 Obtención del quitosano

Comercialmente los caparazones de crustáceos son los más utilizados a nivel industrial para la obtención de la quitina, que a su vez son recolectados de los desechos y residuos de la industria pesquera^{4,5}. El proceso para la obtención del quitosano se muestra en la figura 3, donde se observa que primeramente se lleva a cabo el lavado y pulverizado de los caparazones de crustáceos para luego someterlos a una desmineralización en medio ácido, donde generalmente se emplea ácido clorhídrico (HCl), después se realiza una hidrólisis alcalina para extraer la quitina, una vez obtenida la quitina se realiza la desacetilación en medio básico, para finalmente ser lavada y deshidratada para la obtención de quitosano.

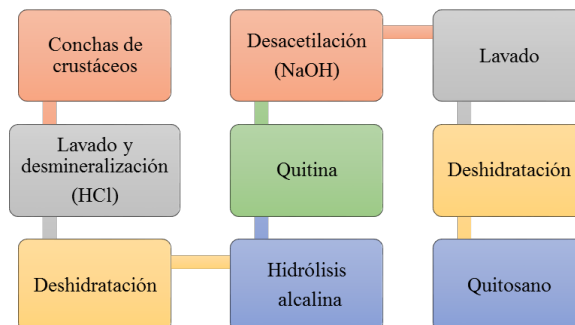


Figura 3. Obtención de quitosano a partir de crustáceos.

1.2 Estructura química

El quitosano es un biopolímero que está constituido por unidades repetitivas de β -(1-4)-2-acetamida-d-glucosa y β -(1-4)-2-amino-d-glucosa⁶. Es un glucosaminoglucano que se compone de dos azúcares comunes: glucosamina y N-acetilglucosamina dependiendo del tratamiento alcalino al que se sometió⁵. Dentro de su estructura química, además de poseer carbono, hidrógeno y oxígeno como la mayoría de los polisacáridos posee grupos aminos, atribuyéndole características importantes para la formación de puentes de hidrógeno⁷ que los hacen atractivos para su uso comercial, debido a que presenta buenas propiedades antimicrobianas ya que inhibe el crecimiento de una variedad de bacterias, hongos y levaduras.

Este material posee tres grupos funcionales: grupos hidroxilos primarios, secundarios y grupos amino,

mediante estos grupos se pueden realizar cambios en la estructura química que pueden modificar significativamente las propiedades físico-mecánicas y ampliar el rango de aplicaciones de este material. Algunas propiedades como la reactividad, la solubilidad, biodegradabilidad dependen de la protonación de los grupos amino. El quitosano tiene una amplia variedad de aplicaciones en diferentes industrias como la alimenticia, textil, agricultura, medicina, tratamiento de aguas residuales, cosméticos, biosensores y en el área farmacéutica como en la liberación controlada de fármacos. Las aplicaciones más recientes del quitosano son en la administración de fármacos periodontales, gastrointestinales y bucales⁸. Este biopolímero es ampliamente utilizado a diferencia de otros polímeros naturales gracias a sus grupos funcionales que facilitan su manipulación y manejo^{5,9}.

1.3 Propiedades del quitosano

Este polímero natural es el único polisacárido alcalino presente en la naturaleza ya que otros son de naturaleza neutra o ácida. Este material es inodoro, no es tóxico y tiene dentro de sus características más sobresalientes su alta biodegradabilidad ya que se descompone en productos inofensivos como azúcares que son absorbidos por el cuerpo, es importante mencionar que las características atribuidas a este material incluyendo sus propiedades químicas y físicas dependen de diferentes factores como el pH, peso molecular, grado de desacetilación, grado de cristalinidad, grado de ionización y solubilidad¹⁰.

Una desventaja que presenta este material su incapacidad de disolverse en agua, en soluciones básicas o solventes orgánicos, la baja solubilidad a pH mayor de 7 se debe a que el grupo amino no se encuentra protonado en estos medios, por otro lado, efecto contrario sucede cuando se adiciona a algunos ácidos como ácido clorhídrico, ácido fórmico, ácido láctico y principalmente en ácido acético. Como ya se mencionó la biodegradabilidad y actividad antimicrobiana hacen a este material ideal para la elaboración de películas utilizadas en la industria alimenticia y biomédica⁵.

1.4 Aplicaciones generales

El quitosano es utilizado en diversas áreas industriales como la cosmetología debido a que es un agente hidratante para la piel y puede llegar a evitar la resequeidad, también se encuentra como aditivo en jabones, cremas, pastas dentales etc. Se usa dentro de la fabricación de sensores como sensor para la detección de glucosa en la sangre humana, así como en el tratamiento de aguas residuales, ya que actúa como floculante en la remoción de partículas coloidales y aceites capturando los metales pesados y otros componentes químicos como los pesticidas¹¹.

Dentro de la agricultura es manejado como controlador de plagas, así mismo regula el crecimiento de plantas mejorando la disposición de nutrientes y propiedades de los mismos, también se utiliza como recubrimiento de semillas para su conservación y almacenamiento^{12,13}.

Destaca en la industria farmacéutica y en la biomedicina ofreciendo numerosas ventajas debido a su bio-

compatibilidad y biodegradabilidad controlada, además de poseer una naturaleza no tóxica puede usarse como anticoagulante sanguíneo, biomaterial de regeneración ósea, agente microbiano, apósitos para heridas, etc¹⁴.

El quitosano comúnmente es usado como revestimiento en el empaquetado de alimentos por lo que sus propiedades antimicrobianas que son de suma importancia dentro de este mercado¹⁵.

1.5 Películas de quitosano

Una película polimérica está constituida por una capa delgada de polímero la cual tiene la función de recubrir materiales, dependiendo el tipo de polímero puede variar su capacidad para evitar la pérdida de humedad, así como el crecimiento microbiano y evitar la oxidación. El quitosano es ampliamente usado en la fabricación de películas, ya que su estructura lineal permite tener buena flexibilidad y transparencia con buena resistencia a las grasas y aceites, sin embargo, debido a que las películas son elaboradas principalmente con ácido acético, tienen como características que son permeables ante gases de CO₂ y O₂, poseen resistencia a la tracción y porcentaje de elongación más bajo¹⁶. Por ello, se ha buscado modificar o reforzar este polímero con otros materiales para brindarle un mayor soporte y mayor durabilidad haciéndolo un material de gran uso y gran eficiencia.

1.5.1 Películas reforzadas con aceites esenciales

Debido a la problemática ambiental se ha visto la necesidad de utilizar aditivos amigables con el medio ambiente, existen algunos estudios que demuestran la incorporación de extractos naturales en películas de quitosano con la finalidad de mejorar sus propiedades. Hafsa y cols., en 2016 elaboraron una película de quitosano reforzada con aceite esencial de *Eucalyptus globulus* logrando disminuir la humedad de la película, también mejoró significativamente su propiedad antioxidante con el incremento de la concentración del aceite y finalmente demostraron una mejora en su actividad antibacteriana frente a *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Candida albicans* y *Candida parapsilosis*, concluyendo que debido a su mejora en estas propiedades y siendo un material sustentable podría actuar como película comestible¹⁷.

Kalaycioglu y cols., en 2017, observaron las propiedades físicas y antimicrobianas de películas de quitosano con extracto de *cúrcuma* para aplicaciones en el envasado de alimentos, en donde observaron que la incorporación de la *cúrcuma* al quitosano aumento significativamente las propiedades mecánicas presentando mayor resistencia a la tracción, además se demostró mayor actividad antimicrobiana ante *Salmonella* y *Staphylococcus aureus*¹⁸. Así mismo en 2019, Li y cols., desarrollaron películas de quitosano con aceite esencial de *cúrcuma*, las cuales obtuvieron actividad antifúngica en presencia de *Aspergillus flavus* determinando que este tipo de aceite incorporado en quitosano forma una película con propiedades de barrera y anti-aflatoxigénicas que podría ser utilizada como material para envasado de alimentos o cultivos¹⁹.

1.5.2 Películas reforzadas con plastificantes

Las películas de quitosano reforzadas con plastificantes han traído gran interés en el mercado puesto que estos materiales generalmente mejoran la flexibilidad y las propiedades mecánicas de las películas, diversos polioles como el glicerol, xilitol, sorbitol y maltitol, así como monosacáridos, lípidos y sus derivados se usan como plastificante de este biopolímero^{20, 21}. En 2018 Cobos y cols., evaluaron la incorporación de glicerol y grafeno en películas de quitosano. La adición de estos compuestos mejoró notablemente las propiedades mecánicas de las películas, así como la conductividad eléctrica, esto demuestra que la incorporación de plastificantes como el glicerol puede mejorar considerablemente el rendimiento de compuestos elaborados a base de quitosano²². Otro trabajo interesante acerca de la adición de plastificantes es el estudio realizado por Mohammed y cols., en 2019, debido a que ellos diseñaron prototipos de películas plastificadas para recubrimientos y envoltorios para la conservación de alimentos. Las películas a base de quitosano se mezclaron con espermidina y glicerol, el estudio mostró que las adiciones de estos plastificantes mejoran notablemente la plasticidad del biomaterial, su permeabilidad, así como la capacidad de sellarse térmicamente en comparación con Viscofan NDX, que es una envoltura comercial muy conocida y utilizada ampliamente en la industria alimenticia²³.

Además de los plastificantes, existen estudios recientes que hablan sobre la incorporación de nanopartículas metálicas en compuestos a base de quitosano, estas nanopartículas han sido de gran estudio en los últimos años gracias a que mejoran considerablemente las propiedades del material al cual se incorporen.

1.5.3 Películas reforzadas con nanopartículas metálicas

Recientemente las nanopartículas metálicas (NPs) se han estudiado ampliamente como refuerzo en matrices poliméricas para obtener materiales compuestos²⁴, debido a que los polímeros polares pueden presentar grupos funcionales en su estructura, los cuales son capaces de formar enlaces con las NPs y de esta manera el polímero funciona como soporte de las NPs, ayudando a optimizar sus propiedades²⁵.

En ese sentido existen tres métodos de obtención de nanopartículas, los métodos físicos como las tecnologías en aerosol, ablación láser, campos ultrasónicos, etc. Los métodos químicos, que se basan en el uso de disolventes orgánicos, agentes reductores y pasivantes para producir las NPs. Y por último se encuentran los métodos biológicos, donde se emplean microorganismos o extractos de plantas para la obtención de las nanopartículas, siendo considerado como un método alternativo y sustentable para la síntesis de estos materiales²⁶.

Poseen propiedades físicas, químicas, mecánicas, biológicas entre otras les han dado diversas aplicaciones potenciales en diferentes áreas como la electrónica, fotónica, remediación ambiental, etiquetado biológico, cosmética, mecánica, óptica, en la industria química y en la biomedicina²⁷.

Desde este punto de vista Lin y cols., en el 2015, desarrollaron películas a base de celulosa y quitosano

con nanopartículas de plata (NPsAg) para su uso en la elaboración de membranas degradables resistentes a la bioincrustación. Sintetizaron las NPsAg mediante un método de poliol mezcladas con ácido poliácrico bajo una atmósfera de nitrógeno, estas se mezclaron quitosano/celulosa para obtener películas con actividad antimicrobiana mejorada la cual se determinó mediante pruebas de difusión con *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*. Mostrando una actividad antimicrobiana superior las películas que contenían nanopartículas de plata comparada con las películas a base de quitosano/celulosa²⁸.

Por su parte en 2016 Praxedes y cols., estudiaron el comportamiento de humectación de películas de quitosano con NPsAg las cuales se incorporaron en un rango de concentración de 0-1.0% en volumen, con la finalidad de estudiar los efectos de la adición de las NPsAg en la humectabilidad y las propiedades estructurales de las películas a base de quitosano, comprobando que la adición de estas NPs tiene como ventaja el controlar la adhesión de ácidos grasos en las películas de quitosano debido al requerido en aplicaciones como la administración de fármacos y producción de películas para la detección de colesterol²⁹.

Posteriormente Gabriel y cols., en 2017, realizaron la síntesis de películas de NPsAg/quitosano/montmorillonita por medio de un método fotoquímico, a las cuales se les evaluó su actividad antibacteriana contra bacterias *E.coli* y *B. subtilis* observándose zonas de inhibición considerable frente a estas bacterias³⁰.

En 2020 Xing y cols., publicaron estudios de películas de quitosano reforzadas con NPs de dióxido de titanio (TiO₂) para estudiar el efecto de las características fisicoquímicas y de calidad en frutas de mango. Observaron que el aumento al contenido de concentración de TiO₂ potencializa las propiedades de la película manteniendo la calidad del mango, concluyendo que podría ser una tecnología sustentable y eficiente para la conservación de calidad de las frutas como el mango durante su tiempo de almacenamiento e incrementar el tiempo de vida de anaquel³¹.

CONCLUSIONES

El incremento del estudio y empleo del quitosano se debe principalmente a sus excelentes propiedades antimicrobianas, ya que inhibe el crecimiento y desarrollo de algunos microbios, este comportamiento se debe principalmente a su carácter catiónico. Otras propiedades importantes como la bioactividad, biocompatibilidad, biodegradabilidad, no toxicidad, pero sobre todo que proviene de una fuente renovable, hacen que este material sea muy prometedor y se pueda considerar amigable con el medio ambiente en comparación a los polímeros derivados del petróleo. Todas estas características resultan en numerosas potenciales aplicaciones que generaran nuevos desarrollos en áreas como la industria farmacéutica, cosmetología, biomedicina y especialmente en la industria alimenticia para la conservación de alimentos.

AGRADECIMIENTOS

A CONACYT por la beca otorgada No. 638674 al programa de doctorado en Ciencia y Tecnología de Materiales, así como al cuerpo académico de Ciencia y Tecnología en Polímeros de la Universidad Autónoma de Coahuila.

REFERENCIAS

1. Ren, L.; Yan, X.; Zhou, J.; Tong, J.; Su, X. Influence of chitosan concentration on mechanical and barrier properties of corn starch/Chitosan films. *Int. J. Biol. Macromol.* **2017**, *104*, 1636-1643.
2. Mármol, Z.; Páez, G.; Rincón, M.; Araujo, K.; Aiello, C.; Chandler, C.; Gutiérrez, E. Quitina y quitosano polímeros amigables. Una revisión de sus aplicaciones. *Revista Tecnocientífica URU.* **2011**, *1*, 53-58.
3. Ramirez, M.; Rodriguez, A.; Alfonso, L.; Peniche, C. Chitin and its derivatives as biopolymers with potential agricultural applications. *Biotecnología aplicada.* **2010**, *27*(4), 270-276.
4. Safdar, R.; Omar, A.; Arunagiri, A.; Regupathi, I.; Thanabalan M. *J. Drug. Deliv. Sci. Tec.* **2019**, *49*, 642-659.
5. Bakshi, P.; Selvakumar, D.; Kadirvelu, K., Kumar, N. Chitosan as an environment friendly biomaterial- a review on recent modifications and applications. *Int. J. Biol. Macromol.* **2019**. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.113>
6. Kumar, S.; Krishnakumar, B.; Sobral, A.; Koh, J. Bio-based (Chitosan/PVA/ZnO) nanocomposites film: thermally stable and photoluminescence material for removal of organic dye. *Carbohydr polym.* **2019**, *1*, 559-564.
7. Leceta, I.; Guerrero, P.; Ibarburo, I.; Dueñas, M.; De la Caba, K. *J. Food. Eng.* **2013**, *116*, 889-899.
8. Shakeel, A.; Saiqa, I. Chitosan and its derivatives: a review in recent innovations. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research.* **2015**, *6*(1), 14-30.
9. Kumar, S.; Krishnakumar, B.; Sobral, A.; Koh, J. Bio-based (Chitosan/PVA/ZnO) nanocomposites film: thermally stable and photoluminescence material for removal of organic dye. *Carbohydr polym.* **2019**, *1*, 559-564.
10. Yuan, G.; Chen, X.; Li, D. Chitosan films and coatings containing essential oils: The antioxidant and antimicrobial activity, and application in food systems. **2016**, *89*, 117-128.
11. Lárez, C. Quitina y quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro. *Avances de química.* **2006**, *1*, 15-21.
12. Ramirez, M.; Rodriguez, A.; Alfonso, L.; Peniche, C. Chitin and its derivatives as biopolymers with potential agricultural applications. *Biotecnología aplicada.* **2010**, *27*(4), 270-276.
13. Mármol, Z.; Páez, G.; Rincón, M.; Araujo, K.; Aiello, C.; Chandler, C.; Gutiérrez, E. Quitina y quitosano polímeros. Una revisión de sus aplicaciones. *Revista Tecnocientífica.* ISSN: 2244-775X. **2011**, *1*, 53-38.
14. Muxika, A.; Etxabide, A.; Uranga, J.; Guerrero, P.; De la Caba, K. Chitosan as a bioactive polymer: Processing, properties and applications. *Int. J. Biol. Macromol.* **2017**, *105*, 1358-1368.
15. Valenzuela, C.; Arias, J. Potenciales aplicaciones de películas de quitosano en alimentos de origen animal: una revisión. *Avances en Ciencias Veterinarias.* **2012**, *1*, 33-47.
16. Kerch, G. Chitosan films and coatings prevent losses of fresh fruit nutritional quality: A review. *Trends food Sci. Tech.* **2015**, *46*, 159-166.
17. Hafsa, J.; Samach, M.; Khedher, M.; Charfeddine, B.; Limem, K.; Majdoub, H.; Rouatbi, S. Physical, antioxidant and antimicrobial properties of chitosan films containing *Eucalyptus globulus* essential oil. *LWT-Food. Sci. Technol.* **2016**, *68*, 356-364.
18. Kalaycioglu, Z.; Torlak, E.; Akin-Evingür, G.; Özen, I.; Erim, F. Antimicrobial and physical properties of chitosan films incorporated with turmeric extract. *Int. J. Biol. Macromol.* **2017**, *101*, 882-888.
19. Li, A.; Lin, S.; Liu, L.; Hu, Y.; Wan, L. Preparation, characterization and anti-aflatoxigenic activity of chitosan packaging films incorporated with turmeric essential oil. *Int. J. Biol. Macromol.* **2019**, *131*, 420-434.
20. López, P. *Obtención de Quitosano a partir de desechos del exoesqueleto de camarón tití (Xiphopenaeus riveti) para el desarrollo de películas poliméricas plastificadas con glicerina.* Tesis de ingeniería en materiales. Santiago de cali. Universidad de Sanbuena. Facultad de ingeniería, **2014**.
21. Ma, X.; Qiao, C.; Wang, X.; Yao, J.; Xu, J. Structural characterization and properties of polyols plasticized chitosan films. *Int. J. Biol. Macromol.* **2019**, *135*, 240-245.
22. Cobos, M.; González, B.; Fernández, J.; Fernández, D. Study on the effect of Graphene and glicerol plasticizer on the properties of chitosan Graphene nanocomposites via in situ Green chemical reduction of Graphene oxide. *Int. J. Biol. Macromol.* **2018**, *114*, 599-613.
23. Mohammed, S.; Di Pierro, P.; Cammarota, M.; Dell'Olmo, E.; Arciello, A.; Porta, R. Development and properties of new chitosan-based films plasticized with spermidine and/or glycerol. *Food Hydrocolloids.* **2019**, *87*, 245-252.
24. Lian, Z.; Zhang, Y.; Zhao, Y. Nano-TiO₂ particles and high hydrostatic pressure treatment for improving functionality of polyvinyl alcohol and chitosan composite films and nano-TiO₂ migration from film matrix in food simulants. *Innovative Food Science & Emerging Technologies.* **2016**, *33*, 145-153.
25. Sagitha, P.; Sarada, K.; Muraleedharan, K. One-pot Synthesis of Poly vinyl alcohol (PVA) Supported Silver Nanoparticles and its Efficiency in Catalytic Reduction of Methylene blue. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China.* **2016**, *26*, 2693-2700.
26. López, I.; Vilchis, N.; Sánchez, M.; Avalos M. Obtención y caracterización de nanopartículas de plata soportadas en fibras de algodón. *Superficies y Vacío.* **2013**, *23*: 73-78.

27. Vijayaraghavan, K.; Ashokkumar, T. Plan-mediated biosynthesis of metallic nanoparticles: A review of literature, factors affecting a synthesis, characterization techniques and applications. *Journal of environmental chemical engineering*, **2017**, 5, 4866-4883.
28. Lin, S.; Chen, L.; Huang, L.; Cao, S.; Luo, X.; Liu, K. Novel antimicrobial chitosan-cellulose composite films bioconjugate with silver nanoparticles *Ind. Crop. Prod.* **2015**, 70, 395-403.
29. Praxedes, A.; Webler, G.; Souza, S.; Ribeiro, A.; Fonseca, E.; Oliveira, I. Non-monotonic wetting behavior of chitosan films induced by silver nanoparticles. *Appl. Surf. Sci.* **2016**, 370, 25-31.
30. Gabriel, J.; Gonzaga, V.; Poli, A.; Schmitt, C. Photochemical synthesis of silver nanoparticles on chitosans/montmorillonite nanocomposite films and antibacterial activity. *Carbohydr polym.* **2017**, 171, 202-210.
31. Xing, Y.; Yang, H.; Guo, X.; Bi, X.; Liu, X.; Xu, Q.; Wanf, Q.; Li, W.; Li, X.; Shui, Y.; Chen, C.; Zheng, Y. Effect of chitosan/Nano-TiO₂ composite coatings on the postharvest quality and physicochemical characteristics of mango fruits. *Scientia Horticulturae* .**2020**, 263, 109-135.