

NANOTECNOLOGÍA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA: BIONANOCOMPUESTOS EN EMPAQUES DE ALIMENTICIOS

NANOTECHNOLOGY IN THE FOOD INDUSTRY: BIONANOCOMPOUNDS IN FOOD PACKAGING

Landa-Salgado, P.^{1*}; Cruz-Monterrosa, R.G.¹; Hernández-Guzmán, F.J.²; Reséndiz-Cruz, V.¹

¹Universidad Autónoma Metropolitana. Calle de las Garzas No. 10, El panteón, 52005 Lerma de Villada, México. ²Universidad Politécnica Francisco I. Madero. Domicilio Conocido, Francisco I. Madero, 42660 Tepatepec, Hidalgo.

*Autor de correspondencia: p.landa@correo.uam.ler.mx

RESUMEN

La mayoría de las industrias alimentarias utilizan envases no biodegradables y la aplicación de bionanocompuestos promete expandir el uso de películas o cubiertas comestibles y biodegradables para su uso en productos alimenticios. Los plásticos biopolímeros o biodegradables deben mantener condiciones apropiadas de humedad, temperatura y disponibilidad de oxígeno, sin dejar ningún residuo tóxico. Los biopolímeros por su materia prima y su fabricación se clasifican en biopolímeros naturales y por fermentación microbiana. Los bionanocompuestos pueden ser nanorellenos a base de celulosa, nanotubos de carbono, nanoarcillas y nanorellenos funcionales. Estas nuevas tecnologías llevan una responsabilidad ética donde las cubiertas no causen daño al ambiente y la salud de los consumidores. Con base en lo anterior, se presenta una revisión de las principales características de los bio nanocompuestos en los empaques de alimentos.

Palabras clave: nanotecnología, biocompuestos, embalaje, postcosecha

ABSTRACT

Most food industries use non-biodegradable packaging; and the application of bionanocompounds promises to expand the use of edible and biodegradable coating or covers for use in food products. The biopolymer or biodegradable plastics must maintain appropriate conditions of moisture, temperature and oxygen availability, without leaving any toxic residue. The biopolymers are classified into natural polymers and by microbial fermentation because of their prime material and fabrication. The bionanocompounds can be nanofillings based on cellulose, carbon nanotubes, nanoclays and functional nanofillings. These new technologies lead to ethical responsibility, where the covers do not cause harm to the environment and to consumers' health. Based on this, a revision of the main characteristics of bionanocompounds in food packaging is presented.

Keywords: nanotechnology, biocompounds, packaging, post-harvest.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 10, octubre. 2017, pp: 34-40.

Recibido: agosto, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

INTRODUCCIÓN

El uso de envases adecuados para el empaque en la industria de los alimentos es de gran interés, debido al potencial para extender la vida anaquel de muchos alimentos (Sorrentino *et al.*, 2007). La función principal de los empaques es aumentar la vida de anaquel, previniendo cambios desfavorables causados por el deterioro originado por microorganismos, contaminantes químicos, cambios de temperatura, humedad, y exposición a la luz, de tal forma que se pueda mantener la calidad e inocuidad de los productos alimenticios desde el tiempo en que se producen hasta su consumo (Shankar y Rhim, 2016). Actualmente, la mayor parte de los materiales que se usan en la industria alimentaria para envasar; son derivados de combustibles fósiles no biodegradables (Mihindukulasuriya y Lim, 2014). Se estima que la industria del embalaje consume más de 40 % de los plásticos producidos (Silvestre *et al.*, 2011), de los cuales 50 % se usa para envasar alimentos (Mihindukulasuriya y Lim, 2014). Además, la disposición final de estos representa un problema de contaminación importante (Marsh, y Bugusu, 2007). Desafortunadamente, el uso de materiales biodegradables para envasar productos alimenticios ha sido limitado (Sorrentino *et al.*, 2007). Un material "compuesto" es aquel que contiene dos o más fases; una es la continua y otra es la dispersa. Normalmente la primera es un polímero, mientras que la dispersa es un material de relleno o de refuerzo (Mihindukulasuriya y Lim, 2014). Cuando estos "compuestos" tienen componentes de un solo polímero o mezcla, de los cuales al menos uno de ellos tiene dimensiones inferiores a los 100 nm son conocidos como nanocompuestos (Shankar y Rhim, 2016). Los materiales nanométricos poseen propiedades inusuales muy diferentes de sus contrapartes a nivel microescala. La aplicación de nanocompuestos y bionanocompuestos promete expandir el uso de las películas y cubiertas comestibles y biodegradables para su uso en productos alimenticios (Rhim *et al.*, 2013; Shankar y Rhim, 2016). Los plásticos biopolímeros o biodegradables son materiales poliméricos en los cuales al menos en uno de los pasos del proceso de biodegradación se lleva a cabo a través del metabolismo de microorganismos naturales (Rhim *et al.*, 2013). La degradación ocurre en condiciones apropiadas de humedad, temperatura, disponibilidad de oxígeno y biodegradación que conducen a la fragmentación o desintegración de los plásticos sin ningún residuo tóxico para el ambiente (Rhim *et al.*, 2013).

Tipos de biopolímeros: La clasificación de los biopolímeros basado en el origen de la materia prima y su fabricación (Rhim *et al.*, 2013; Sorrentino *et al.*, 2007).

Biopolímeros naturales: carbohidratos (almidón, celulosa, quitosano, alginato, agar y carragenano); proteínas (proteína de soya, zeína de maíz, gluten de trigo, gelatina, colágeno, proteína de suero de leche y caseína).

Biopolímeros biodegradables sintetizados químicamente: poli (ácido láctico, PLA), poli (ácido glicólico, PGA), poli (ϵ -caprolactona, PCL), poli (succinato de butileno, PBS) y poli (vinil alcohol, PVOH).

Biopolímeros producidos por fermentación microbiana: Poliésteres microbianos, tales como los poli (hidroxialcanoatos, PHAs), que incluyen poli (3-hidroxi-butirato-co-3-hidroxi-valerato, PHBV), así como polisacáridos microbianos como pululano y curdlan.

La desventaja de los biopolímeros es que tienen propiedades mecánicas y de barrera deficientes, así como bajo rendimiento, procesamiento y costo (Reddy *et al.*, 2013). Sin embargo, con la ayuda de la nanotecnología se han desarrollado los nanocompuestos que muestran mejores propiedades de barrera, resistencia mecánica, así como mayor tolerancia al calor con respecto a biopolímeros puros y otros compuestos convencionales (Duncan, 2011).

Bionanocompuestos como nanorellenos: Los bionanocompuestos usados para la preparación de nanorellenos son los siguientes (Reddy *et al.*, 2013).

Nanorellenos a base de celulosa: La celulosa es el carbohidrato más abundante del planeta y es un recurso renovable y biodegradable (Moon *et al.*, 2011), lo cual lo hace amigable con el ambiente. Son nanofibras muy atractivas para la preparación de refuerzos para los nanocompuestos (Reddy *et al.*, 2013). Las microfibras de celulosa y celulosa nanocristalina son dos tipos de refuerzo en la preparación de bionanocompuestos a base de celulosa (Moon *et al.*, 2011) y consisten en haces de moléculas que son alargadas y estabilizadas mediante enlaces de hidrógeno (Eichhorn *et al.*, 2010). Las dimensiones típicas de estas nanofibrillas son 2-20 nm de diámetro y tienen regiones tanto amorfas como cristalinas (Siró y Plackett, 2010). Las propiedades de los nanocompuestos a base de celulosa dependen de las

dimensiones y proporciones de aspecto consecutivas, así como de los efectos mecánicos y de percolación (Eichhorn *et al.*, 2010; Moon *et al.*, 2011; Hubbe *et al.*, 2008).

Nanotubos de carbono: Las nanoestructuras de carbono incluyen fullereno, nanotubos de carbono (de pared simple y multi-pared), nanofibras de carbono y nanolaminillas de grafeno han sido ampliamente estudiadas por sus excelentes características físico-químicas, mecánicas y eléctricas (Dresselhaus *et al.*, 1996). En este tipo de materiales se aprovecha el comportamiento alotrópico del carbono. Los nanotubos se han sintetizado usando muchos métodos, entre ellos (Reddy *et al.*, 2013): (i) la descarga de arco, (ii) la ablación mediante láser (iii) deposición química en fase vapor y (iv) alta presión monóxido de carbono, la cual es la más popular. Los nanotubos de carbón tienen varias ventajas: (i) versatilidad como refuerzo en termoplástico y régimen termoestable, (ii) mayor fuerza tensil teórica/experimental (150-180 GPa), módulo de Young (640 GPa a 1 TPa), y (iii) estructuras electrónicas unidimensionales que permiten un transporte de electrones sin dispersarse, además de su compatibilidad con otros compuestos químicos, nanopartículas de metales/óxidos metálicos/chalcogenuros y materiales poliméricos (Baughman *et al.*, 2002; Reddy *et al.*, 2013; Rhim *et al.*, 2013; Thostenson *et al.*, 2001).

Nanoarcillas: Los silicatos en capas también conocidos como nanoarcillas son los nanorellenos más utilizados en la síntesis de nanocompuestos de silicato estratificados polímeros. Estos materiales en capas, los filosilicatos (2:1), se utilizan ampliamente en la preparación de nano-

compuestos a base de arcilla (Reddy *et al.*, 2013). La disposición de cristales en las capas de silicato está formada por dos átomos coordinados tetraédricamente amalgamados a hojas octaédricas compartimentadas en los bordes. Estas láminas se componen de magnesio o hidróxido de aluminio. Las capas tienen el espesor de 1 nm y sus dimensiones tangenciales, los cuales van desde 300 Å hasta algunas micras. La variación en las dimensiones depende de la fuente de arcilla, silicato particulado y técnica de preparación. Estas capas tienen una proporción de aspecto muy alta (longitud/espesor) y área superficial (Majeed *et al.*, 2013). Tienen una carga de superficie moderada asociada con estos silicatos estratificados que se conoce como capacidad de intercambio catiónico (CEC, por sus siglas en inglés). Las nanoarcillas tienen espesor de 1 nm y sus dimensiones tangenciales van desde 300 Å hasta algunas micras. La variación en las dimensiones depende de la fuente de arcilla, silicato particulado y técnica de preparación. Por lo tanto, estas capas tienen una proporción de aspecto muy alta (longitud/espesor) y área superficial (Ray *et al.*, 2006).

Nanorellenos funcionales: Los rellenos nanoestructurados juegan un papel importante en la fabricación de biocompuestos, ya que aportan varias funcionalidades deseadas a los compuestos. Los materiales de relleno funcionales como las nanofibras de celulosa, la hidroxiapatita (HAp), los hidróxidos dobles estratificados (LDH), las nanopartículas de sílice, y los silsequioxanos oligoméricos poliédricos (POSS) son los más investigados (De Azeredo, 2009; Reddy *et al.*, 2013).

Uso de bionanopolímeros

Biodegradación: La biodegradabilidad de los bionanocompuestos es uno de los temas más interesantes y controvertidos (Ray y Bousmina, 2006). Para los polímeros biodegradables, la biodegradación puede significar fragmentación, pérdida de propiedades mecánicas y a veces degradación por microorganismos, tales como bacterias, hongos y algas (Reddy *et al.*, 2013). La biodegradación de los polímeros es un proceso complejo que puede proceder de la hidrólisis catalizada por enzimas y la oxidación (Pandey *et al.*, 2005). Dado que una de las principales razones para utilizar biopolímeros para la preparación de materiales bionanocompuestos es utilizar la biodegradabilidad de la matriz de biopolímero, se espera que la biodegradabilidad de los bionanocompuestos resultantes no se deba sacrificar después de la formación de nanocompuestos (Ray y Bousmina, 2006). La capacidad de cada bionanocompuesto para degradarse depende esencialmente de la composición del bionanocompuesto, de la matriz y del material de relleno (Duncan, 2011; Kumar *et al.*, 2009). Los bionanocompuestos híbridos, tales como los silicatos estratificados incrustados en una matriz polimérica, mejoran la estabilidad y su biodegradabilidad, y pueden ajustarse mediante la variación de la cantidad de disolventes utilizados o mediante la incorporación de diferentes tipos de superficie modificada con diferentes tipos de tensoactivos (Ray y Bousmina, 2006). Estas propiedades innovadoras de las nanopartículas pueden ser explotadas en la industria del embalaje en función del uso final (Sorrentino *et al.*, 2007).

Empaques “inteligentes”: Los materiales “inteligentes” que hacen contacto con los alimentos tienen la intención de monitorear las condiciones del alimento empaquetado o del medio que lo rodea (Silvestre *et al.*, 2011). El color de algunos de los empaques puede variar cuando existe un cambio de tipo químico en el alimento y ello permite al consumidor detectar a simple vista si el alimento es adecuado para su consumo (Arshak *et al.*, 2009). Los nano sensores son capaces de responder a los cambios del medio ambiente (temperatura, humedad, niveles de exposición de oxígeno) y degradación por contaminación de microorganismos (Arshak *et al.*, 2007; Duncan, 2011), y pueden además detectar ciertos productos químicos, patógenos y toxinas en alimentos. Son útiles para eliminar la necesidad de indicar las fechas de caducidad, proporcionando un estatus en tiempo real de la frescura del alimento (Velusamy *et al.*, 2010). Varios tipos de sensores sensibles a algunos gases se han empleado para la cuantificación e identificación de microorganismos, dependiendo de sus emisiones de gases (Arshak *et al.*, 2009; Velusamy *et al.*, 2010) y se han desarrollado sensores basados en nanopartículas conductoras incrustadas en una matriz del polímero para detectar e identificar patógenos transmitidos por alimentos, produciendo una respuesta específica (Reddy *et al.*, 2013). Actualmente se pueden identificar al menos *Bacillus cereus*, *Vibrio parahemolyticus* y *Salmonella* spp., a partir de la respuesta producida por este tipo de sensores (Silvestre *et al.*, 2011). El sensor de gas de óxido metálico es uno de los más usados por su alta estabilidad (Setkus, 2002).

Películas y cubiertas antimicrobianas biodegradables:

Las películas y cubiertas o recubrimientos comestibles se definen como capas finas y continuas de material comestible colocadas entre los componentes de los alimentos para proporcionar una barrera a la transferencia de masa (Embuscado y Huber, 2009). La diferencia radica principalmente en el modo de formación y aplicación a los alimentos. Las cubiertas comestibles se aplican y se forman directamente sobre el producto alimenticio, ya sea por adición de una solución de formación de película líquida o por compuestos fundidos (Bourtoom, 2008). Por el contrario, las películas comestibles son estructuras independientes, formadas y luego aplicadas a los alimentos. Se forman por moldeo o por técnicas tradicionales de procesamiento de plástico, tales como extrusión. Las películas comestibles son estructuras independientes, formadas y luego aplicadas a los alimentos (Bourtoom, 2008). Aunque las películas comestibles

se han estudiado y aplicado extensamente, hasta ahora pocos trabajos de investigación indican la posibilidad de incorporar nanopartículas para mejorar las propiedades físicas de estas (De Azeredo, 2009). La función antimicrobiana de algunas nanopartículas o materiales nanocompuestos ha sido reconocida y explotada en el campo de varias industrias por su actividad antimicrobiana como inhibidores del crecimiento, agentes antimicrobianos, portadores antimicrobianos, o bien, películas de embalaje antimicrobiano (Duncan *et al.*, 2011). Los sistemas antimicrobianos a base de nanocompuestos son particularmente eficaces, debido a su alta relación superficie-volumen y mayor reactividad superficial de los agentes antimicrobianos nano-dimensionados, haciéndolos capaces de inactivar los microorganismos de manera más eficiente que sus contrapartes micro o macro escala (Rhim *et al.*, 2013). Los materiales antimicrobianos comúnmente usados o probados para preparar materiales nanocompuestos con función antimicrobiana incluyen iones metálicos (plata, cobre, oro, platino), óxido metálico (TiO₂, ZnO, MgO), nanocapa modificada orgánicamente (MMT modificado con amonio cuaternario, zeolita Ag), biopolímeros naturales (quitosano), agentes antimicrobianos naturales (nisina, timol, carvacrol, isotiocianato, antibióticos), enzimas (peroxidasa, lisozima) y agentes antimicrobianos sintéticos (sales de amonio cuaternario, EDTA, propiónico, benzoico, ácidos sórbico) (Duncan, 2011; Rhim *et al.*, 2013). El mayor potencial para la aplicación de las películas antimicrobianas con bionanocompuestos en alimentos son: carne, pescado, pan, quesos y vegetales (Cruz-Romero *et al.*, 2013; Moreira *et al.*, 2011; Rhim *et al.*, 2013).

Barreras legales y éticas y controversias: La nanotecnología puede aplicarse en todos los aspectos de la cadena alimentaria, tanto para mejorar la inocuidad de los alimentos como para el control de calidad, y como nuevos ingredientes o aditivos alimentarios (Silvestre *et al.*, 2011). Además, tiene un potencial extremadamente alto para beneficiar a la sociedad a través de aplicaciones en envases de alimentos; por ejemplo, se pueden hacer productos más baratos bajo estándares de producción más eficiente, con menos residuos y consumiendo menos energía (Reddy *et al.*, 2013). Sin embargo, cualquier nueva tecnología conlleva una responsabilidad ética para su aplicación, además de saber que existen riesgos imprevistos. Paralelamente a la evolución técnica de las nanotecnologías se prevé que habrá nuevas directrices y reglamentarias para dar cabida a los productos basados en la nanotecnología (Duncan, 2011). En este campo

aún falta realizar estudios para entender las implicaciones y efectos que puedan tener este tipo de productos, tanto en el medio ambiente como en la salud de los consumidores por lo que, aunque es un campo muy prometedor, es necesario complementarlo con estudios de los efectos de su uso y consumo.

LITERATURA CITADA

- Arshak K., Adley C., Moore E., Cunniffe C., Campion M., Harris, J. 2007. Characterisation of polymer nanocomposite sensors for quantification of bacterial cultures. *Sensors and Actuators B: Chemical* 126: 226-231.
- Arshak K., Velusamy V., Korostynska O., Oliwa-Stasiak K., Adley C. 2009. Conducting polymers and their applications to biosensors: emphasizing on foodborne pathogen detection. *IEEE Sensors Journal* 9: 1942-1951.
- Baughman R.H., Zakhidov A.A., De Heer W.A. 2002. Carbon nanotubes—the route toward applications. *Science* 297: 787-792.
- Bourtoom T. 2008. Edible films and coatings: characteristics and properties. *International Food Research Journal*, 15: 237-248.
- Cruz-Romero M.C., Murphy T., Morris M., Cummins E., Kerry J.P. 2013. Antimicrobial activity of chitosan, organic acids and nano-sized solubilisates for potential use in smart antimicrobially-active packaging for potential food applications. *Food Control* 34: 393-397.
- De Azeredo H.M. 2009. Nanocomposites for food packaging applications. *Food Research International* 42: 1240-1253.
- Dresselhaus M.S., Dresselhaus G., Eklund P.C. 1996. *Science of fullerenes and carbon nanotubes: their properties and applications*. Academic press.
- Duncan T.V. 2011. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science* 363: 1-24.
- Eichhorn S. J., Dufresne A., Aranguren M., Marcovich N.E., Capadona J.R., Rowan S.J., Gindl W. 2010. Current international research into cellulose nanofibres and nanocomposites. *Journal of Materials Science* 45: 1-33.
- Embuscado M.E., Huber K.C. 2009. Edible films and coatings for food applications (pp. 213-214). New York, NY, USA: Springer.
- Hubbe M.A., Rojas O.J., Lucia L.A., Sain M. 2008. Cellulosic nanocomposites: a review. *BioResources* 3: 929-980.
- Kumar A.P., Depan D., Tomer N.S., Singh R.P. 2009. Nanoscale particles for polymer degradation and stabilization-trends and future perspectives. *Progress in Polymer Science* 34: 479-515.
- Majeed, K., Jawaid, M., Hassan, A., Bakar, A. A., Khalil, H. A., Salema, A. A., & Inuwa, I. 2013. Potential materials for food packaging from nanoclay/natural fibres filled hybrid composites. *Materials and Design* 46: 391-410.
- Marsh K., Bugusu B. 2007. Food packaging-roles, materials, and environmental issues. *Journal of Food Science* 72: R39-R55.
- Mihindukulasuriya S.D.F., Lim L.T. 2014. Nanotechnology development in food packaging: A review. *Trends in Food Science and Technology* 40: 149-167.
- Moon R.J., Martini A., Nairn J., Simonsen J., Youngblood J. 2011. Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites. *Chemical Society Reviews* 40: 3941-3994.
- Moreira M.D.R., Pereda M., Marcovich N.E., Roura, S.I. 2011. Antimicrobial effectiveness of bioactive packaging materials from edible chitosan and casein polymers: assessment on carrot, cheese, and salami. *Journal of Food Science* 76 1: M54-M63.
- Pandey J.K., Reddy K.R., Kumar A.P., Singh R. P. 2005. An overview on the degradability of polymer nanocomposites. *Polymer Degradation and Stability* 88: 234-250.
- Ray S.S., Bousmina M. 2005. Biodegradable polymers and their layered silicate nanocomposites: in greening the 21st century materials world. *Progress in Materials Science* 50: 962-1079.
- Ray S., Quek S.Y., Easteal A., Chen X.D. 2006. The potential use of polymer-clay nanocomposites in food packaging. *International Journal of Food Engineering* 2: 1-11.
- Reddy M.M., Vivekanandhan S., Misra M., Bhatia S.K., Mohanty A.K. 2013. Biobased plastics and bionanocomposites: Current status and future opportunities. *Progress in Polymer Science* 38: 1653-1689.
- Rhim J.W., Park H.M., Ha C.S. 2013. Bio-nanocomposites for food packaging applications. *Progress in Polymer Science* 38: 1629-1652.
- Setkus A. 2002. Heterogeneous reaction rate based description of the response kinetics in metal oxide gas sensors. *Sensors and actuators B: Chemical* 87: 346-357.
- Shankar S., Rhim J.W. 2016. Polymer nanocomposites for food packaging applications. *Functional and Physical Properties of Polymer Nanocomposites* 29.
- Silvestre C., Duraccio D., Cimmino S. 2011. Food packaging based on polymer nanomaterials. *Progress in Polymer Science* 36: 1766-1782.
- Siró I., Plackett D. 2010. Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: a review. *Cellulose* 17: 459-494.
- Sorrentino A., Gorrasi G., Vittoria V. 2007. Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications. *Trends in Food Science and Technology* 18: 84-95.
- Thostenson E.T., Ren Z., Chou T.W. 2001. Advances in the science and technology of carbon nanotubes and their composites: a review. *Composites science and Technology* 61: 1899-1912.
- Velusamy V., Arshak K., Korostynska O., Oliwa K., Adley, C. 2010. An overview of foodborne pathogen detection: In the perspective of biosensors. *Biotechnology Advances* 28: 232-254.