

Compuestos Antimicrobianos Adicionados en Recubrimientos Comestibles para Uso en Productos Hortofrutícolas

Antimicrobial Compounds Added in Edible Coatings for Use in Horticultural Products

Margarita de Lorena Ramos-García, Silvia Bautista-Baños, Laura Leticia Barrera-Necha, Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional. Carr. Yautepec-Jojutla, Km. 6, calle Ceprobi 8, Col. San Isidro, Yautepec, Morelos CP 62731, **Elsa Bosquez-Molina**, Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco 186. Col. Vicentina. Iztapalapa CP 09340, México D.F., **Irán Alia-Tejacal**, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad 1001, Cuernavaca, Morelos, CP 62210, **Marisa Estrada-Carrillo**, Universidad Politécnica del Estado de Morelos. Carr. Federal Cuernavaca-Cuautla. Km. 14. Lomas del Texcal, Jiutepec, Morelos CP 62574. Correspondencia: sbautis@ipn.mx

(Recibido: Noviembre 20, 2009 Aceptado: Mayo 04, 2010)

Ramos-García, M.L., Bautista-Baños, S., Barrera-Necha, L.L., Bosquez-Molina, E., Alia-Tejacal, I. y Estrada-Carrillo, M. 2010. Compuestos antimicrobianos adicionados en recubrimientos comestibles para uso en productos hortofrutícolas. *Revista Mexicana de Fitopatología* 28: 44-57.

Ramos-García, M.L., Bautista-Baños, S., Barrera-Necha, L.L., Bosquez-Molina, E., Alia-Tejacal, I. y Estrada-Carrillo, M. 2010. Antimicrobial compounds added in edible coatings for use in horticultural products. *Revista Mexicana de Fitopatología* 28: 44-57.

Resumen. Los recubrimientos son matrices continuas formuladas a base de lípidos, proteínas o carbohidratos o mezclas de estos componentes, que les confieren diferentes propiedades fisicoquímicas. Un carbohidrato utilizado para la formulación de los recubrimientos comestibles es el quitosano, el cual reduce el crecimiento de hongos y bacterias. Los recubrimientos pueden servir como vehículos para un amplio rango de aditivos, incluyendo compuestos antimicrobianos, con la finalidad de proporcionarles mayores atributos como es el control de microorganismos. Entre los aditivos naturales están los aceites esenciales. Se tiene amplia evidencia que los aceites esenciales extraídos de diferentes plantas presentan inhibición contra hongos y bacterias. Al formular recubrimientos comestibles con quitosano y adicionar a las formulaciones productos como los aceites esenciales, se evita el desarrollo de microorganismos, se prolonga la vida de anaquel de los productos agrícolas, y se mantienen las propiedades sensoriales de éstos. En este artículo se llevó a cabo una revisión de literatura sobre el tema de recubrimientos comestibles y sus principales componentes sobre la fisiología del producto. Asimismo, se revisó literatura con respecto al efecto de la elaboración de recubrimientos con quitosano y la incorporación de aceites esenciales sobre su actividad en diferentes microorganismos patógenos.

Abstract. Coatings and films are continuous matrixes typically formulated of lipids, proteins and carbohydrates or their combination. A carbohydrate used to formulate edible coatings is the chitosan that reduces the growth of fungi and bacteria. Coatings may work as vehicles of a broad range of food additives including antimicrobial compounds in order to provide higher attributes such as the control of microorganism. Essential oils are among the natural additives. There is broad evidence that essential oils extracted from different plant species present inhibition against fungi and bacteria. The incorporation of chitosan and essential oils into the edible formulations avoids the development of microorganism and extends the storage life of the horticultural commodity. In this article, a literature review about the main components of the coatings and its effect on the physiology of the commodity was carried. A revision of literature about the effect of chitosan and the addition of essential oils on the activity of pathogenic microorganisms was also carried out.

Additional keywords: Essential oils, chitosan, pathogens

Various technologies have been implemented to prolong horticultural products shelf life, including low temperature

Palabras clave adicionales: aceites esenciales, patógenos, quitosano.

Para prolongar la vida postcosecha de los productos hortofrutícolas se han implementado diferentes tecnologías, entre ellas el almacenamiento a bajas temperaturas, la utilización de empaques plásticos para crear atmósferas modificadas, la aplicación de tratamientos hidrotérmicos, irradiación y formulaciones que contienen agentes biológicos, entre otras (Quezada *et al.*, 2003). Todas ellas a su vez ejercen cierto control en la incidencia de microorganismos patógenos. Se ha reportado que durante el manejo postcosecha de los productos vegetales se pueden estimar pérdidas hasta del 40% del total cosechado, estas varían entre productos, áreas de producción y época del año (Aular, 2006). De las principales razones que generan estas pérdidas está la incidencia de enfermedades causadas principalmente por hongos de diversos géneros. Por otro lado, los productos contaminados por bacterias tales como *Escherichia coli*, *Salmonella sp.* y *Listeria monocytogenes*, pueden causar enfermedades graves a los humanos ocasionando hasta la muerte si no son tratados a tiempo. Generalmente, en el caso de los hongos, éstos no aparecen durante el crecimiento de las plantas, en algunos casos permanecen en estado latente hasta la maduración del producto hortícola y otros se adquieren durante la cosecha, el transporte y/o el manejo del producto (Ogden *et al.*, 2005; Beverly *et al.*, 2008). En relación a las bacterias, éstas pueden contaminar el producto durante la etapa precosecha principalmente por aguas contaminadas o durante la manipulación de los productos hortícolas. Una alternativa con potencial viable para la conservación de frutas y vegetales frescos es la utilización de recubrimientos comestibles multicomponentes, los cuales pueden elaborarse con ingredientes básicos adecuados al producto para brindarle la protección de barrera deseada y además, sirven como vehículos para incorporar aditivos específicos que refuerzan su funcionalidad tales como antioxidantes, colorantes y antimicrobianos, que en el caso de estos últimos se evitaría el crecimiento de microorganismos patógenos en la superficie de los productos vegetales (Nussinovitch y Lurie, 1995; Cagri *et al.*, 2004; Martín-Belloso *et al.*, 2005).

Propiedades específicas de los recubrimientos a base de lípidos, proteínas y polisacáridos aplicados en frutas y hortalizas. La película o cubierta comestible consiste en una capa delgada que se pre-forma o forma directamente sobre la superficie de los productos vegetales como una envoltura protectora (Del-Valle *et al.*, 2005; Bravin *et al.*, 2006). Se elaboran a partir de una gran variedad de proteínas, polisacáridos y lípidos ya sea como componentes únicos o combinados, con la finalidad de desarrollarlas con mejores propiedades de barrera y mecánicas (Kester y Fennema, 1986). El mecanismo por el cual los recubrimientos conservan la calidad de frutas y vegetales es debido a que crean una barrera física a los gases, produciendo una atmósfera modificada ya que reducen la disponibilidad de O_2 e incrementan la concentración de CO_2 (Avena-Bustillos *et al.*,

storage, plastic packaging usage aiming to create modified atmospheres, as well as hydrothermal treatments application and formulations containing biological agents, among others (Quezada *et al.*, 2003). All of them exert some control on the incidence of pathogenic microorganisms. Losses up to 40% of the total crop have been reported during the handling of postharvest plant products, differing among products, production areas and time of year (Aular, 2006). The disease incidence caused by fungi of diverse kinds represents one the reasons generating these losses. Severe disease in humans, on the other hand, can be caused by products contaminated with bacteria such as *Escherichia coli*, *Salmonella sp.* and *Listeria monocytogenes*, causing even death if not treated on time. Regarding fungi, these do not generally appear during plants growth; in some cases, they remain dormant until the horticultural product maturation had been reached; others are acquired during harvest, transportation and/or product management (Ogden *et al.*, 2005; Beverly *et al.*, 2008). Concerning bacteria, food can be contaminated by them during the pre-harvest stage, mainly by polluted water or by handling of the horticultural products. A potentially viable alternative for fruit and vegetable preservation is the usage of multicomponent edible coatings, which may be produced with suitable ingredients for the product to provide the desired barrier protection, and also serving as vehicles to incorporate specific additives that enhance their functionality, such as antioxidants, dyes and as antimicrobials, which can avoid the pathogens growth on the surface of vegetable products (Nussinovitch and Lurie, 1995; Cagri *et al.*, 2004; Martín-Belloso *et al.*, 2005).

Specific properties of lipids, proteins and polysaccharides-based coatings applied in fruits and vegetables. The edible film or cover is a thin layer which either pre-forms or forms itself directly on the surface of vegetable products as a protective cover (Del-Valle *et al.*, 2005; Bravin *et al.*, 2006). They are made from a variety of proteins, polysaccharides and lipids either as unique or combined components, in order to have these developing better barrier and mechanical properties (Kester and Fennema, 1986). The mechanism by which the coatings retain fruit and vegetable quality is because they create a physical barrier to gases, since they reduce O_2 availability and increase CO_2 concentrations, producing, as a result, a modified atmosphere, (Avena-Bustillos *et al.*, 1997; González-Aguilar *et al.*, 2005).

Lipid-based coatings. The lipid-based coatings are very efficient to reduce product dehydration; due to their low polarity, they have a low permeability to water vapor (Kester and Fennema, 1986). Both strength and weight of the product are decreased by the moisture loss in fruits and vegetables, affecting their quality, thus causing economical losses during the marketing process (Avena-Bustillos *et al.*, 1994). These coatings have some limitations, such as poor mechanical properties and, sometimes, a bad appearance (García *et al.*, 2000); that is why lipids are mixed with different substances such as polysaccharides, because a greater stability to the coating is provided by these combinations (Koelsch, 1994; Martín-Belloso *et al.*, 2005).

al., 1997; González-Aguilar *et al.*, 2005).

Recubrimientos a base de lípidos. Los recubrimientos a base de lípidos son muy eficientes para reducir la deshidratación de los productos debido a su baja polaridad presentan una escasa permeabilidad al vapor de agua (Kester y Fennema, 1986). La pérdida de humedad en frutas y vegetales frescos disminuye la firmeza y el peso de los productos afectando su calidad y como consecuencia ocurren pérdidas económicas durante su comercialización (Avena-Bustillos *et al.*, 1994). Estos recubrimientos presentan algunas limitaciones tales como, propiedades mecánicas pobres y en ocasiones mala apariencia (García *et al.*, 2000); es por eso que los lípidos son mezclados con otras sustancias como polisacáridos, ya que estas combinaciones proporcionan al recubrimiento mayor estabilidad (Koelsch, 1994; Martín-Belloso *et al.*, 2005). García *et al.* (2000), reportaron que al mezclar aceite de girasol (*Helianthus annuus* L.) y almidón de maíz (*Zea mays* L.) con glicerol y sorbitol como plastificante, obtuvieron un recubrimiento, con buenas propiedades mecánicas para adherirse a la zanahoria (*Daucus carota* L.) y redujeron la pérdida de vapor de agua tres veces mas por encima del control. Por su parte, Mc Hugh y Senesi (2000), realizaron una mezcla de puré de manzana (*Pyrus Malus* L.) con lípidos (ácidos grasos, alcoholes grasos, ceras y aceite vegetal), con glicerol como plastificante, para elaborar un recubrimiento y aplicarlo en trozos de manzana. Los recubrimientos a base de puré de manzana tuvieron excelentes propiedades de barrera al O₂, pero deficientes propiedades de barrera a la humedad. La adición de lípidos garantizó mejores propiedades de barrera al agua (McHugh *et al.*, 1996). El resultado que obtuvieron fue una buena adherencia del recubrimiento, reducción en la oxidación de los trozos de manzana y poca pérdida de humedad, de igual forma se mantuvo el sabor y el aroma del fruto, concluyendo que a medida que se incrementó la concentración de lípidos se redujo la pérdida de humedad. Pérez-Gago *et al.* (2003), desarrollaron un recubrimiento mezclando hidroxipropil metilcelulosa con glicerol y ácido esteárico para aplicarlo en frutos de mandarina (*Citrus reticulata* B.). La pérdida de humedad de las mandarinas cubiertas y almacenadas a 20°C, disminuyó significativamente a medida que la cantidad de lípidos aumentó. Los resultados mostraron que el recubrimiento con mayor cantidad de lípidos (60%) disminuyó hasta en un 47% la pérdida de humedad en comparación con el control. Sin embargo, estos resultados también sugirieron utilizar bajas temperaturas de almacenamiento junto con la aplicación del recubrimiento para extender la vida de anaquel de la mandarina. Actualmente, la mayoría de los recubrimientos son adicionados con glicerol (Rojas Graü *et al.*, 2007; Raybaudi-Massilia *et al.*, 2008), utilizándolo como plastificante o simplemente para garantizar en el recubrimiento mayores propiedades de barrera a la pérdida de agua.

Recubrimientos a base de proteínas. Los recubrimientos hechos a base de proteínas presentan mejores propiedades de barrera a los gases, sin embargo, la resistencia que presenta al vapor de agua es menor debido a su naturaleza hidrofílica (Pérez-Gago y Krochta, 2002). Gontard *et al.* (1996),

It was reported by García *et al.* (2000), that a coating with good mechanical properties to join the carrot (*Daucus carota* L.) was obtained by mixing sunflower oil (*Helianthus annuus* L.) and cornstarch (*Zea mays* L.) with glycerol and sorbitol as plasticizer, reducing water vapor loss up to three times over the control. Mc Hugh and Senesi (2000), performed an applesauce mixture (*Pyrus Malus* L.) with lipids (fatty acids, fatty alcohols, waxes and vegetable oil), with glycerol as a plasticizer to produce a coating, looking forward to have it applied on apple slices. Excellent barrier properties to O₂ were revealed by the applesauce-based coatings, but deficient barrier properties to moisture. Better water barrier properties were guaranteed by the lipids addition (McHugh *et al.*, 1996). Consequently, a good coating adhesion, an oxidation reduction on the apple slices and a low moisture loss were reached; likewise, the fruit taste and aroma were maintained, concluding that as lipid concentration increased, moisture loss was reduced. A mixed coating with hydroxypropyl methylcellulose, glycerol and stearic acid was developed by Pérez-Gago *et al.* (2003), aiming to have it implemented in mandarin fruits (*Citrus reticulata* B.). A significant moisture loss decrease was revealed, as the amount of lipids increased, by the mandarins covered and stored at 20°C. It was exposed by the results that the coating with the highest amount of lipids (60%) decreased to a 47% moisture loss, compared to the control. However, it was also suggested by these results that it is more suitable to utilize a low temperature storage combined with the application of the coating, looking forward to extend mandarin shelf life. Currently, most coatings are added with glycerol (Rojas Graü *et al.*, 2007; Raybaudi-Massilia *et al.*, 2008), using it either as a plasticizer or simply to ensure greater barrier properties to water loss in the coating.

Protein-based coatings. Better barrier properties to gases are revealed by the coatings made out of proteins; nevertheless, the water vapor resistance is lower due to their hydrophilic nature (Pérez-Gago and Krochta, 2002). Films based on gluten, acetic acid and glycerol were produced by Gontard *et al.* (1996), getting a low permeability to CO₂ and O₂ when compared to the control; therefore, its use for fruits and vegetables is recommended. A gluten, ethanol, ammonium, hydroxide, glycerol-based coating was made by Tanada-Palmu and Grosso (2005), and applied in strawberry (*Fragaria vesca* L.). A longer strawberry taste was maintained (five days) with this coating, compared with the control; although, its water barrier properties were not good. Beeswax, stearic acid and palmitic acid were added to this same formulation, reducing as much as 50% weight loss in strawberries, when compared with the lipid-free coating. A whey protein, hydroxypropyl methylcellulose, beeswax, carnuba-based coating was produced by Pérez-Gago *et al.* (2005), to cover strawberry pieces, achieving an enzymatic browning reduction, thus. Such effect is attributed by the authors to the high oxygen barrier property revealed by proteins. Another coating was developed with whey protein, beeswax and ascorbic acid or cysteine by the same authors, obtaining the same reduction in enzymatic browning, in apple slices (Pérez-Gago *et al.*, 2006).

elaboraron películas a base de gluten, ácido acético y glicerol consiguiendo una baja permeabilidad al CO_2 y O_2 en comparación con el control, por lo que recomiendan su uso para frutas y vegetales. Tanada-Palmu y Grosso (2005), formularon un recubrimiento a base de gluten, etanol, hidróxido de amonio, y glicerol y lo aplicaron en fresa (*Fragaria vesca* L.). Con este recubrimiento se logró mantener el sabor de las fresas por más tiempo (5 días) en comparación con el control, sin embargo, sus propiedades de barrera al agua no fueron buenas. A esta misma formulación se le adicionó cera de abeja, ácido esteárico y ácido palmítico, reduciendo la pérdida de peso en las fresas hasta en un 50% en comparación con el recubrimiento sin lípidos. Pérez-Gago *et al.* (2005), elaboraron un recubrimiento con proteína de suero de leche, hidroxipropil metilcelulosa, cera de abeja y carnauba, para cubrir trozos de fresa, logrando una reducción en el oscurecimiento enzimático. Los autores atribuyen este efecto a la alta propiedad de barrera al oxígeno que presentan las proteínas. Estos mismos autores elaboraron otro recubrimiento con proteína de suero de leche, cera de abeja y ácido ascórbico o cisteína, obteniendo la misma reducción en el oscurecimiento enzimático en trozos de manzana (Pérez-Gago *et al.* 2006). Monedero *et al.* (2009), elaboraron películas a base de proteína de soja (*Glycine max* M.), ácido oleico y glicerol, y posteriormente hicieron las pruebas en frutos, obteniendo una permeabilidad selectiva al O_2 . Además, adicionaron lípidos y lograron disminuir la pérdida de agua hasta en un 50% en comparación con las películas no adicionadas.

Recubrimientos a base de polisacáridos. Los recubrimientos hechos a base de polisacáridos han sido los más utilizados para recubrir frutos, y esto es debido a sus propiedades mecánicas de adherencia y flexibilidad en la superficie de los productos hortofrutícolas. Meza (2006), formuló un recubrimiento utilizando tres diferentes polisacáridos; almidón de maíz, goma guar y pectina de bajo metoxilo. Al incrementar la concentración de almidón de maíz, se mejoró la adherencia y la flexibilidad del recubrimiento en la superficie de frutos como pera (*Pyrus communis* L.), limón (*Citrus limon* L.) y aguacate (*Persea americana* M.). Sin embargo, las concentraciones de almidón de maíz del 2% o mayores ocasionaron frutos aparentemente deshidratados y opacos, además de ser recubrimientos quebradizos y fibrosos. La goma guar y la pectina de bajo metoxilo, mostraron buena viscosidad y adherencia aun en concentraciones altas. Varios autores atribuyen otros efectos a los recubrimientos a base de polisacáridos, por ejemplo, Viña *et al.* (2007), recubrieron coles de Bruselas (*Brassica oleracea* L.) con una mezcla de almidón de maíz, hidróxido de sodio y glicerol, conservando algunos atributos de calidad del producto, tales como, firmeza y color. Además la pérdida de peso fue menor en comparación con el control. Ribeiro *et al.* (2007), realizaron una mezcla de almidón, ácido cítrico y sorbitol para cubrir frutos de fresa y retardar su senescencia. Los recubrimientos a base de polisacáridos mostraron mejores propiedades de barrera a los gases que el control. Oms-Oliu *et al.* (2008), formularon un recubrimiento a base de alginato, pectina y goma de gelana, obteniendo un

Films based on soy protein (*Glycine max* M.), oleic acid and glycerol were produced by Monedero *et al.* (2009), and later performed the tests on fruits, obtaining a selective permeability to O_2 . Furthermore, once lipids addition was performed, they were able to decrease water loss up to 50%, when compared to the non added films.

Polysaccharides-based coatings. The coatings made out of polysaccharides have been the most commonly used to coat fruit, due to their adhesion and flexibility mechanical properties on the surface of horticultural products. A coating was produced by Meza (2006) utilizing three different polysaccharides: cornstarch, guar gum and low methoxyl pectin. Coating adhesion and flexibility become improved on the surface of fruits such as pear (*Pyrus communis* L.), lemon (*Citrus limon* L.) and avocado (*Persea americana* M.), as the cornstarch concentration increased. Nevertheless, 2% or higher cornstarch concentrations produced apparently dehydrated and opaque fruits with brittle and fibrous coatings. A good viscosity and adhesion were revealed by the guar gum and the low methoxyl pectin, even at high concentrations. Some other effects are attributed to polysaccharide-based coatings by several authors; as an instance, Brussels sprouts (*Brassica oleracea* L.) were coated with a cornstarch, sodium hydroxide and glycerol mixture by Viña *et al.* (2007), which preserved some of the product quality attributes, such as firmness and color. Moreover, the weight loss was lower when compared to the control. A starch, citric acid and sorbitol mixture was held by Ribeiro *et al.* (2007) to cover and retard strawberry fruit senescence. Better barrier properties to gases than the control were revealed by the polysaccharides-based coatings. An alginate, pectin, Gelan gum- based coating was produced by Oms-Oliu *et al.* (2008), obtaining an increase in resistance to water loss and reducing ethylene production in cut pears. A film made with mango pulp, out of which barrier and mechanical properties were analyzed, was tested by Sothornvit and Rodsamran (2008) in mango fruits. A weight loss reduction was revealed by the coating covered mango at storage temperatures of 30 and 5° C, respectively. High permeability values to water vapor, as well as an intermediate oxygen permeability value, were revealed by this film; in addition, a better texture was exposed by the fruits covered with this film than those which were not covered. It was reported as well by the same authors that the film, with regards to its mechanical properties, had a higher elongation and elasticity index compared to other fruits made out of starch and plasticized with glycerol.

Chitosan as coating film forming with antimicrobial activity. The chitosan is a polysaccharide obtained from exoskeleton of crustaceans by means of a partial chitin deacetylation (Freepons, 1991). Its antifungal activity has been previously reported in several studies, inhibiting fungi growth causing postharvest diseases (Table 1), demonstrating such inhibition on the mycelia growth and sporulation, or even on both development stages. As it has been mentioned, the chitosan fungicidal effect relies on the concentration used, molecular weight and on its deacetylation degree. The chitosan attaches itself to the fungi plasmatic membrane by

incremento en la resistencia de pérdida de agua y reducción en la producción de etileno en peras cortadas. En frutos de mango, Sothornvit y Rodsamran (2008), probaron una película elaborada con pulpa de mango del cual analizaron sus propiedades de barrera y mecánicas. Los mangos cubiertos con el recubrimiento redujeron la pérdida de peso en un 5 y 10% a temperaturas de almacenamiento de 30 y 5° C respectivamente. Dicha película mostró altos valores de permeabilidad al vapor de agua y un valor intermedio de permeabilidad al oxígeno, adicionalmente, los frutos cubiertos con esta película mostraron un mejor textura que los no cubiertos; respecto a sus propiedades mecánicas ellos reportaron que la película de este material tuvo una mayor elongación e índice de elasticidad en comparación con otras hechas de almidón de frutas y plastificadas con glicerol.

electrostatic interactions between positive chitosan charges and the negatively charged membrane phospholipids trainers (El Ghaout and Arul, 1992), causing a leak through it to reach the cytosol once adhered to the membrane. Energy to pass through the membrane is used by the chitosan; nevertheless, this process does not involve the endocytosis process. Rather low levels of Ca^{2+} are usually kept by the fungi in their cytosol, due to the barrier forming the plasmatic membrane, which has sealed regulators to prevent a free passage of Ca^{2+} gradients; this process, which also involves the homeostatic mechanism, where the Ca^{2+} concentration regulates itself within the cytosol, sends the Ca^{2+} excess out of the cell or stores it in the cell organelles. Thus, as the chitosan is introduced into the cytosol, the homeostatic mechanism becomes drastically transformed, because as it forms

Cuadro 1. Efecto de diferentes concentraciones de quitosano en el control de varios hongos postcosecha importantes en la producción hortofrutícola.

Table 1. Effect of different chitosan concentrations in the control of several important postharvest fungi in horticultural production.

Patógeno	Concentración de quitosano	Resultados	Referencias
<i>Alternaria alternata</i>	2 y 2.5% 6.0 mg ml ⁻¹	Inhibición del crecimiento micelial.	Sánchez <i>et al.</i> , 2007
<i>Rhizopus stolonifer</i>	2%	Inhibición del crecimiento micelial.	El Ghaout <i>et al.</i> , 1992c
	2%	Baja esporulación y germinación de esporas.	Hernández-Lazuardo <i>et al.</i> , 2008
	2.5 y 3.0% 1.5% 6.0 mg ml ⁻¹	Inhibición de crecimiento micelial.	Hernández, 2002 Bautista-Baños <i>et al.</i> , 2004 El Ghaout <i>et al.</i> , 1992a
<i>Colletotrichum gloesporoides</i>	2.5 y 3.0%	Inhibición del crecimiento micelial y de formación de esporas.	Bautista-Baños <i>et al.</i> , 2003
	3.0% 6.0 mg ml ⁻¹	Controló el crecimiento micelial.	El Ghaout <i>et al.</i> , 1992a
<i>Fusarium oxysporium</i>	1.5, 2.5 y 3.0%	Inhibición del crecimiento micelial.	Bautista-Baños <i>et al.</i> , 2004
	1.5%	Baja esporulación y baja germinación de esporas.	El Ghaout <i>et al.</i> , 1992b
<i>Botrytis cinerea</i>	50.0 mg ml ⁻¹	Controló el crecimiento de la enfermedad.	Ben-Shalom <i>et al.</i> , 2003
	6.0 mg ml ⁻¹		El Ghaout <i>et al.</i> , 1992a
<i>Penicillium digitatum</i>	2.5 y 3.0%	Inhibición del crecimiento micelial.	El Ghaout <i>et al.</i> , 1992a
	1.5%		Bautista-Baños <i>et al.</i> , 2004

El quitosano como recubrimiento filmogénico con actividad antimicrobiana. El quitosano es un polisacárido que se obtiene del exoesqueleto de crustáceos mediante la desacetilación parcial de la quitina (Freepons, 1991).

channels in the membrane, it allows the free passage of calcium gradients, causing deadly instability in the cell. Although, not all the fungi have the same sensitivity to chitosan, which may be due to the phospholipids membrane

Su actividad fungicida ha sido reportada en varios estudios, inhibiendo el crecimiento de los hongos causantes de enfermedades postcosecha (Cuadro 1), manifestándose esta inhibición en el crecimiento micelial y esporulación o en ambos estados de desarrollo. Se ha mencionado que el efecto fungicida del quitosano está en función de la concentración utilizada, el peso molecular y grado de desacetilación del mismo. El quitosano se adhiere a la membrana plasmática de los hongos gracias a las interacciones electrostáticas entre las cargas positivas del quitosano y a las cargas negativas de los fosfolípidos formadores de membrana (El Ghaout y Arul, 1992), una vez adherido a la membrana, causa una filtración a través de ella hasta llegar al citosol; el quitosano utiliza energía para atravesar la membrana, sin embargo, este proceso no involucra al proceso de endocitosis. Los hongos normalmente mantienen en su citosol niveles muy bajos de Ca^{2+} , esto es gracias a la barrera que forma la membrana plasmática, la cual posee reguladores herméticos que impiden el paso libre de gradientes de Ca^{2+} , este proceso en el que también se involucra al mecanismo homeostático, donde dentro del citosol se regula la concentración de Ca^{2+} , enviando fuera de la célula al exceso de Ca^{2+} , o los almacena en organelos de la propia célula. Por lo tanto, al introducirse el quitosano al interior del citosol se transforma drásticamente el mecanismo homeostático, ya que al formar canales en la membrana permite el paso libre de gradientes de calcio, ocasionando una inestabilidad en la célula hasta su muerte. Sin embargo, no todos los hongos presentan la misma sensibilidad al quitosano y esto puede ser debido a la composición de fosfolípidos de membrana y particularmente a la naturaleza de sus cargas (cargas neutras) (Palma-Guerrero *et al.*, 2008, 2009, 2010). Al igual que en los hongos, el efecto bactericida del quitosano ha sido reportado en diferentes estudios (Cuadro 2).

composition, particularly to the nature of their charges (neutral charges) (Palma-Guerrero *et al.*, 2008, 2009, 2010). As in fungi, the chitosan antibacterial effect has been previously reported in several studies (Table 2).

Chitosan application as coating. Chitosan is a compound that presents biofunctional characteristics, which make it suitable to replace traditional control of microorganisms; in addition, it can be used safely to produce edible coatings (González-Aguilar *et al.*, 2005). A coating is formed on the surface of the fruits by the chitosan-based coatings, which act as a mechanical barrier to protect the fruits from infections caused by fungi, helping thereby to decrease disease level during storage by *Rizophus stolonifer* (Ehrenb: Fr), *Botrytis cinerea* Pers: Fr, and *Alternaria alternata* (Fr.:Fr.) Keissl among others (Hernández, 2002; El Ghaouth *et al.*, 1992c; Meng *et al.*, 2008; Sánchez, 2008). Various edible chitosan-based coatings have been developed up to date. Coated with chitosan were produced by Ghaouth *et al.* (1992b) in a 15mg ml^{-1} concentration, inhibiting the *B. cinerea* and *R. stolonifer* growth in strawberry. Infection signs of this fungi appeared after five days of being stored at 13 °C, while in the control these symptoms were visible on the first day. By the end of the storage, the infection revealed an over 60% decrease in strawberries treated with chitosan. A significant chitosan fungicidal activity was reported by Romanazzi *et al.* (2002) when it was applied as a coating in grape fruits (*Vitis vinifera* L.) and strawberry against *B. cinerea*. Jiang *et al.* (2005), reported that chitosan at a concentration of 2% were able to inhibit the appearance of microorganisms in litchi fruits (*Litchi chinensis* Sonn.) by the end of the evaluation after being incubated for 12 hours. However, higher chitosan concentrations did not significantly increase the beneficial effects of chitosan in the control of microorganisms (Zhang and Quantick, 1997).

Cuadro 2. Efecto del quitosano como inhibidor de colonias de bacterias patógenas en humanos.
Table 2. Chitosan effect as an inhibitor of pathogenic bacteria colonies in humans.

Patógeno	Concentración de quitosano	Resultados	Referencias
<i>Escherichia coli</i>	100 mg L^{-1}	Inhibición de la colonia	Nan <i>et al.</i> , 2006
	10 mg L^{-1}	“	Lim y Hudson, 2004
	0.25 $\mu\text{g mL}^{-1}$	“	Qi <i>et al.</i> , 2004
	0.0075%	“	Simpson <i>et al.</i> , 1997
<i>Listeria monocytogenes</i>	1%	“	Beberly <i>et al.</i> , 2008
	1%	“	Ponce <i>et al.</i> , 2008
	1%	“	Belalia <i>et al.</i> , 2008
	2%	“	Ye <i>et al.</i> , 2008
<i>Salmonella typhimurium</i>	1%	“	Belalia <i>et al.</i> , 2008
<i>S. enterica</i>	1%	“	Su <i>et al.</i> , 2007

Aplicación del quitosano como recubrimiento. El quitosano es un compuesto que presenta características biofuncionales, por lo que podría ser una alternativa viable para sustituir los métodos de control de microorganismos tradicionales además, puede utilizarse sin problemas para elaborar recubrimientos comestibles (González-Aguilar *et al.*, 2005). Los recubrimientos con quitosano forman una cubierta en la superficie de los frutos, que actúa como una barrera mecánica para proteger al fruto de infecciones causadas por hongos, ayudando así a disminuir las enfermedades causadas durante el almacenamiento por *Rizophus stolonifer* (Ehrenb:Fr), *Botrytis cinerea* Pers:Fr, y *Alternaria alternata* (Fr.:Fr.) Keissl entre otras (Hernández, 2002; El Ghaouth *et al.*, 1992c; Meng *et al.*, 2008; Sanchez, 2008). A la fecha, se han desarrollado diferentes recubrimientos comestibles con quitosano. El Ghaouth *et al.* (1992b), elaboraron cubiertas con quitosano en una concentración de 15mg ml⁻¹ e inhibieron el crecimiento de *B. cinerea* y *R. stolonifer* en fresa. Los signos de infección de estos hongos aparecieron 5 días después de ser almacenados a 13 °C, mientras que en el control estos síntomas fueron visibles al primer día. Al final del almacenamiento se redujo hasta en un 60% más la infección en fresas tratadas con quitosano. Por su parte Romanazzi *et al.* (2002), reportaron una actividad fungicida significativa del quitosano cuando se aplicó como recubrimiento en frutos de uva (*Vitis vinifera* L.) y fresa contra *B. cinerea*. Jiang *et al.* (2005), reportaron que las cubiertas de quitosano a una concentración del 2%, lograron inhibir la aparición de microorganismos en frutos de litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) al final de la evaluación (12 h de incubación), sin embargo, al aumentar la concentración de quitosano no aumentaron significativamente los efectos benéficos del quitosano en el control de microorganismos (Zhang y Quantick, 1997). Chien *et al.* (2007), mostraron que al aplicar quitosano al 2% como recubrimiento para frutos de mango, se observó que al término del almacenamiento no hubo presencia de microorganismo patógeno alguno. Aunque en la investigación realizada por Robson *et al.*, 2008, no se señala el género y la especie de los patógenos controlados, se observó que la aplicación de cubiertas de agar con quitosano y ácido acético en ajos (*Allium sativum* L.), hubo 20% menos infección que en los no tratados.

Incorporación de aditivos en los recubrimientos. Los recubrimientos se pueden utilizar como vehículo de aditivos, los cuales pueden proporcionar al producto vegetal funciones más específicas como una actividad antimicrobiana, para evitar o reducir el crecimiento de microorganismos en su superficie (Rodríguez *et al.*, 2005). Sin embargo, se ha observado que se requiere de aplicaciones pequeñas para que sus atributos de calidad no se vean afectados (Min y Krochta, 2005). Dentro de los agentes antimicrobianos incorporados a los recubrimientos vegetales pueden considerarse a los aceites esenciales (Assis y Pessoa, 2004; Rodríguez *et al.*, 2005; Rojas, 2006).

Aceites esenciales. Los aceites esenciales se encuentran en abundancia en el reino vegetal y se pueden localizar en diferentes partes de la planta por ejemplo: en hojas como albahaca (*Ocimum basilicum* L.), mejorana (*Origanum*

It was exposed by Chien *et al.* (2007) that by applying the 2% chitosan coating for mango fruits, no pathogen presence whatsoever was revealed by the end of the storage. Although research performed by Robson *et al.*, (2008) does not indicate neither the genus nor the species of the pathogens controlled it was observed that there was a 20% less infection than in untreated patients in the agar application covered with chitosan and acetic acid in garlic (*Allium sativum* L.).

Additives incorporation in the coatings. The coatings can be used as a vehicle for additives, which can provide the plant product with more specific functions, such as antimicrobial activity aiming to either prevent or reduce the growth of microorganisms on the surface (Rodríguez *et al.*, 2005). Nevertheless, it has been observed that small appliances are required in order to keep quality attributes from being affected (Min and Krochta, 2005). Essential oils may be considered among the antimicrobial agents incorporated into the coating plant (Assis and Pessoa, 2004; Rodríguez *et al.*, 2005; Rojas, 2006).

Essential oils. A great quantity of essential oils can be found in the plant kingdom, and can be located in different parts of the plant e.g., in leaves such as basil (*Ocimum basilicum* L.), marjoram (*Origanum majorana* L.), mint (*Mentha rotundifolia* L.), rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.), sage (*Salvia officinalis* L.), in roots of calamus (*Acorus calamus* L.), valerian (*Valeriana officinalis* L.), in the bark of cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum* Nees), cedar (*Cedrela odorata* L.), sandalwood (*Santalum album* Linn), in flowers such as jasmine (*Jasminum officinale* L.) and rose (*Rosa* sp.). They can also be located in the shell of some fruits such as lemon, tangerine and orange (*Citrus sinensis* L.), as well as in anise fruits (*Pimpinella anisum* L.), cardamom (*Elettaria cardamomum* L.), dill (*Anethum graveolens* L.), and fennel (*Foeniculum vulgare* Miller) (Ronquillo, 2007). Essential oils are a mixture of volatile components produced by the plants secondary metabolism. The scents are complex mixtures conformed by hydrocarbons such as terpenes, alcohols, esters, aldehydes and phenolic compounds, which are responsible for the essential oils characteristic aroma (Bakkali *et al.*, 2008). The essential oils antifungal activity is associated with monoterpene phenol content, especially thyme (*Thymus vulgaris* L.), oregano (*Origanum vulgare* L.), and cloves (*Eugenia caryophyllata* Thunb). Its action mechanism is associated with the ability to interact with the pathogen cytoplasm; its action mode appears to be closely related with each compound solubility (Ronquillo, 2007). Toxicity has been reported in humans by the use of either pure essential oils or high concentrations of essential oils as well, resulting from skin irritation to cancer. However, the use of oils in minimal concentrations does not produce body alterations, being furthermore considered as grass products (Bakkali *et al.*, 2008).

Essential oils and their fungicide activity in postharvest fungi. Fungicidal activity against postharvest fungi was revealed by the essential oils on a wide range of fungi (Daferera *et al.*, 2000). Currently, several investigations demonstrating the essential oils fungicidal activity has been reported (Table 3).

majorana L.), menta (*Mentha rotundifolia* L.), romero (*Rosmarinus officinalis* L.), salvia (*Salvia officinalis* L.), en raíces de cálamo (*Acorus calamus* L.), valeriana (*Valeriana officinalis* L.), en la corteza de canela (*Cinnamomum zeylanicum* Nees.), cedro (*Cedrela odorata* L.), sándalo (*Santalum album* Linn.), en flores como el jazmín (*Jasminum officinale* L.) y en la rosa (*Rosa* sp.). En cáscara de algunas frutas como el limón, mandarina, naranja (*Citrus sinensis* L.) y en frutos de anís (*Pimpinella anisum* L.), cardamomo (*Elettaria cardamomum* L.), eneldo (*Anethum graveolens* L.) e hinojo (*Foeniculum vulgare* Miller.) (Ronquillo, 2007). Los aceites esenciales son una mezcla de componentes volátiles, producto del metabolismo secundario de las plantas. Las esencias son mezclas complejas en cuya composición se encuentran los hidrocarburos como terpenos, alcoholes, ésteres, aldehídos y compuestos fenólicos, los cuales son los responsables del aroma que caracteriza a los aceites esenciales (Bakkali *et al.*, 2008). La actividad antifúngica de los aceites esenciales se asocia al contenido de fenoles monoterpénos especialmente el de tomillo (*Thymus vulgaris* L.), orégano (*Origanum vulgare* L.) y clavo (*Eugenia caryophyllata* Thunb). Su mecanismo de acción se asocia con la capacidad de interactuar con el citoplasma del patógeno y su modo de acción parece estar estrechamente relacionado con la solubilidad de cada compuesto (Ronquillo, 2007). Se ha reportado toxicidad en humanos por la utilización de los aceites esenciales puros o en altas concentraciones, ocasionando desde irritaciones en la piel hasta cáncer. Sin embargo, la utilización de aceites en concentraciones mínimas no genera alteraciones en el organismo, siendo además productos considerados como GRAS (Bakkali *et al.*, 2008).

Aceites esenciales y su actividad fungicida en hongos postcosecha. Los aceites esenciales han mostrado una actividad fungicida contra patógenos postcosecha en un amplio intervalo de hongos (Daferera *et al.*, 2000). Actualmente, se han reportado varias investigaciones en donde se demuestra la actividad fungicida de los aceites esenciales (Cuadro 3).

Aceites esenciales y su actividad en bacterias que afectan la salud humana. La actividad bactericida de los aceites esenciales ha sido reportada por varios autores (Cuadro 4). Esta actividad podría estar relacionada a la respectiva composición de aceites volátiles de cada planta, a la configuración estructural de los componentes constituyentes de los aceites, a sus grupos funcionales y a posibles interacciones sinérgicas entre sus componentes (Dorman y Deans, 2000). La hidrofobicidad de los aceites esenciales les permite incorporarse a los lípidos de la membrana bacteriana, ocasionando trastornos en su estructura y permeabilidad, dando lugar a la fuga de iones y otros compuestos (Bosquez-Molina *et al.*, 2009).

Aplicación de aceites esenciales en recubrimientos comestibles. En la actualidad, varios autores han utilizado los aceites esenciales como aditivos en las formulaciones de sus recubrimientos. La incorporación de agentes antimicrobiales como es el caso de los aceites esenciales (anís, cardamo y tomillo) en películas, cubiertas o empaques, se ha probado en

Essential oils and their activity in bacteria affecting human health. The essential oils bactericidal activity has been reported by several authors (Table 4). Such activity could be related to the respective composition of each plant volatile oils, to the structural configuration of the oils constituent components, to their functional groups and to the possible synergistic interactions among their components (Dorman and Deans, 2000). The essential oils hydrophobicity allows them to be incorporated into the bacterial membrane lipids, causing disruption of their structure and permeability, resulting in the leakage of ions and other compounds (Bosquez-Molina *et al.*, 2009).

Essential oils application in edible coatings. Currently, essential oils have been used by several authors as additives in coatings formulation. The antimicrobial agents incorporation, such as essential oils (anise, cardamom and thyme) in films, covers and packaging has been tested in various foodstuffs, such as meat and bakery products inhibiting the growth of fungi, bacteria and yeast (Cagri *et al.*, 2004). Thyme oil was added to the coating (10 g l^{-1}) by Plotto *et al.* (2003), resulting in a significant *B. cinerea* growth inhibition in tomato fruit. The *R. stolonifer* development was reduced, in other research, by thyme oil concentrations above 0.06%, reporting that as the concentration increased the fungus severity decreased (Bosquez-Molina *et al.*, 2010). The use of essential oils, in the case of bacteria, has also been beneficial for the control of these microorganisms. It was reported by Rojas-Grau *et al.* (2007a), that the applesauce alginate, glycerol and oregano essential oil-based coating applied on pieces of mango decreased *Listeria innocua* development as much as 50% more than untreated samples. The growth of *Salmonella enterica* was inhibited by Raybaudi-Massilia *et al.* (2008), as alginate-based coatings, glycerol and 0.3% of palmitic acid were incorporated in melons cut, in addition to maintaining a fresh product with good quality parameters.

Chitosan and essential oils combination applied and their effect in microorganisms control. The inhibitory effect of food covered with chitosan and rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) at 1% on *L. monocytogenes* on the surface of pumpkins (*Cucurbita moschata* Dutch) was confirmed in studies conducted by Ponce *et al.* (2008). Also, this did accomplish to inhibit this bacteria halo of growth 5 mm more in comparison with the rest of the covers tested, such as the chitosan and olive (*Olea europea* L.) and chitosan and chile (*Capsicum annum* L.) combinations. Another combination that revealed good results was the combination reported by Pranoto *et al.* (2005); a chitosan and garlic oil-based coating was performed by these authors. The results were favorable due to the fact that this coating controlled the growth of *Staphylococcus aureus*, *L. monocytogenes* and *Bacillus cereus* microorganisms. A coating of oleic acid and chitosan to cover strawberry fruits was produced by Vargas *et al.* (2006), observing a microorganisms incidence reduction up to 80% by the end of the evaluation, in comparison with the untreated fruits. It was revealed in this study as well that the chitosan and oleic acid combination had not only fungicides and bactericides effects, but it was also an alternative method

varios productos alimenticios como carne y productos de panadería, inhibiendo el desarrollo de hongos, bacterias y levaduras (Cagri *et al.*, 2004). Plotto *et al.* (2003), adicionaron aceite de tomillo (10 g l⁻¹) al recubrimiento, obteniendo en frutos de tomate una significativa inhibición en el crecimiento de *B. cinerea*. En otras investigaciones, concentraciones por arriba de 0.06% de aceite de tomillo redujeron el desarrollo de *R. stolonifer* en frutos de papaya, reportándose que a medida que aumentaban la concentración disminuía la severidad del hongo (Bosquez-Molina *et al.*, 2010).

to extent the shelf life of cut carrots, reducing their breathing, weight loss and maintaining color.

Perspectives. A growing interest prevails in producing high quality food with longer life and either wrapped or protected by environmentally compatible materials. Under such context, the study and biodegradable films and coatings development has become a major research alternative of great scopes, since different functional properties can be achieved in a single formulation, not for food preservation per se (films and coatings assets), but also to give added nutritional value embedded biopolymers such as protein type and / or a

Cuadro 3. Aceites esenciales con efecto fungicida contra algunas especies de hongos postcosecha importantes en la producción hortofrutícola.

Table 3. Essential oils fungicide effect against some post harvest fungi species in fruit and vegetable production.

Patógeno	Aceite	Concentración	Resultados	Referencias
<i>Alternaria citri</i>	<i>Thymus vulgaris</i> L.	250 mg L ⁻¹	Inhibición del crecimiento micelial.	Arras y Usai, 2001
<i>Botrytis cinerea</i>	<i>Cymbopogon martini</i> Rox. <i>Zyzygiun aromaticum</i> L.	7800 mg L ⁻¹	Inhibición de la germinación	Wilson, 1997
<i>Penicillium digitatum</i> <i>P. italicum</i> <i>P. citrinum</i>	<i>T. vulgaris</i> L., <i>C. sinensis</i> L. <i>Poncirus trifoliata</i> L.	250, 275, 246 mg L ⁻¹	Inhibición del crecimiento micelial	Arras y Usai, 2001 Caccioni <i>et al.</i> , 1998
<i>Fusarium graminearum</i>	<i>Anethum graveolens</i> L.	6 mg L ⁻¹	Inhibición del crecimiento micelial	Singh <i>et al.</i> , 2005
	<i>Citrus aurantifolia</i> Christm.	300 mg L ⁻¹		Mishra y Dubey, 1994
<i>Aspergillus flavus</i> <i>A. niger</i> <i>Penicillium chrysogenum</i>	<i>Mentha viridis</i> L. <i>Ageratum conyzoides</i> L. <i>Rosmarinus oficinales</i> L.	300 mg L ⁻¹	Retarda el crecimiento	Yang y Clausen, 2007

Aplicación de aceites esenciales en recubrimientos comestibles. En la actualidad, varios autores han utilizado los aceites esenciales como aditivos en las formulaciones de sus recubrimientos. La incorporación de agentes antimicrobiales como es el caso de los aceites esenciales (anís, cardamo y tomillo) en películas, cubiertas o empaques, se ha probado en varios productos alimenticios como carne y productos de panadería, inhibiendo el desarrollo de hongos, bacterias y levaduras (Cagri *et al.*, 2004). Plotto *et al.* (2003), adicionaron aceite de tomillo (10 g l⁻¹) al recubrimiento, obteniendo en frutos de tomate una significativa inhibición en el crecimiento de *B. cinerea*. En otras investigaciones, concentraciones por arriba de 0.06% de aceite de tomillo redujeron el desarrollo de *R. stolonifer* en frutos de papaya, reportándose que a medida que aumentaban la concentración disminuía la severidad del hongo (Bosquez-Molina *et al.*, 2010). En el caso de bacterias, el uso de aceites esenciales también ha sido benéfico para el control de estos microorganismos. Rojas-Grau *et al.* (2007a), reportaron que el recubrimiento a base de puré de manzana alginato, glicerol

capacity to prevent chronic degenerative diseases. The main research challenges to be considered include developing ad hoc formulations for each type of food, having biochemical, physicochemical and antimicrobial stability with no adverse effect on food sensory quality, as well as to be completely safe for human consumption and to possess sufficient mechanical strength and a competitive cost to replace current synthetic materials an also eliminating the chemical or synthetic preservatives addition. These are the primary reasons for having it called the packaging technology of the future.

y aceite esencial de orégano en trozos de mango, disminuyó el desarrollo de *Listeria innocua*, hasta un 50% más que en los no tratados. Raybaudi-Massilia *et al.* (2008), al incorporar recubrimientos a base de alginato y glicerol, y 0.3% de ácido palmítico en melón cortado, inhibieron el crecimiento de *Salmonella enterica*, además de conservar el producto fresco con buenos parámetros de calidad.

un recubrimiento a base de quitosano y aceite de ajo. Los resultados se mostraron favorables debido a que este recubrimiento controló el crecimiento de los microorganismos *Staphylococcus aureus*, *L. monocytogenes* y *Bacillus cereus*. Vargas *et al.* (2006), elaboraron un recubrimiento de quitosano y ácido oleico, para cubrir frutos de fresa observándose que la incidencia de

Cuadro 4. Efecto bactericida de los aceites esenciales en bacterias patógenas en humanos.
Table 4. Essential oils bactericidal effect on pathogenic bacteria in humans.

Patógeno	Aceite	Concentración	Resultados	Referencias
<i>Listeria monocytogenes</i>	<i>Zyzygiun aromaticum</i> L. <i>Thymus vulgaris</i> L.	10000 mg L ⁻¹	Inhibición de su crecimiento.	Mytle <i>et al.</i> , 2008
	<i>Cinnamomun zeylanicum</i> Blume.	1000 mg L ⁻¹	Redujo el desarrollo.	Smith-Palmer <i>et al.</i> , 2001
<i>Escherichia coli</i>	<i>Coriandrum sativum</i> L. <i>Camelia sinensis</i> L. <i>Origanum vulgare</i> L. <i>Aniba Rosaeodora</i> Ducke.	8 mg L ⁻¹	Inactivó a la bacteria.	Yuste y Fung, 2002
	<i>Coriandrum sativum</i> L. <i>Cymbopogon martini</i> Rox. <i>Mentha viridis</i> L. <i>Mentha spicata</i> L. <i>Salvia officinalis</i> L. <i>Origanum majorana</i> L. <i>Thymus vulgaris</i> L.	2000 mg L ⁻¹	Inhibición del crecimiento.	Lo Cantore <i>et al.</i> , 2004
<i>Salmonella</i> sp	<i>Citrus cinensis</i> L. <i>Zyzygiun aromaticum</i> L. <i>Cinnamomun zeylanicum</i> Blume.	1250 mg L ⁻¹	Inhibición de su crecimiento.	O'Bryan <i>et al.</i> , 2008
	<i>Thymus vulgaris</i> L.	750 mg L ⁻¹	Detuvo el desarrollo	Smith-Palmer <i>et al.</i> , 2008
<i>S. pollorum</i>	<i>Piper nigrum</i> L.	18 mg L ⁻¹	Inhibición de su crecimiento	Dorman y Deans, 2000

Aplicación de la combinación quitosano y aceites esenciales y su efecto en el control de microorganismos. En estudios realizados por Ponce *et al.* (2008), se demostró el efecto inhibitorio de cubiertas comestibles con quitosano y romero (*Rosmarinus officinalis* L.) al 1%, sobre el crecimiento de *L. monocytogenes* en la superficie de calabazas (*Cucurbita moschata* Dutch). Asimismo, este recubrimiento logró inhibir 5 mm más el halo de crecimiento de esta bacteria en comparación con el resto de otras cubiertas probadas como fueron las combinaciones de quitosano y olivo (*Olea europea* L.) y quitosano y chile (*Capsicum annum* L.). Otra combinación que demostró buenos resultados fue la reportada por Pranoto *et al.* (2005), estos autores realizaron

microorganismos se redujo hasta en un 80% al término de la evaluación en comparación con los frutos no tratados. En este mismo estudio, la combinación, quitosano y ácido oleico no solo presentó efectos fungicidas y bactericidas, sino que además, fue un método alternativo para extender la vida de anaquel de zanahorias cortadas, reduciendo su respiración, la pérdida de peso y manteniendo el color.

Perspectivas. Hay un creciente interés por producir alimentos de alta calidad con mayor vida útil y envasados o protegidos con materiales compatibles con el entorno ambiental, bajo este contexto, el estudio y desarrollo de películas y coberturas biodegradables, se ha convertido en una alternativa de investigación de grandes alcances ya que en

una sola formulación se pueden conseguir diferentes propiedades funcionales no sólo para la conservación per se del alimento (películas o recubrimientos activos), sino incluso para otorgarle un valor agregado nutricional con los biopolímeros incorporados como los de tipo proteico y/o con capacidad para prevenir enfermedades crónico degenerativas. Los principales retos a considerar en las investigaciones incluyen desarrollar formulaciones ad hoc para cada tipo de alimento, que posean estabilidad bioquímica, fisicoquímica, antimicrobiana, sin efecto adverso en la calidad sensorial del alimento, ser totalmente inocuas para el consumo humano y que puedan poseer la resistencia mecánica suficiente y costos competitivos para sustituir a los materiales sintéticos actuales y también para eliminar la adición de conservadores químicos y/o sintéticos. Estas son las razones primordiales por las que se le ha llamado la tecnología de los envases del futuro.

LITERATURACITADA

- Arras, G., and Usai, M. 2001. Fungitoxic activity of 12 essential oils against four postharvest citrus pathogens: chemical analysis of *Thymus capitatus* oil and its effect in subatmospheric pressure conditions. *Journal of Food Protection* 64:1025-1029.
- Assis, O., and Pessoa, J. 2004. Scientific note: Preparation of thin films of chitosan for use as edible coatings to inhibit fungal growth on sliced fruits. *Brazilian Journal of Food Technology* 7:17-22.
- Avena-Bustillos, R. J., Krochta, J.M., Salveit, M.E., Rojas-Villegas, R.J., and Saucedo-Perez, J.A. 1994. Optimization of edible coating formulations on zucchini to reduce water loss. *Journal Food Engineering* 21:197-214.
- Avena-Bustillos, R., Krochta, J., and Saltveit, E. 1997. Water vapour resistance of red delicious apples and celery sticks coated with edible caseinate-acetylated monoglyceride films. *Journal of Food Science* 62:351-354.
- Aular, J. 2006. Consideraciones sobre el manejo postcosecha de frutas en Venezuela. In: Salamanca, G. (Ed.) *Anales del Seminario Hortofrutícola Colombiano y I Congreso Iberoamericano sobre Sistemas de Procesado*. Ibaguetolima: 59-62 (Abstract).
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., and Idaomar, M. 2008. Biological effects of essential oils- A review. *Food and Chemical Toxicology* 46:446-475.
- Bautista-Baños, S., Hernandez-Lopez, M., Bosquez-Molina, E., and Wilson L. 2003. Effects of chitosan and plant extracts on growth of *Colletotrichum gloeosporioides*, anthracnose levels and quality of papaya fruit. *Crop protection* 22:1087-1092.
- Bautista-Baños, S., Hernández-López, M., and Bosquez-Molina, 2004. Growth inhibition of selected fungi by chitosan and plant extracts. *Revista Mexicana de Fitopatología* 22:178-186.
- Belalia, R., Grelier, S., Benaissa, M., and Coma, V. 2008. New bioactive biomaterials based on quaternized chitosan. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56:1582-1588.
- Ben-Shalom, N., Ardi, R., Pinto, R., Aki, C., and Fallik E. 2003. Controlling gray mould caused by *Botrytis cinerea* in cucumber plants by means of chitosan. *Crop Protection* 22:285-290.
- Beverly, R. L., Janes, M.E., Prinyawiwatkula, W., and No, H. K. 2008. Edible chitosan films on ready-to-eat roast beef for the control of *Listeria monocytogenes*. *Food Microbiology* 25:534-537.
- Bosquez-Molina, E., Bautista-Baños, S., y Morales-López, J. 2009. Aceites esenciales: bioconservadores con alto potencial en la industria alimentaria. *Industria Alimentaria* 31:12-24.
- Bosquez-Molina, E., Ronquillo-de Jesús, E., Bautista-Baños, S. Verde-Calvo, J.R., and Morales-López, J. 2010. Evaluation of the inhibitory effect of essential oils against *Colletotrichum gloeosporioides* and *Rhizopus stolonifer* in stored papaya fruit and their possible application in coatings. *Postharvest Biology and Technology* 57:132-137.
- Bravin, B., Peressini, D., and Sensidoni, A. 2006. Development and application of polysaccharide-lipid edible coating to extend shelf-life of dry bakery products. *Journal of Food Engineering*. 76:280-290.
- Caccioni, D., Guizzardi, M., Biondi, D., Renda, A., and Ruperto, G. 1998. Relationship between volatile components of citrus fruit essential oils and antimicrobial action on *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum*. *International Journal of Food Microbiology* 43:73-79.
- Cagri, A., Ustunol, Z., and Ryser, E. 2004. Antimicrobial edible films and coatings. *Journal of Food Protection* 67:833-848.
- Chien, P., Sheu, F., and Yang, F. 2007. Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. *Journal Food Engineering* 78:225-229.
- Daferera, D., Ziogas, B., and Polissiou, M. 2000. GC-MS analysis of essential oils from some Greek aromatic plants and their fungitoxicity on *Penicillium digitatum*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48:2576-2581.
- Del-Valle, V., Hernandez-Muñoz, P., Guarda, A., and Galotto, M. 2005. Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia Picus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food Chemistry* 91:751-756.
- Dorman, H., and Deans, S. 2000. Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology* 88:308-316.
- El Ghauth, A., and Arul, J. 1992. Antifungal activity of chitosan on post-harvest pathogens: induction of morphological and cytological alterations in *Rhizopus stolonifer*. *Mycological Research* 96:769-772.
- El Ghauth, A., Arul, J., Asselin, A., and Benhamou, N. 1992a. Antifungal activity of chitosan on postharvest pathogens. Induction of morphological and cytological alterations in *Rhizopus stolonifer*. *Mycological Research* 96:769-779.
- Freepons, D. 1991. Proceedings of the plant growth regulators. *Society American*. 11-19.
- García, M., Martino, M., and Zaritzky, N. 2000. Lipid addition to improve barrier properties of edible starch-based films and coatings. *Journal of Food Science* 65:941-

- 947.
- Gontard, R., Thibault R., Cuq, B., and Guilbert, S. 1996. Influence of relative humidity and film composition on oxygen and carbon dioxide permeabilities of edible films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44:1064-1069.
- González-Aguilar, G., Monroy-García, I., Goycoolea-Valencia, F., Díaz-Cinco, M., y Ayala-Zavala. 2005. Cubiertas comestibles de quitosano. Una alternativa para prevenir el deterioro microbiano y conservar la calidad de papaya fresca cortada. Simposium nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas. Vegetales frescos cortados 1:121-133. (Abstract).
- Guynot, M., Marín, S., Setó, L., Sanchis, V., and Ramos, A. 2005. Screening for antifungal activity of some essential oils against common spoilage fungi of bakery products. *Food Science and Technology International* 11:25-32.
- Hammer, K., Carson, C., and Riley, T. 1999. Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *Journal of Applied Microbiology* 86:985-990.
- Hernández, M. 2002. Uso potencial del quitosano y extractos vegetales en el control de *Colletotricum gloeosporioides*, *Rhizopus stolonifer*, *Penicillium digitatum* y *Fusarium oxysporum* de la papaya (*Carica papaya*). Tesis de Maestría en Ciencias. CEPROBI-IPN. Yautepec, Morelos, México. 101 p.
- Jiang, Y., Li, J., and Jiang, W. 2005. Effects of chitosan coating on shelf life of cold-stored litchi fruit at ambient temperature. *Food Science and Technology* 38:757-761.
- Kester, J., and Fennema, O. 1986. Edible films and coatings: A review. *Food Technology* 40:47-59.
- Koelsch, C. 1994. Edible water vapour barriers properties and promise. *Trends in Food Science and Technology* 51:76-81.
- Lim, S., and Hudson, S. 2004. Synthesis and antimicrobial activity of a water-soluble chitosan derivative with a fiber-reactive group. *Carbohydrate Research* 33:313-319.
- Lo Cantore, P., Iacobellis, N., De Marco, A., Capasso, F., and Senatore, F. 2004. Antibacterial activity of *Coriandrum sativum* L. and *Foeniculum vulgare* Miller Var. *vulgare* (Miller) essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52:7862-7866.
- Martin-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R., and Baldwin, A. 2005. Conservación mediante recubrimientos comestibles. In: Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. González-Aguilar, G; Gardea, A.; Cuamea-Navarro, F. Editores. Centro de Investigaciones en Alimentación y Desarrollo A.C. Hermosillo, Sonora, México p. 558.
- Mc Hung, T., Huxsoll, C., and Krochta, J. 1996. Permeability of fruit puree edible films. *Journal of Food Science* 61:88-91.
- McHung, T., and Senesi, E. 2000. Apple Wraps: A novel method to improve the quality and extend the shelf life of fresh-cut apples. *Journal of Food Science* 65:480-485.
- Meng, X., L, B., Liu, J., and Tian, S. 2008. Physiological responses and quality attributes of table grape fruit to chitosan preharvest spray and postharvest coating during storage. *Food Chemistry* 106:501-508.
- Meza, A. 2006. Desarrollo de películas o recubrimientos comestibles con potencial para el recubrimiento de frutas frescas. Proyecto de especialización en biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana- Iztapalapa 76p.
- Min, S., and Krochta, J. 2005. Inhibition of *Penicillium commune* by edible whey protein films incorporating lactoferrin, lactoferrin hydrolysate, and lactoperoxidase systems. *Food Microbiology and safety* 70:87-94.
- Mishra, A., and Dubey, N. 1994. Evaluation of some essential oils for their toxicity against fungi causing deterioration of stored food commodities. *Applied and Environmental Microbiology* 60:1101-1105.
- Monedero, F. M., Fabra, M. J., Talens, P., and Chiralt, A. 2009. Effect of oleic acid-beeswax mixtures on mechanical, optical and water barrier properties of soy protein isolate based films. *Journal of Food Engineering* 91:509-515.
- Mytle, N., Anderson, G., Doyle, M., and Smith, M. 2006. Antimicrobial activity of clove (*Syzygium aromaticum*) oil in inhibiting *Listeria monocytogenes* on chicken frankfurters. *Food Control* 17:102-107.
- Nan, L., Xi-Guang, C., Hyun-Jin, P., Chen-Guang, L., Cheng-Sheng, L., Xiang-Hong, M., and Le-Jun, Y. 2006. Effect of MW and concentration of chitosan on antibacterial activity of *Escherichia coli*. *Carbohydrate polymers* 64:60-65.
- Nussinovitch, A., and Lurie, S. 1995. Edible coatings for fruits and vegetables. *Postharvest News and Information* 6:53-57.
- O'Bryan, C., Crandall, P., Chalova, V., and Ricke, S. 2008. Orange essential oils antimicrobial activities against *Salmonella* spp. *Journal of Food Science* 73:264-267.
- Ogden, I., Rosa, E., Wyss, G., and Brandt, K. 2005. Seguridad y contaminación. Información destinada al consumidor para el control, de la calidad y la seguridad en las cadenas de producción orgánica. Research Institute of Organic Agriculture FiBL and University of Newcastle. Australia. 4 p.
- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., and Martin-Belloso, O. 2008. Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of fresh-cut pears. *Postharvest Biology and Technology* 50:87-94.
- Palma-Guerreo, J., Huang, I., Jansson, H., Salinas, J., Lopez-Llorca, L. and Read, N. 2009. Chitosan permeabilizes the plasma membrane and kills cells of *Neurospora crassa* in an energy dependent manner. *Fungal Genetics and Biology* 46:585-594.
- Palma-Guerreo, J., Jansson, H., Salinas, J., and Lopez-Llorca, L. 2008. Effect of chitosan on hyphal and spore germination of plant pathogenic and biocontrol fungi. *Journal of applied Microbiology* 104:541-553.
- Palma-Guerreo, J., Lopez-Jimenez, J., Pérez-Berna, A., Huang, I., Jansson, H., Salinas, J., Villalain, J., Read, N., and Lopez-Llorca, L. 2010. Membrane fluidity determines sensitivity of filamentous fungi to chitosan. *Molecular Microbiology* 75:1021-1032.
- Pérez-Gago, M., and Krochta, J. 2002. Drying temperature effect on water vapour permeability and mechanical

- properties of whey protein-lipid emulsion films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49:2308-2312.
- Pérez-Gago, M., Rojas, C., and Del Río, M. 2003. Effect of hydroxypropyl methylcellulose-beeswax edible composite coating on postharvest quality of "Fortune" Mandarins. *Acta Horticulturae* 599:583-587.
- Pérez-Gago, M., Serra, M., Alonso, M., Mateos, M., and del Río, M. 2005. Effect of whey protein-and hydroxypropyl methylcellulose-based edible composite coating on color change of fresh-cut apples. *Postharvest Biology and Technology* 36:77-85.
- Pérez-Gago, M., Serra, M., Alonso, M., and del Río, M. 2006. Color change of fresh-cut apples coated with whey protein concentrate-based edible coating. *Postharvest Biology and Technology* 39: 84-92.
- Plotto, A., Roberts, R., and Roberts, D. 2003. Evaluation of plant essential oils as natural Postharvest disease control of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Acta Horticulturae* 628:737-745.
- Ponce, A., Roura, S., del Valle, C., and Moreira, M. 2008. Antimicrobial and antioxidant activities of edible coatings enriched with natural plant extracts: *In vitro* and *in vivo* studies. *Postharvest Biology and Technology* 49:294-300.
- Pranoto, Y., Rakshit, S., and Salokhe, V. 2005. Enhancing antimicrobial activity of chitosan films by incorporating garlic oil, potassium sorbate and nisin. *Food Science and Technology* 38: 859-865.
- Qi, L., Xu, Z., Jiang, X., Hu, C., and Zou, X. 2004. Preparation and antibacterial activity of chitosan nanoparticles. *Carbohydrate Research* 33:2693-2700.
- Quezada, J., Díaz, M.; Gutiérrez, M., and Debeaufort, F. 2003. Application of edible coatings to improve shelf-life of mexican guava. *Acta Horticulturae* 599:589-594.
- Raybaudi-Massilia, R., Mosqueda-Melgar, J., and Martín-Belloso, O. 2008. Edible alginate-based coating as carrier of antimicrobials to improve shelf-life and safety of fresh-cut melon. *International Journal of Food Microbiology* 121:313-327.
- Ribeiro, C., Vicente, A., Teixeira, J., and Miranda, C. 2007. Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. *Postharvest Biology and Technology* 44:63-70.
- Robson, M. G., Ferreira, N.F., Alvarenga, D., and Almeida, L. 2008. Characterization and effect of edible coatings on minimally processed garlic quality. *Carbohydrate polymers* 72: 403-409.
- Rojas, M. 2006. Recubrimientos comestibles y sustancias de origen natural en manzana fresca cortada: Una nueva estrategia de conservación. Tesis de Doctor. Universidad de Lleida. España. 76 p.
- Rojas-Graü, M., Raybaudi-Massilia, R., Soliva-Fortuny, R., Avena-Bustillos, R., McHugh, T., and Martín-Belloso, O. 2007a. Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples. *Postharvest Biology and Technology* 45:254-264.
- Rodríguez, S., Albertengo, L., Debbaudt, A., y Argullo, E. 2005. Uso de quitosano en alimentos *In: Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales* frescos cortados. González-Aguilar, G; Gardea, A.; Cuamea-Navarro, F. Editores. Centro de Investigaciones en Alimentación y Desarrollo A.C. Hermosillo, Sonora, México p. 558.
- Romanazzi, G., Nigro F., Ippolito A., Di Venere D., and Salerno, M. 2002. Effects of pre- and postharvest chitosan treatments to control storage grey mold of table grapes. *Journal of Food Science* 67:1862-1867.
- Ronquillo, E. 2007. Evaluación del potencial antimicrobiano de películas comestibles con aceites esenciales *in vitro* e *in situ*. Tesis de Maestro en Ciencias. Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa, Iztapalapa, D. F., México. 46 p.
- Sánchez, D.D. 2008. Cambios citológicos y bioquímicos inducidos por el quitosano en el patosistema *Alternaria alternata*- jitomate. Tesis de Doctorado en Ciencias. CEPROBI-IPN. Yautepec, Morelos, México. 119 p.
- Sánchez-Domínguez, D., Bautista-Baños, S., and Castillo, P. 2007. Efecto del quitosano en el desarrollo y morfología de *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. *Anales de Biología* 29: 23-32.
- Simpson, B. K., Cagne, N., Ashie, I. N., and Noroozi, E. 1997. Utilization of chitosan for preservation of raw shrimp *Pandalus borealis*. *Food Biotechnology* 11:25-44.
- Smith-Palmer, A., Stewart, J., and Fyfe, L. 1998. Antimicrobial properties of plant essential oils and essences against five important food-borne. *Letters in Applied Microbiology* 26:118-122.
- Smith-Palmer, A., Stewart, J., and Fyfe, L. 2001. The potential application of plant essential oils as natural food preservatives in soft cheese. *Food Microbiology* 18:463-470.
- Sothornvit, R., and Rodsamram, P. 2008. Effect of a mango film on quality of whole and minimally processed mangoes. *Postharvest Biology and Technology* 47:407-415.
- Su, K., Hong, N., and Witoon, P. 2007. Effect of molecular weight, type of chitosan, and chitosan solution pH on the shelf-life and quality of coated eggs. *Journal of Food Science* 72:44-48.
- Tanada-Palmu, P., and Grosso, C. 2005. Effect of edible wet gluten-based films and coating on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*) quality. *Postharvest Biology and Technology* 36:199-208.
- Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A., and González-Martínez, C. 2006. Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan-oleic acid edible coatings. *Postharvest Biology and Technology* 41:164-171.
- Viña, S., Mugridge, A., García, M., Ferreyra, R., Martino, M., Chaves, A., and Zaritzky, N. 2007. Effects of polyvinylchloride films and edible starch coatings on quality aspects of refrigerated *Brussels sprouts*. *Food Chemistry* 103: 701-709.
- Wilson, L. 1997. Rapid evaluation of plant extracts and essential oils for antifungal activity against *Botrytis cinerea*. *Plant disease* 81:204-210.
- Yang, V., and Clausen, A. 2007. Antifungal effect of essentials on southern yellow pine. *International Biodeterioration*

and Biodegradation 59:302-306.

Yuste, J., and Fung D. Y. C. 2002. Inactivation of *Listeria monocytogenes* Scott A 49594 in apple juice supplemented with cinnamon. Journal of Food Protection 65: 1663-1666.

Zhang, D., and Quantick, P. 1997. Effects of chitosan coating on enzymatic browning and decay during postharvest store of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit. Postharvest Biology and Technology 12:195-202.