

RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES CON MATERIALES MICRO/NANOESTRUCTURADOS PARA LA CONSERVACIÓN DE FRUTAS Y VERDURAS: UNA REVISIÓN

EDIBLE COATINGS WITH MICRO/NANOSTRUCTURED MATERIALS FOR FRUITS AND VEGETABLES PRESERVATION: A REVIEW

Alfredo Rosero^{1,2}, Patricio Espinoza-Montero^{1*} y Lenys Fernández¹

Recibido: 16 de julio 2020 / Aceptado: 30 de octubre 2020

DOI: 10.26807/ia.vi.180

Palabras claves: Conservación postcosecha, electrohilado, membranas fibrosas, membranas poliméricas, Nanotecnología, recubrimiento comestible

Key words: Electrospinning, edible coating, fibrous membranes, Nanotechnology, polymeric membranes, post-harvest preservation

RESUMEN

Los recubrimientos comestibles para frutas y verduras han logrado prolongar la vida útil de los alimentos postcosecha. Dichos recubrimientos a base polisacáridos o proteínas, que incorporan en su formulación lípidos y plastificantes, sirven de barrera para intercambio gaseoso, protegen a los alimentos debido a

¹ Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Escuela de Ciencias Químicas, Quito, Ecuador (* correspondencia: pespinoza646@puce.edu.ec; lmfernandez@puce.edu.ec)

² Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Químicas, Quito, Ecuador (alfredrosoro2012@hotmail.com).

sus propiedades mecánicas, reducen pérdidas nutricionales y organolépticas, no alteran la composición fisicoquímica y adicionan protección antimicrobiana. Actualmente, los recubrimientos comestibles están formados a base de compuestos bifásicos o trifásicos combinados en una matriz polimérica que potencian, funcionalizan o adicionan nuevas propiedades al recubrimiento, que, de la mano con el uso de la nanotecnología en la industria alimentaria han permitido obtener nuevos recubrimientos comestibles al incorporar a la matriz polimérica compuestos antimicrobianos, antioxidantes y con potencial bioactivo. Asimismo, el uso de métodos de homogenización, como microfluidización y ultrasonificación, permiten obtener nanoemulsiones con tamaño de gota nanométrica y uniformes, lo que brinda al recubrimiento nuevas características que con el uso del electrospinning (electrohilado), como método físico de aplicación del recubrimiento, puede devenir en nanofibras con alto potencial para el control microbiológico, organoléptico y nutricional, aplicable para la conservación de frutas y verduras. Este artículo revisa el uso de algunas innovaciones en recubrimientos comestibles con material nanoestructurado para la conservación de frutas y verduras.

ABSTRACT

Edible coatings, used as a postharvest preservation technique for fruits and vegetables, is considered safe and ecological, which offers advantages for the preservation and shelf life of food. Edible coatings based on polysaccharides or proteins, which incorporate lipids and plasticizers in their formulation, serve as a barrier for gas exchange, protect foods due to their mechanical properties, reduce nutritional and organoleptic losses, do not alter the physical-chemical composition and add antimicrobial protection. Currently, edible coatings are made of biphasic or triphasic compounds, combined in a polymeric matrix, which potentiate, functionalize or add new properties to coatings, which together with the use of nanotechnology in the food industry have allowed to obtain new coatings edible, by incorporating antimicrobial, antioxidant and bioactive potential compounds into the polymeric matrix. Additionally, the use of homogenization methods such as microfluidization and ultrasonication allow to ob-

tain nanoemulsions with an uniform and nanometric droplet size, providing the coating with new characteristics. Being used with electrospinning as a physical method of coating application, it is possible to obtain nanofibers with high potential for microbiological, organoleptic and nutritional control, useful to preserve fruits and vegetables. This article reviews recent development at nanotechnology innovations related to edible coatings.

INTRODUCCIÓN

El cambio de preferencias de los consumidores ha provocado que las frutas y verduras cobren importancia en su dieta. La Organización Mundial de la Salud sugiere el consumo mínimo diario de 400 g entre frutas y verduras, que contribuirán a la prevención de enfermedades crónicas, deficiencias de micronutrientes y riesgos asociados con la obesidad y prevención de cáncer (Freire et al., 2014; González, 2018; INEC, 2012). En el Ecuador, el consumo aproximado de frutas y verduras es de 183 g al día (INEC, 2012), a pesar que las frutas y verduras pueden poseer minerales, vitamina C, proteínas, antioxidantes, flavonoides, carotenoides y demás compuestos que contribuyen a la nutrición y salud de las personas (Brasil y Siddiqui, 2018).

Las frutas y verduras son cultivos susceptibles a daños mecánicos y microbiológicos, con pérdidas entre el 40 al 50 % durante el periodo de conservación y almacenamiento postcosecha (Singh & Sharma, 2018). Los daños mecánicos y podredumbres ocasionados por microorganismos, limitan su tiempo de vida útil. Su alto contenido de humedad (70 % - 95 % de agua), su tasa de respiración y textura favorecen al crecimiento y desarrollo de microorganismos como *Alternaria*, *Aspergillus*, *Colletotrichum*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Mucor*, *Sclerotinia*, *Erwinia* y *Pseudomonas* (Sharma, Singh, y Singh, 2009; Singh & Sharma, 2018).

Para combatir las pérdidas, se aplica fungicidas químicos de síntesis, pero su residualidad, resistencia del pató-

geno, impacto ambiental y afecciones al consumidor, restringen su uso (Bettioli, 2006; Brasil & Siddiqui, 2018). Ante esto, surge la necesidad del uso de recubrimientos comestibles que conserven la calidad de las frutas y verduras, permitan la incorporación en la matriz polimérica de antioxidantes, aromatizantes, colorantes, inhibidores de crecimiento, compuestos antimicrobianos, sirvan

de barrera contra la humedad e intercambio gaseoso, proporcionen brillo a los productos recubiertos y en cierta medida pueden reemplazar a los plásticos tradicionales de empaque, por ser compuestos biodegradables, disminuyendo el problema de la generación de residuos (Kumar & Bhatnagar, 2018; Valencia-Chamorro, Palou, Delfío & Pérez-Gago, 2011).

MATERIALES Y MÉTODOS

Recubrimientos comestibles

Los recubrimientos comestibles son capas delgadas elaboradas a partir de diferentes tipos de materiales poliméricos, aplicados de forma directa sobre el alimento (De Ancos, González-Peña, Colina-Coca & Sánchez-Moreno, 2015). Esta aplicación superficial se realiza de forma tradicional por métodos de inmersión, rociándolos directamente o cepillándolos con polímeros considerados como seguros (GRAS) por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés) y que cumplen con las regulaciones establecidas para el

alimento (Dhall, 2013; Valencia-Chamorro et al., 2011).

El uso del término recubrimiento comestible data desde el siglo XII: se preservaban naranjas y limones mediante recubrimientos a base de cera en China (Ciolacu, Nicolau & Hoorfar, 2013). En la década de 1930, el uso de cera y agua, aplicados en frutas era común, con la finalidad de aumentar el brillo y color (Kumar & Bhatnagar, 2018).

En la actualidad, el uso de los recubrimientos comestibles es muy amplio. Sirve como barrera contra el agua, humedad, O₂ y CO₂, evita pér-

didadas de peso y conserva la calidad nutricional y organoléptica del alimento (Khorram, Ramezani & Hashem, 2017; Nawab, Alam & Hasnain, 2017; Sucheta, Chaturvedi, Sharma & Kumar, 2019). Además, reduce la tasa de respiración y disminuye la producción de etileno, debido a que evita el intercambio gaseoso, lo que provoca que las frutas y verduras cambien a una respiración anaeróbica parcial utilizando 1-3 % oxígeno. Con menos oxígeno la

producción de etileno se interrumpe y las frutas conservarán su firmeza, fresca y permitirá extender el tiempo de vida útil de la fruta o vegetal (Farina et al., 2020; Muthmainah, Suratman & Solichatun, 2019; Valencia-Chamorro et al., 2011). Además, permite controlar el pardeamiento y oxidación de la fruta (Feng et al., 2018) y ayuda al control e inhibición de microorganismos patógenos (Li et al., 2019; Medina et al., 2019; Ramadan & Moersel, 2009).

RESULTADOS

Recubrimientos comestibles en la actualidad

Los biopolímeros usados para la elaboración de los recubrimientos comestibles son de diversos tipos, los cuales se pueden clasificar en tres grupos: hidrocoloides, lípidos, y mezclas bifásicas y trifásicas.

Hidrocoloides.- Son polímeros hidrofílicos de origen animal, vegetal o sintético. Poseen un grupo hidroxilo y pueden ser poli-electrolitos (De Ancos et al., 2015; Raghav, Agarwal, Saini, Vidhyapeeth & Vidhyapeeth, 2016). Su uso proporciona buenas

propiedades mecánicas, sirve de barrera para el O_2 y CO_2 , ayuda a la estabilidad, debido a que son gelificantes o espesantes, lo que aumenta la viscosidad de la fase continua y reduce el movimiento cinético, lo que permite disminuir la tasa de floculación y coalescencia del recubrimiento (Dhanapal, Rajamani & Banu, 2012). Los principales hidrocoloides pueden ser: polisacáridos como la celulosa, almidón, quitosano, alginales, carragenatos, gelanos y pectinas de frutas; proteínas de origen animal como gelatinas, caseínas, albúminas o suero de leche; o de origen vegetal como la zeína y soja.

Lípidos.- Debido a su propiedad hidrofóbica, los recubrimientos a base de lípidos son buenas barreras para la pérdida de agua y humedad y proporcionan brillo al alimento recubierto (Dhall, 2013; Dhanapal et al., 2012).

Mezclas.- Esta película debe ser heterogénea y se aplica en forma de emulsión, suspensión o dispersión y su método de aplicación afecta a las propiedades de barreras que se desea obtener (Dhanapal et al., 2012; Khin, Zhou & Perera, 2005).

Uno de los principales compuestos usados en la elaboración de recubrimientos comestibles bifásicos o trifásicos es el quitosano, debido a que posee naturaleza policatiónica, puede utilizarse para la incorporación y liberación lenta de componentes activos (González-Saucedo et al., 2019; Reyes-Avalos et al., 2019). Además, posee biocompatibilidad con compuestos como almidones y plastificantes (eugenol), así que se obtiene películas transparentes, incoloras y con flexibilidad como resultado de la interacción y dispersión del eugenol en la matriz polimérica formada (Figura 1a). Se producen recubrimientos

comestibles biodegradables con efecto antimicrobiano en el crecimiento de *E. coli* y *S. aureus*, con inhibición en el crecimiento de organismos que se encontraban en contacto directo con los sitios activos del quitosano (Figura 1b) (Zheng et al., 2019). Además, estos recubrimientos presentan características antioxidantes y estructurales y su aplicación como recubrimiento comestible es muy amplio, a pesar de que poseen una permeabilidad selectiva a gases (CO_2 y O_2) y vapor de agua (Crini & Hatchett, 2019; Elsabee & Abdou, 2013; Muthmainnah et al., 2019); potencialmente se usa en frutas y verduras como: fresas, pepinos, pimientos, manzanas, duraznos, peras, plátanos, mangos y otros frutos y verduras de alta susceptibilidad (Dhall, 2013). Su uso no se limita a ser barrera permeable del CO_2 u O_2 , debido a que permite la retención de compuestos volátiles como hexanal, octanal y 1-octen-3-ol (Elsabee & Abdou, 2013; Yu et al., 2017). Su actividad antimicrobiana, le permite inhibir el crecimiento de *E. coli* y *S. aureus* (Bonilla y Sobral, 2016; Mokhtari-Hosseini, Hatamian-Zarmi, Mohammadnejad & Ebrahimi-Hosseinzadeh, 2018), *Botrytis cinérea*

(Badawy, Rabea, El-Nouby, Ismail & Taktak, 2017), *Pseudomonas* y *Ganoderma tsugaue* (Singh, Shitiz & Singh, 2017), *Rhizoctonia solani*, *Fusarium*

oxysporum, *Collectotrichum acutatum* y *Phytophthora infestans* en vegetales (Divya, Vijayan & Jisha, 2018).

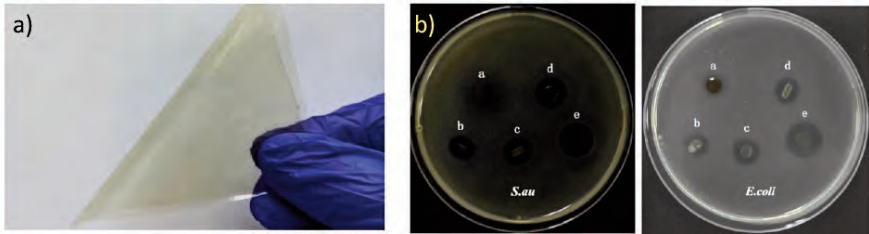


Figura 1. Membrana comestible a base de Quitosano- almidón de bellota y eugenol: a) Membrana comestible, y b) efecto antifúngico (*S. aureus* y *E.coli*)
(Zheng et al., 2019)

Otro polisacárido utilizado ampliamente en la elaboración de recubrimientos comestibles son las gomas, debido a su alta capacidad de hidratarse en presencia de agua, formar geles y sistemas de emulsiones estables, característica obtenida por su alta viscosidad (Kumar & Dubey, 2020; Tahir et al., 2019). Los recubrimientos se caracterizan por ser sostenibles, biodegradables y bioseguros, debido a que son químicamente inertes, de bajo costo, no presentan toxicidad, son inodoras y de fácil disponibilidad (Alizadeh-Sani, Ehsani, Moghaddas & Khezerlou, 2019).

La eficacia del uso de recubrimientos a base de goma arábiga se ha demostrado al emplear cantidades desde el 10 % (p/p) aplicadas en mangos, donde su uso redujo la pérdida de peso, retardó el incremento de sólidos solubles totales e incrementó el contenido de β carotenoides, lo que extendió el tiempo vida útil de la fruta hasta en 15 días (Lelgut, Masani, Matofari & Mulwa, 2020). Además, se han obtenido efectos antifúngicos contra *Bacillus cereus* y *E. coli* al aplicar quitosano-goma guar- proteína (Dhumal, Pal & Sarkar, 2019). Por tanto, su uso como barrera comestible se está aplicando en frutas con la

finalidad de extender su vida útil sin producir cambios en las propiedades organolépticas ni nutricionales de los alimentos recubiertos (Phuoc, Thinh, Van, Thanh & Kim, 2019). No obstante, puede resultar en un efecto visual significativo, dependiendo de los

compuestos que conforman la matriz. La membrana puede tomar coloraciones distintas (Figura 2), que pueden ser usadas dependiendo de la fruta o verdura sobre la que se desee aplicar (Dhumal et al., 2019).

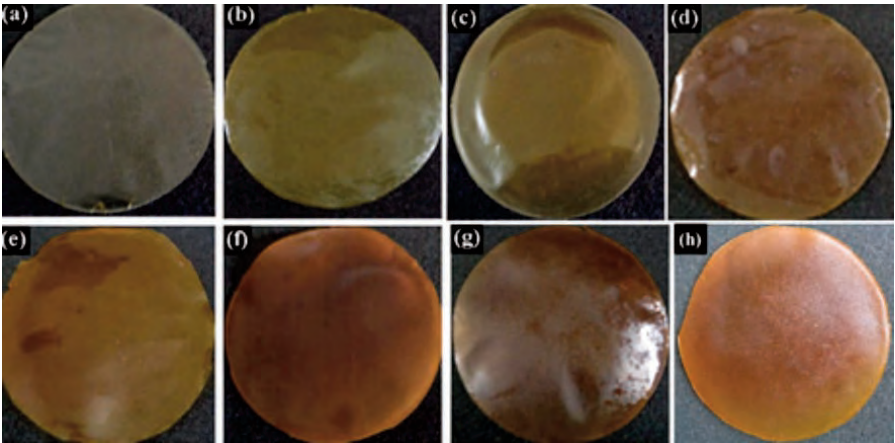


Figura 2. Pictograma de las membranas comestibles trifásicas a base de quitosano-goma guar- otros compuestos: a) sin aceite esencial, b) eugenol (0,5 %), c) carvacrol (0,75 %), d) citral (1,0 %), e) eugenol (0,5 %) - carvacrol (0,75 %), f) carvacrol (0,75 %)-citral (1,0 %), g) eugenol (0,5 %)-citral (1,0 %) y h) eugenol (0,5 %)-carvacrol (0,75 %) - citral (1,0 %)

(Dhumal et al., 2019)

En cuanto, al uso de recubrimientos comestibles a base a proteína, sirven como barreras para el CO_2 , O_2 y lípidos. Además, proporcionan protección contra la pérdida de humedad, aroma y mantienen la integridad del

alimento debido a su resistencia mecánica en uso en manzanas, peras, fresas, kiwi, zanahorias, tomates, pimientos, papas y zucchini (Ciolacu et al., 2013; N. Kumar & Dubey, 2020).

La eficiencia de estos recubrimientos se basa en la interacción de cadena-cadena de la proteína: proteínas con cadenas largas con mayor interacción producen recubrimientos de alta resistencia mecánica y poca permeabilidad a vapores, líquidos y gases (Hassan, Chatha, Hussain, Zia & Akhtar, 2018). Por lo tanto, se han estudiado diferentes tipos de proteínas, tanto de origen vegetal como la zeína de maíz, que se caracteriza por formar películas transparentes con alta adherencia, que no afectan al color y brindan brillo al alimento, son termoplásticas e insolubles en agua, soluble en etanol al 70-80 %, resisten al ataque bacteriano y son excelentes barreras para el intercambio gaseoso, especialmente del O_2 a temperaturas entre 7 y 35 °C (Hassan et al., 2018; N. Kumar & Dubey, 2020; Mohamed, El-Sakhawy & El-Sakhawy, 2020; Raghav et al., 2016). Inhibe el crecimiento de bacterias Gram positivas como *Listeria monocytogenes* (Gao et al., 2017). Su uso en combinación con almidón de maíz le brinda mayor espesor, resistencia al alargamiento, no afecta al color del alimento y posee capacidad antioxidante (Zuo, Song, Chen & Shen, 2019). Permite extender el tiempo de vida útil de to-

mates, mangos, peras y manzanas sin alteración de sus propiedades organolépticas, debido a la inhibición microorganismos aerobios y reducción de cambios oxidativos (Arcan, Boyacı & Yemenicioğlu, 2017).

Además, se ha reportado el uso de gluten de trigo en combinación con glicerol o sorbitol, que permite extender el tiempo de vida útil de tomates por 20 días debido a su eficiencia como barrera en el intercambio gaseoso de CO_2 y O_2 , y control e inhibición enzimática (Nawab et al., 2017). Otra proteína utilizada comúnmente son las gelatinas. En este campo se ha estudiado membranas a partir de gelatina como barrera en contra de la migración de O_2 , luz y aceite (Espino-Manzano et al., 2020; Ramziia, Ma, Yao, Wei & Huang, 2018). Su aplicación es limitada debido a su baja protección al vapor de agua. Además, por razones sociales y de salud, el uso de gelatinas de origen bovinas y porcinas es limitado. Ante esto, surge como alternativa el uso de gelatina de origen marino, lo que permite obtener membranas con mayor resistencia al alargamiento, alta solubilidad en el agua y permeabilidad a la humedad (Sabbah et al., 2018).

Se debe considerar que el contenido de proteína afecta al espesor del recubrimiento. A mayor concentración de proteína, mayor es el espesor; y con ello, mayores son sus propiedades mecánicas, como resistencia a la tracción y alargamiento, pero su permeabilidad al vapor de agua disminuye (Mohamed et al., 2020). Para evitar esta deficiencia, se han usado membranas a base de quitosano con gelatina de pescado e incorporado agentes antimicrobianos como la proclianidina, con el fin de usarlo como una alternativa de empaque activo y extender el tiempo de vida en anaquel de los alimentos (Ramziia et al., 2018). Además, el uso conjunto de gelatina y zeína han permitido encapsular compuestos polifenólicos con una conservación del 88 % del antioxidante, lo que permite su potencial uso en diferentes tipos de frutas y vegetales (Torkamani, Syahariza, Norziah, Wan & Juliano, 2018).

En cuanto al uso de lípidos en recubrimientos comestibles, se debe considerar que los lípidos no forman películas cohesivas independientes, debido a su baja capacidad de resistencia mecánica (Henriques, Gomes & Pereira, 2016). Por tanto, surge la

necesidad de incluir proteínas y polisacáridos en las matrices de los recubrimientos con el fin de proporcionar brillo, evitar la migración de humedad y reducir la permeabilidad al agua, por su naturaleza apolar (Henriques et al., 2016; Kumar & Dubey, 2020; Mohamed et al., 2020).

En recubrimientos comestibles se usa comúnmente ceras (cera de abeja, carnauba, candelilla, parafinas); resinas (shellac), aceites, ácidos grasos, triglicéridos y tensoactivos (Ciolacu et al., 2013; Mohamed et al., 2020). Por último se debe considerar que al incorporar aceites esenciales en la matriz polimérica de los recubrimientos, se ha obtenido actividad antimicrobiana asociada a la presencia de compuestos volátiles, en especial a los terpenos, terpenoides y compuestos aromáticos (Mohamed et al., 2020).

El uso de los aceites esenciales en los recubrimientos comestibles puede tener influencia en el sabor del producto, tiempo de vida útil y beneficios antimicrobianos, dependiendo del tipo de aceite que se use, el método de aplicación y cantidad que de aceite que se incorpore a la emulsión

(De Souza, Lundgren, De Oliveira, Berger & Magnani, 2019; Ju et al., 2019).

Usos recientes de aceites esenciales en recubrimientos comestibles se presentan a continuación: al usar aceite de menta (*Mentha arvensis*) y gelatina, se obtiene recubrimientos con mayor grosor, opacos y con propiedades mecánicas y de barrera modificadas, estables térmicamente y con efecto antifúngico sobre *Botrytis cinérea* y *Rhizopus stolonifer* (Scartazzini et al., 2019), al usar aceite de tomillo, encapsulado con lecitina, en emulsiones de almidón-gelatina, aplicado como recubrimiento en manzanas se reduce la incidencia de *Alternaria alternata* y *Botrytis cinérea* (Sapper, Talens, y Chiralt, 2019). Emulsiones formadas por quitosano enriquecido con *Zataria multiflora Boiss* y *Bunium persicum boiss* inhiben el crecimiento

de *Listeria monocytogenes*, *Pseudomonas* spp, *Enterobacteriaceae*, mohos y levaduras (Keykhosravy, Khanzadi, Hashemi & Azizzadeh, 2020). En fresas, recubrimientos comestibles a base a pectina, celulosa y aceite esencial de lemongrass (*Cymbopogon citratus*) son buenas barreras frente al agua y la humedad: permiten mantener la textura y propiedades físicas y químicas de la fresa durante ocho días de almacenamiento (Vieira et al., 2019). Además, el uso de alginato y aceites de orégano y tomillo pueden ser aplicados en papaya fresca cortada (Tabassum & Ali, 2020), mientras que como fruta fresca, el uso de recubrimientos a base de almidón de yuca (*Manihot esculenta*) con aceite esencial de clavo de olor (*Syzygium aromaticum*) permite una conservación de la papaya sin cambios físico-químicos (Santos et al., 2020)

DISCUSIÓN

Innovación en la aplicación de los recubrimientos comestibles

Un recubrimiento comestible tiene funcionalidad y efectividad cuando tiene la capacidad de adherirse com-

pletamente al producto donde es aplicado. Esto dependerá del método de aplicación del recubrimiento, la capacidad de adherencia, la difusión de compuestos, peso, hidrofobicidad y polaridad de los compuestos e in-

teracción en las matrices de los recubrimientos (Ciolacu et al., 2013; Kumar & Dubey, 2020; Mohamed et al., 2020; Raghav et al., 2016).

Conocer la forma de aplicación de los recubrimientos es necesario para entender su aplicabilidad y potenciales usos. Se pueden aplicar recubrimientos comestibles por métodos de inmersión, cepillado, extrusión y pulverización (Raghav et al., 2016).

Con el avance de la nanotecnología, los recubrimientos comestibles avanzaron hacia el uso de nanoemulsiones conformadas con nanopartículas, que proporcionan nuevas características y propiedades a los recubrimientos (Kumar & Dubey, 2020). La nanotecnología, a través de la nanoestructura, permite que los recubrimientos puedan ser caracterizados y fabricados a base de estructuras biológicas y no biológicas con tamaños inferiores a los 100 nm, lo que permite el manejo de materiales con dimensiones a escala nanométrica. Se logra entonces incorporar metales micro y nano estructurados a la matriz polimérica, lo que mejora las propiedades de barrera de las películas, su fotodegradación, y aumenta su

actividad antimicrobiana (Solano-Doblado, Alamilla-Beltrán & Jiménez-Martínez, 2018) Esto permite la incorporación de metales nanoestructurados, como el óxido de zinc, cobre y titanio a recubrimientos y películas. Estos metales son usados debido a sus características de acarrear de oxígeno y oxidación del etileno, lo que permite extender el tiempo de vida útil de frutas y verduras (Solano-Doblado et al., 2018).

El uso de dióxido de titanio (TiO_2) incorporado a recubrimientos a base de quitosano ha permitido obtener recubrimientos con reducida rugosidad, estabilidad térmica y con efectos inhibidores ante el crecimiento de *E. coli* y *S. Aureus*. Esto se debe a los efectos sinérgicos que presentan los aminocarbonos que contiene el quitosano que, junto con las especies reactivas de oxígeno producidas por el TiO_2 , actúa sobre la superficie de las células bacterianas, atacando a la membrana externa de microorganismo, lo que causa daño a su ADN, procesos de transporte, oxidación o destrucción microbiana (Xing, Li, et al., 2020). Un efecto similar se observa en el trabajo de Xing, Yang et al. (2020), donde mangos recubiertos de

quitosano con TiO_2 modificado por medio de laurato de sodio, permitió la reducción del 14,49 % del daño ocasionado por descomposición de la fruta, redujo la tasa de respiración e hizo que su pico apareciera cinco días después. Esto permitió que la fruta mantuviera su composición nutricional, disminuyera pérdidas de fenoles y flavonoides, lo que prolongó el tiempo de vida útil de los mangos hasta en 15 días a conservación de 13 °C (Xing, et al., 2020).

Otro de los metales nano estructurados usados para la elaboración de recubrimientos comestibles es el óxido de zinc (ZnO), que en recubrimientos comestibles, a base de quitosano o alginato, permite prolongar el tiempo de vida útil de guayabas de 7 días a 20 días, inhibe la aparición de pudrición por efecto microbiano, no afecta la coloración externa y permite conservar la calidad de fruta durante el almacenamiento postcosecha (Jarma et al., 2020). Esto se debe a que el ZnO mejora las propiedades mecánicas y de barrera de vapor de agua de los biopolímeros, lo que crea una atmósfera modificada entre la fruta y el recubrimiento, que reduce la tasa de respiración y transpiración de la

fruta. Esto evita el intercambio gaseoso y prolonga su tiempo de vida útil (Jarma et al., 2020).

Por otro lado, el uso de nanoemulsiones a base de caseinato de sodio y aceite esencial de jengibre brinda un control antimicrobiano, actividad antioxidante, mayor durabilidad, flexibilidad y resistencia mecánica, debido a que la homogenización de la matriz polimérica se obtiene a través de ultrasonificación, lo que reduce el tamaño de gota de la emulsión (Noori, Zeynali & Almasi, 2018). En manzanas fuji los recubrimientos a base de nanoemulsiones de alginato de sodio y aceite esencial de lemon-grass (*C. citratus*), reducen la tasa de respiración y producción de etileno de la fruta, inhiben el crecimiento de *E. coli*, mantienen la calidad nutricional y organoléptica de las frutas frescas cortadas, efecto que se logra debido a que el tamaño de gota se reduce de 1775 a 494 nm, lo que disminuye el contenido de aceite utilizado de 1 % a 0,1 %, lo que provoca que la emulsión sea uniforme y se pueda aplicar de forma homogénea en toda la fruta cortada (Salvia-Trujillo, Rojas-Graü, Soliva-Fortuny & Martín-Belloso, 2015). Efectos anti-

microbianos similares se observan en recubrimientos a partir de nanoemulsiones de proteína de quinua, quitosano y timol, donde fresas recubiertas y almacenadas a refrigeración, extienden su vida útil y microbiológica a 16 días (Robledo, López, Bungler, Tapia & Abugoch, 2018). En frutas tropicales, como la piña, se elaboró un recubrimiento a partir de la nanoemulsión de alginato de sodio, citral como agente antibacterial, aceite de sésamo para evitar su maduración y cambios de color. Los cambios de color en la maduración lograron ser evitados, lo que redujo tasas de respiración y un control en el crecimiento de *Salmonella entérica* y *L. monocytogenes* (Prakash, Baskaran & Vadivel, 2020).

Para la elaboración de estas nanoemulsiones es necesario el uso de nuevas tecnologías que permiten la formulación, homogenización y estabilidad de las matrices, entre las cuales se utilizan microfluidización, homogenización a altas presiones y ultrasonificación que permiten una mayor producción, funcionalidad y capacidad bioactiva de los recubrimientos comestibles, actualmente elaborados de quitosano en su mayo-

ría (Chaudhary, Kumar, Kumar & Sharma, 2020).

Microfluidización y ultrasonificación

La microfluidización y ultrasonificación son procesos de homogenización que se utilizan para obtener nanoemulsiones con tamaños de gotas que se encuentran entre 30 y 600 nm, este tamaño de gota depende de diversos factores, como energía suministrada, diámetro de la sonda, tiempo, fracción de volumen de la fase dispersa, viscosidad, concentración y tipo de emulsión (Páez-Hernández, Mondragón-Cortez & Espinosa-Andrews, 2019).

La microfluidización es una técnica de homogenización que se utiliza para producir emulsiones a partir de emulsionantes de base molecular. Se caracteriza por ser eficiente en producir gotas pequeñas con distribución uniforme, para lo cual, utiliza un microfluidizador que consta de dos pasos. El primero consiste en una licuadora con alto poder de cizallamiento que forma una emulsión a base de aceite, un emulsificante y agua; mientras que el segundo paso, consiste en hacer pasar las emulsio-

nes gruesas a través del microfluidizador utilizando presión neumática, lo que provoca que la emulsión se choque entre sí a altas velocidades, ocasionando que las fuerzas de adhesión y cohesión se vean alteradas provocando cavitación y turbulencia, dando como resultado gotas de emulsión finas (Bai et al., 2019).

Mientras, la ultrasonicación, es un proceso tecnológicamente ecológico, que se usa para la descomposición de las gotas de emulsión mediante el uso de ondas de ultrasonido de alta frecuencia. Se usa frecuentemente

los 20 KHz. A esta frecuencia se proporciona a la emulsión una energía cercana a $103\text{-}105 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-3}$, que provoca vibración mecánica (Páez-Hernández et al., 2019). Al transferirse por medio de la emulsión estas ondas, se crean fenómenos de cavitación que provocan la ruptura de las gotas, ya sea por efecto del campo acústico o por el colapso asimétrico de la cavidad (Figura 3). Así se produce la ruptura y dispersión de las gotitas en fase continua, lo que resulta en gotas por debajo de 100 nm (Cheaburu-Yilmaz, Karasulu & Yilmaz, 2018).

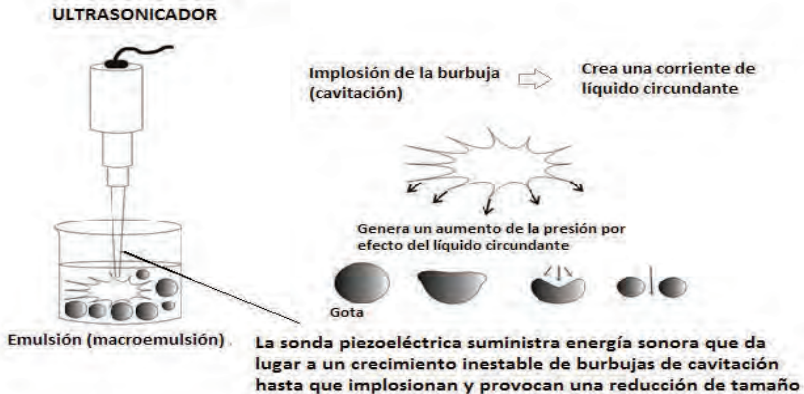


Figura 3. Ultrasonicador. Reducción del tamaño de gota de una emulsión

Adaptado de: (Cheaburu-Yilmaz et al., 2018)

Por último, el uso de tecnologías limpias e innovadoras ha abierto el camino al uso del electrospinning como tecnología amigable con el ambiente y de optimización de materiales. Esto se debe a la formación de nanofibras estables y biodegradables a partir de pocos volúmenes de nanoemulsión, usadas en empaques de alimentos activos que garantizan la seguridad, calidad y tiempo de vida útil de los productos (Zhang, Li, Wang & Zhang, 2020).

Electrospinning (electrohilado)

El proceso de electrohilado, o electrospinning, es un proceso físico, que permite obtener membranas fibrosas,

porosas y finas con tamaños medios entre 100-500 nm (Subbiah, Bhat, Tock, Parameswaran & Ramkumar, 2005). La obtención de fibras se logra por medio de estiramiento coaxial de una solución o matriz polimérica, que consiste en la expulsión controlada del flujo de emulsión por medio de una jeringuilla, con aguja adecuada, mientras un delgado hilo de polímero líquido se va alargando por efecto de un campo eléctrico que es aplicado en el colector (Figura 4). En la obtención de nanofibras intervienen la fuerza superficial, la de repulsión coulombica, fuerzas electrostáticas, viscosidad, gravedad y arrastre de aire (Liao, Loh, Tian, Wang & Fane, 2018).

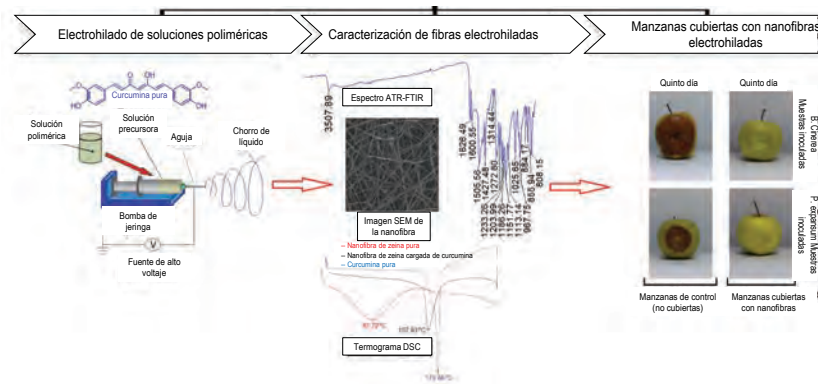


Figura 4. Elaboración de nanofibras a base de zeína cargada con curcumina, obtenida por método de electrohilado. Efecto antimicrobiano en la conservación de manzana

(Yilmaz et al., 2016)

Las membranas producidas por electrohilado pueden otorgar diversas características al producto: resistencia al trabajo mecánico, alta porosidad por efecto de las estructuras interconectadas mejora el rendimiento de las matrices del biopolímero, topografía única y diferentes propiedades químicas que dependen de la composición química de la fibra (Xue, Wu, Dai & Xia, 2019).

Por ser una técnica muy versátil, se requiere del estudio de viscosidad, tensión superficial, conductividad del polímero y su matriz, al igual que el estudio en las condiciones de proceso donde los parámetros de voltaje, caudal, punta del colector y la distancia al mismo, influyen en la calidad de la fibra a obtenerse (Mendez-Rodriguez et al., 2018). Al igual que la selección de los polímeros y la elección del solvente, pueden afectar a la humectabilidad/hidrofilia de las membranas (Zhu, Zheng, Zhang & Dai, 2020).

Su aplicación se ve en productos frutícolas como la manzana. En este caso se obtiene recubrimientos nanofibrosos y biodegradables a base de zeína de maíz y curcumina, que re-

dujeron el 50 % de lesiones ocasionadas por *Penicillium expansum* durante su almacenamiento (Yilmaz et al., 2016). En fresas, recubrimientos aplicados por electrospinning a base a alcohol polivinílico, aceite esencial de canela y dextrinas permiten fibras uniformes, homogéneas y con capacidad antifúngica (Wen et al., 2016), efectos antifúngicos y de conservación similares se presentan al usar nanoemulsiones en base de carboximetil quitosano y polioxietileno (Figura 5), además de proporcionar alta permeabilidad al agua e intercambio gaseoso (Yue et al., 2018). Al usar ácido poliláctico, nanotubos de carbono y quitosano, se obtiene mediante electrospinning películas flexibles, con resistencia mecánica, solubilidad y efectos antimicrobianos. Se ha aplicado en fresas y se ha observado que extiende el tiempo de vida útil de la fruta (Liu, Wang, Lan & Qin, 2019).

El uso de carboximetilquitosano con acetato polivinílico forma fibras con actividad antimicrobiana y permite transpirabilidad e intercambio gaseoso. Puede ser aplicado en bananas (Zhu, Zaarour & Jin, 2019). Por tanto, el uso de nanofibras obtenidas

mediante el electrospinning presenta un alto potencial en la elaboración

de recubrimientos comestible.

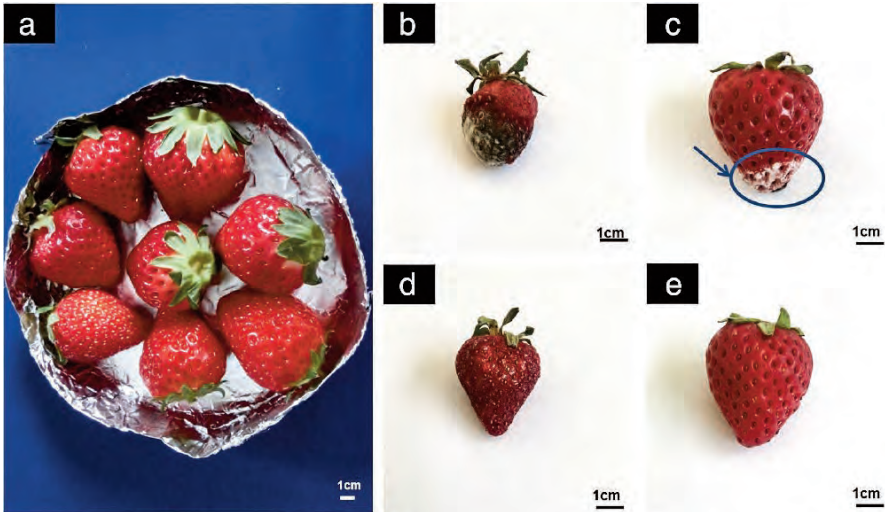


Figura 5. Efecto microbiano y de conservación de distintos recubrimientos en fresas almacenadas durante 6 días a temperatura ambiente: a) Condición inicial, b) Control, c) plástico polietileno, d) carboximetil quitosano-oxido polioxiéfileno (método de pintado), y e) carboximetil quitosano-oxido polioxiéfileno (método de electrospinning)

(Yue et al., 2018)

CONCLUSIÓN

Los recubrimientos comestibles son capas delgadas que se aplican directamente a las frutas y verduras con la finalidad de extender su de vida útil, conservar la composición nutricional, organoléptica y sensorial del alimento. En la actualidad, son aplica-

dos en forma de mezclas bifásicas o trifásicas. Los polisacáridos, lípidos y proteínas son hoy en día los compuestos principales en las diversas matrices poliméricas que permiten combinar, potencializar e incorporar compuestos bioactivos a los recubri-

mientos. Su efectividad depende de la capacidad de adherencia, método de aplicación, interacción, estabilidad y sinergia entre los polímeros. Como resultado se obtiene recubrimientos comestibles, que son considerados ecológicos, amigables con el ambiente y seguros al consumo.

La innovación en la formulación y elaboración de recubrimientos comestibles ha logrado incorporar nuevos nanomateriales como: ZnO, TiO₂, que en conjunto con la ultrasonificación y la microfluidización, han permitido elaborar nanoemulsiones con tamaños de gota en el orden nanométrico, que proporcionan nuevas propiedades al recubrimiento dependiendo de los compuestos que se utilicen en la matriz polimérica. Además, se

destaca el uso de procesos físicos considerados limpios: tal es el caso del electrospinning, que permite la incorporación de nuevos polímeros con alto potencial para la elaboración y formulación de recubrimientos comestibles. Esto demanda continuos estudios basados en el uso de nuevos nanomateriales aptos para el consumo y compatibles con los procesos y técnicas usadas para formulación de nanoemulsiones y membranas fibrosas, que permitan el control microbiológico, organoléptico y nutricional de la fruta o verdura recubierta y, además, brinde propiedades bioactivas que permitan no solo extender el tiempo de vida útil de frutas y verduras, sino que adicione nuevos nutrientes al alimento recubierto.

LISTA DE REFERENCIAS

- Alizadeh-Sani, M., Ehsani, A., Moghaddas, E., y Khezerlou, A. (2019). Microbial gums: introducing a novel functional component of edible coatings and packaging. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(17), 6853–6866. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09966-x>
- Arcan, I., Boyacı, D., y Yemenicioğlu, A. (2017). The Use of Zein and Its Edible Films for the Development of Food Packaging Materials. *Reference Module in Food Science*, 1–11. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.21126-8>

- Badawy, M., Rabea, E., El-Nouby, M., Ismail, R., y Taktak, N. (2017). Strawberry Shelf Life, Composition, and Enzymes Activity in Response to Edible Chitosan Coatings. *International Journal of Fruit Science*, 17(2), 117–136. <https://doi.org/10.1080/15538362.2016.1219290>
- Bai, L., Lv, S., Xiang, W., Huan, S., McClements, D., y Rojas, O. (2019). Oil-in-water Pickering emulsions via microfluidization with cellulose nanocrystals: 1. Formation and stability. *Food Hydrocolloids*, 96(April), 699–708. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.04.038>
- Bettiol, W. (2006). Productos alternativos para el manejo de enfermedades en cultivos comerciales. *Fitosanidad*, 10(2), 85–98.
- Bonilla, J., y Sobral, P. J. A. (2016). Author ' s Accepted Manuscript. *Food Bioscience*. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2016.07.003>
- Brasil, I., y Siddiqui, M. (2018). Postharvest Quality of Fruits and Vegetables: An Overview. In *Preharvest Modulation of Postharvest Fruit and Vegetable Quality* (pp. 1–40). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809807-3.00001-9>
- Chaudhary, S., Kumar, S., Kumar, V., y Sharma, R. (2020). Chitosan nanoemulsions as advanced edible coatings for fruits and vegetables: Composition, fabrication and developments in last decade. *International Journal of Biological Macromolecules*, 152, 154–170. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.276>
- Cheaburu-Yilmaz, C., Karasulu, H., y Yilmaz, O. (2018). *Nanoscaled dispersed systems used in drug-delivery applications*. In *Polymeric Nanomaterials in Nanotherapeutics* (pp. 437–468). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813932-5.00013-3>
- Ciolacu, L., Nicolau, A., y Hoorfar, J. (2013). Edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. In *Global Safety of Fresh Produce: A Handbook of Best Practice, Innovative Commercial Solutions and Case Studies* (pp. 233–244). Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9781782420279.3.233>
- Crini, G., y Hatchett, C. (2019). Historical review on chitin and chitosan biopolymers. *Environmental Chemistry Letters*, (Ilkewitsch 1908). <https://doi.org/10.1007/s10311-019-00901-0>

- De Ancos, B., González-Peña, D., Colina-Coca, C., y Sánchez-Moreno, C. (2015). Uso De Películas/Recubrimientos Comestibles En Los Productos De Iv Y V Gama. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(1), 8–17.
- De Souza, E., Lundgren, G., De Oliveira, K., Berger, L., y Magnani, M. (2019). An Analysis of the Published Literature on the Effects of Edible Coatings Formed by Polysaccharides and Essential Oils on Postharvest Microbial Control and Overall Quality of Fruit. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(6), 1947–1967. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12498>
- Dhall, R. (2013). Advances in Edible Coatings for Fresh Fruits and Vegetables: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(5), 435–450. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.541568>
- Dhanapal, A., Rajamani, L., y Banu, M. (2012). Edible films from Polysaccharides. *Food Science and Quality*, 3(1), 9–18. Retrieved from <http://iiste.org/Journals/index.php/FSQM/article/view/1057>
- Dhumal, C., Pal, K., y Sarkar, P. (2019). Characterization of Tri-Phasic Edible Films from Chitosan, Guar Gum, and Whey Protein Isolate Loaded with Plant-Based Antimicrobial Compounds. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 58(3), 255–269. <https://doi.org/10.1080/03602559.2018.1466179>
- Divya, K., Vijayan, S., y Jisha, M. S. (2018). Antigenf, antioxidant and cytotoxic activities of chitosan nanoparticles and its use as a edible coating on vegetables. *Biological Macromolecules*, (2017). <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.130>
- Elsabee, M. Z., y Abdou, E. S. (2013). Chitosan based edible films and coatings : A review. *Materials Science & Engineering C*, 33(4), 1819–1841. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2013.01.010>
- Espino-Manzano, S., León-López, A., Aguirre-Álvarez, G., González-Lemus, U., Prince, L., y Campos-Montiel, R. (2020). Application of nanoemulsions (W/O) of extract of *Opuntia oligacantha* C.F. först and orange oil in gelatine films. *Molecules*, 25(15), 1–14. <https://doi.org/10.3390/molecules25153487>

- Farina, V., Passafiume, R., Tinebra, I., Scuderi, D., Saletta, F., Gugliuzza, G., Sortino, G. (2020). Postharvest application of aloe vera gel-based edible coating to improve the quality and storage stability of fresh-cut papaya. *Journal of Food Quality*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8303140>
- Feng, Z., Wu, G., Liu, C., Li, D., Jiang, B., y Zhang, X. (2018). Edible coating based on whey protein isolate nanofibrils for antioxidation and inhibition of product browning. *Food Hydrocolloids*, 79, 179–188. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.12.028>
- Freire, W., Ramírez, M., Belmont, P., Mendieta, M., Silva, K., Romero, N., Monge, R. (2014). Tomo1. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición ENSANUT-ECU 2012 (Primera Ed). Tomo1. *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición ENSANUT-ECU 2012*. Quito. Retrieved from https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/ENSANUT/MSP_ENSANUT-ECU_06-10-2014.pdf
- Gao, P., Wang, F., Gu, F., ning, J., Liang, J., Li, N., y Ludescher, R. D. (2017). Preparation and characterization of zein thermo-modified starch films. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1254–1260. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.11.004>
- González-saucedo, A., Barrera-necha, L. L., Ventura-aguilar, R. I., Correa-pacheco, Z. N., Bautista-baños, S., y Hernández-lópez, M. (2019). Postharvest Biology and Technology Extension of the postharvest quality of bell pepper by applying nanostructured coatings of chitosan with *Byrsonima crassifolia* extract (L .) Kunth. *Postharvest Biology and Technology*, 149(April 2018), 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.11.019>
- González, C. (2018). Frutas y verduras perdidas y desperdiciadas, una oportunidad para mejorar el consumo. *Revista Chilena de Nutricion*, 45(3), 198. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182018000400198>
- Hassan, B., Chatha, S. A. S., Hussain, A. I., Zia, K. M., y Akhtar, N. (2018). Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 1095–1107. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.097>

- Henriques, M., Gomes, D., y Pereira, C. (2016). Whey Protein Edible Coatings: Recent Developments and Applications. In V. Dordevic, A. Paraskevopoulou, y F. Mantzouridou (Eds.), *Emerging and Traditional Technologies for Safe, Healthy and Quality Food* (pp. 329–382). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24040-4>
- INEC. (2012). *Encuesta Nacional de Salud* (Vol. 1). Retrieved from www.ecuadorencifras.gob.ec/inec/Estadisticas
- Jarma, B., Campos, A., LLins, L., Jarma, S., Almeida de Melo, E., y Pinheiro, A. (2020). Antimicrobial active edible coating of alginate and chitosan add ZnO nanoparticles applied in guavas (*Psidium guajava* L.). *Food Chemistry*, 309, 125566. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125566>
- Ju, J., Xie, Y., Guo, Y., Cheng, Y., Qian, H., y Yao, W. (2019). Application of edible coating with essential oil in food preservation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(15), 2467–2480. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1456402>
- Keykhosravy, K., Khanzadi, S., Hashemi, M., y Azizzadeh, M. (2020). Chitosan-loaded nanoemulsion containing *Zataria Multiflora* Boiss and *Bunium persicum* Boiss essential oils as edible coatings: Its impact on microbial quality of turkey meat and fate of inoculated pathogens. *International Journal of Biological Macromolecules*, 150, 904–913. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.092>
- Khin, M. M., Zhou, W., y Perera, C. (2005). Development in the Combined Treatment of Coating and Osmotic Dehydration of Food - A Review. *International Journal of Food Engineering*, 1(1). <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1005>
- Khorram, F., Ramezani, A., y Hashem, S. (2017). Effect of different edible coatings on postharvest quality of 'Kinnow' mandarin. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(4), 1827–1833. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9564-8>
- Kumar, N., y Dubey, R. (2020). Edible films and coatings: an uodate on recent advances. In ... Kaustav Majumder Kunal Pal, Indranil Banerjee (Ed.), *Biopolymer- Based Formulations* (Vol. 4, pp. 2406–2417). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816897-4.00027-8>

- Kumar, S., y Bhatnagar, T. (2018). Studies to Enhance the Shelf Life of Tomato Using Aloe vera and Neem Based Herbal Coating. *International Journal of Agriculture and Food Science Technology*, 6(2), 21–28. Retrieved from <http://www.ripublication.com>
- Lelgut, D., Masani, J., Matofari, J., y Mulwa, R. (2020). Effect of edible gum Arabic coating on the shelf life and quality of mangoes (*Mangifera indica*) during storage. *Journal of Food Science and Technology*, 57(1), 79–85. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04032-w>
- Li, X. yu, Du, X. long, Liu, Y., Tong, L. jing, Wang, Q., y Li, J. long. (2019). Rhubarb extract incorporated into an alginate-based edible coating for peach preservation. *Scientia Horticulturae*, 257(June), 108685. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108685>
- Liao, Y., Loh, C. H., Tian, M., Wang, R., y Fane, A. G. (2018). Progress in electrospun polymeric nanofibrous membranes for water treatment: Fabrication, modification and applications. *Progress in Polymer Science*, 77, 69–94. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2017.10.003>
- Liu, Y., Wang, S., Lan, W., y Qin, W. (2019). Fabrication of polylactic acid/carbon nanotubes/chitosan composite fibers by electrospinning for strawberry preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 121, 1329–1336. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.09.042>
- Medina, E., Caro, N., Abugoch, L., Gamboa, A., Díaz-Dosque, M., y Tapia, C. (2019). Chitosan thymol nanoparticles improve the antimicrobial effect and the water vapour barrier of chitosan-quinoa protein films. *Journal of Food Engineering*, 240, 191–198. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.07.023>
- Melendez-Rodriguez, B., Castro-Mayorga, J. L., Reis, M. A. M., Sammon, C., Cabedo, L., Torres-Giner, S., y Lagaron, J. M. (2018). Preparation and Characterization of Electrospun Food Biopackaging Films of Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) Derived From Fruit Pulp Biowaste. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2(July), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00038>
- Mohamed, S. A. A., El-Sakhawy, M., y El-Sakhawy, M. A. M. (2020). Polysaccharides, Protein and Lipid -Based Natural Edible Films in Food Packaging: A Review. *Carbohydrate Polymers*, 238, 116178. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116178>

- Mokhtari-Hosseini, Z., Hatamian-Zarmi, A., Mohammadnejad, J., y Ebrahimi-Hossein-zadeh, B. (2018). Chitin and chitosan biopolymer production from the Iranian medicinal fungus *Ganoderma lucidum*: Optimization and characterization. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 48(7), 662–670. <https://doi.org/10.1080/10826068.2018.1487847>
- Muthmainnah, N., Suratman, y Solichatun. (2019). Postharvest application of an edible coating based on chitosan and gum Arabic for controlling respiration rate and vitamin C content of chilli (*Capsicum frutescens* L.). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 633(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/633/1/012028>
- Nawab, A., Alam, F., y Hasnain, A. (2017). Mango kernel starch as a novel edible coating for enhancing shelf- life of tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*, 103, 581–586. <https://doi.org/10.1016/j.ijbio-mac.2017.05.057>
- Noori, S., Zeynali, F., y Almasi, H. (2018). Antimicrobial and antioxidant efficiency of nanoemulsion-based edible coating containing ginger (*Zingiber officinale*) essential oil and its effect on safety and quality attributes of chicken breast fillets. *Food Control*, 84, 312–320. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.08.015>
- Páez-Hernández, G., Mondragón-Cortez, P., y Espinosa-Andrews, H. (2019). *Developing curcumin nanoemulsions by high-intensity methods: Impact of ultrasonication and microfluidization parameters*. *Lwt*, 111(May), 291–300. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.012>
- Phuoc, N., Thinh, V., Van, T., Thanh, T., y Kim, D. (2019). Application of Guar Gum as Edible Coating to Prolong Shelf Life of Red Chilli Pepper (*Capsicum frutescens* L.) Fruit during Preservation. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 11(4), 1474–1478.
- Prakash, A., Baskaran, R., y Vadivel, V. (2020). *Citral nanoemulsion incorporated edible coating to extend the shelf life of fresh cut pineapples*. *Lwt*, 118(November), 108851. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108851>

- Raghav, P. K., Agarwal, N., Saini, M., Vidhyapeeth, J., y Vidhyapeeth, J. (2016). Edible Coating of Fruits and Vegetables: *International Journal of Scientific and Modern Education*, (January).
- Ramadan, M. F., y Moersel, J. T. (2009). Oil extractability from enzymatically treated goldenberry (*Physalis peruviana* L.) pomace: Range of operational variables. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(3), 435–444. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01511.x>
- Ramziia, S., Ma, H., Yao, Y., Wei, K., y Huang, Y. (2018). Enhanced antioxidant activity of fish gelatin–chitosan edible films incorporated with procyanidin. *Journal of Applied Polymer Science*, 135(10), 1–10. <https://doi.org/10.1002/app.45781>
- Reyes-Avalos, M. C., Minjares-Fuentes, R., Femenia, A., Contreras-Esquivel, J. C., Quintero-Ramos, A., Esparza-Rivera, J. R., y Meza-Velázquez, J. (2019). Application of an Alginate – Chitosan Edible Film on Figs (*Ficus carica*): Effect on Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity. *Food and Bioprocess Technology*, 12, 499–511. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11947-018-2226-y>
- Robledo, N., López, L., Bunger, A., Tapia, C., y Abugoch, L. (2018). Effects of antimicrobial edible coating of thymol nanoemulsion/quinoa protein/chitosan on the safety, sensorial properties, and quality of refrigerated strawberries (*Fragaria × ananassa*) under commercial storage environment. *Food and Bioprocess Technology*, 11(8), 1566–1574. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2124-3>
- Sabbah, M., Giosafatto, C. V. L., Esposito, M., Di Pierro, P., Mariniello, L., y Porta, R. (2018). *Transglutaminase cross-linked edible films and coatings for food applications. Enzymes in Food Biotechnology: Production, Applications, and Future Prospects*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813280-7.00021-9>
- Salvia-Trujillo, L., Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., y Martín-Belloso, O. (2015). Use of antimicrobial nanoemulsions as edible coatings: Impact on safety and quality attributes of fresh-cut fuji apples. *Postharvest Biology and Technology*, 105, 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.03.009>
- Santos, D., Cardoso, R., Mota, J., Rezende, B., Dórea, C., y Da Silva, F. (2020). Edible coatings in post-harvest papaya: impact on physical–chemical and sensory cha-

- racteristics. *Journal of Food Science and Technology*, 57(1), 274–281. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04057-1>
- Sapper, M., Talens, P., y Chiralt, A. (2019). Improving functional properties of cassava starch-based films by incorporating xanthan, gellan, or pullulan gums. *International Journal of Polymer Science*, 2019(6), 1–9. <https://doi.org/10.1155/2019/5367164>
- Scartazzini, L., Tosati, J., Cortez, D., Rossi, M., Flôres, S., Hubinger, M., ... Monteiro, A. (2019). Gelatin edible coatings with mint essential oil (*Mentha arvensis*): film characterization and antifungal properties. *Journal of Food Science and Technology*, 56(9), 4045–4056. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03873-9>
- Sharma, R., Singh, D., y Singh, R. (2009). Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables by microbial antagonists: A review. *Biological Control*, 50(3), 205–221. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.05.001>
- Singh, D., y Sharma, R. (2018). Postharvest Diseases of Fruits and Vegetables and Their Management. In *Postharvest Disinfection of Fruits and Vegetables* (pp. 1–52). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812698-1.00001-7>
- Singh, R., Shitiz, K., y Singh, A. (2017). Chitin and chitosan: biopolymers for wound management. *International Wound Journal*, 14(6), 1276–1289. <https://doi.org/10.1111/iwj.12797>
- Solano-Doblado, L., Alamilla-Beltrán, L., y Jiménez-Martínez, C. (2018). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 21, 30. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>
- Subbiah, T., Bhat, G. S., Tock, R. W., Parameswaran, S., y Ramkumar, S. S. (2005). Electrospinning of nanofibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 96(2), 557–569. <https://doi.org/10.1002/app.21481>
- Sucheta, Chaturvedi, K., Sharma, N., y Kumar, S. (2019). Composite edible coatings from commercial pectin, corn flour and beetroot powder minimize post-harvest decay, reduces ripening and improves sensory liking of tomatoes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 133, 284–293. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.132>

- Tabassum, N., y Ali, M. (2020). Modified atmosphere packaging of fresh-cut papaya using alginate based edible coating: Quality evaluation and shelf life study. *Scientia Horticulturae*, 259(March 2019), 108853. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108853>
- Tahir, H., Xiaobo, Z., Mahunu, G., Arslan, M., Abdalhai, M., y Zhihua, L. (2019). Recent developments in gum edible coating applications for fruits and vegetables preservation: A review. *Carbohydrate Polymers*, 224(August), 115141. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115141>
- Torkamani, A. E., Syahariza, Z. A., Norziah, M. H., Wan, A. K. M., y Juliano, P. (2018). Encapsulation of polyphenolic antioxidants obtained from Momordica charantia fruit within zein/gelatin shell core fibers via coaxial electrospinning. *Food Bioscience*, 21, 60–71. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.12.001>
- Valencia-Chamorro, S., Palou, L., Delgado, M., y Pérez-Gago, M. (2011). Antimicrobial edible films and coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(9), 872–900. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.485705>
- Vieira, I. S., Soares, N., Gontijode, P., Campion, D., Zeni Andrade, M., Otaguro, H., y Pasquini, D. (2019). Edible coatings based on apple pectin, cellulose nanocrystals, and essential oil of lemongrass: Improving the quality and shelf life of strawberries (fragaria ananassa). *Journal of Renewable Materials*, 7(1), 73–87. <https://doi.org/10.32604/jrm.2019.00042>
- Wen, P., Zhu, D. H., Wu, H., Zong, M. H., Jing, Y. R., y Han, S. Y. (2016). Encapsulation of cinnamon essential oil in electrospun nanofibrous film for active food packaging. *Food Control*, 59, 366–376. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.06.005>
- Xing, Y., Li, X., Guo, X., Li, W., Chen, J., Liu, Q., Bi, X. (2020). Effects of Different TiO₂ Nanoparticles Concentrations on the Physical and Antibacterial Activities of Chitosan-Based Coating Film. *Nanomaterials*, 10(7), 1365. <https://doi.org/10.3390/nano10071365>
- Xing, Y., Yang, H., Guo, X., Bi, X., Liu, X., Xu, Q., Zheng, Y. (2020). Effect of chitosan/Nano-TiO₂ composite coatings on the postharvest quality and physico-

- chemical characteristics of mango fruits. *Scientia Horticulturae*, 263(December 2019), 109135. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109135>
- Xue, J., Wu, T., Dai, Y., y Xia, Y. (2019). Electrospinning and electrospun nanofibers: Methods, materials, and applications. *Chemical Reviews*, 119(8), 5298–5415. review-article. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00593>
- Yilmaz, A., Bozkurt, F., Cicek, P. K., Dertli, E., Durak, M. Z., y Yilmaz, M. T. (2016). A novel antifungal surface-coating application to limit postharvest decay on coated apples: Molecular, thermal and morphological properties of electrospun zein–nanofiber mats loaded with curcumin. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 37, 74–83. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.08.008>
- Yu, D., Xu, Y., Regenstein, J. M., Xia, W., Yang, F., y Wang, B. (2017). The effects of edible chitosan-based coatings on flavor quality of raw grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets during refrigerated storage. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.037>
- Yue, T. T., Li, X., Wang, X. X., Yan, X., Yu, M., Ma, J. W., ... Long, Y. Z. (2018). Electrospinning of Carboxymethyl Chitosan/Polyoxyethylene Oxide Nanofibers for Fruit Fresh-Keeping. *Nanoscale Research Letters*, 13. <https://doi.org/10.1186/s11671-018-2642-y>
- Zhang, C., Li, Y., Wang, P., y Zhang, H. (2020). Electrospinning of nanofibers: Potentials and perspectives for active food packaging. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(2), 479–502. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12536>
- Zheng, K., Xiao, S., Li, W., Wang, W., Chen, H., Yang, F., y Qin, C. (2019). International Journal of Biological Macromolecules antimicrobial , antioxidant and structural properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135, 344–352. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.151>
- Zhu, F., Zheng, Y., Zhang, B., y Dai, Y. (2020). A critical review on the electrospun nanofibrous membranes for the adsorption of heavy metals in water treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 401, 123608. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123608>

- Zhu, L., Zaarour, B., y Jin, X. (2019). Fabrication of perfect CMCS/PVA nanofibers for keeping food fresh via an in situ mixing electrospinning. *Materials Research Express*, 6(12). <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab5396>
- Zuo, G., Song, X., Chen, F., y Shen, Z. (2019). Physical and structural characterization of edible bilayer films made with zein and corn-wheat starch. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(3), 324–331. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.09.005>