



## ARTÍCULO DE REVISIÓN

### La nanotecnología en el desarrollo de envases para alimentos: Una supertecnología que afronta con éxito los desafíos actuales del envasado y amigable con el medio ambiente

Nanotechnology in the development of food packaging: A supertechonology that successfully addresses the current challenges of packaging and friendly to the environment

Alicia Lavado-Cruz; Jordy Huamán-Cano; Luz María Paucar-Menacho\* 

Universidad Nacional del Santa, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Agroindustrial y Agrónoma, Av. Universitaria s/n, Urb. Bellamar, Nuevo Chimbote, Ancash, Perú.

#### RESUMEN

La nanotecnología es un nuevo y excitante campo de investigación que transforma toda la industria alimentaria cambiando la forma de proceso de producción, envasado y consumo; otorgando mejores propiedades fisicoquímicas a los envases, biodegradables, adición de aditivos antimicrobianos y antioxidantes en la escala nano, incluso beneficia a los alimentos con funcionalidades mejoradas, en el sabor, textura, tiempo de conservación, transportabilidad, reducción de costos y principalmente en su composición nutricional, además están los nanosensores que detectan compuestos patógenos, químicos y toxinas en los alimentos, que ya no habrá la necesidad de usar etiquetas y fáciles de reciclar. En el presente trabajo se hizo una recopilación de muchas investigaciones, centrándonos especialmente en reconocer las características, propiedades y aplicaciones de la nanotecnología en el embalaje de alimentos que ayudan a contrarrestar la contaminación ambiental.

**Palabras clave:** nanotecnología; envasado de alimento; contaminación ambiental; nanocompuestos.

#### ABSTRACT

Nanotechnology is a new and exciting field of research that transforms the entire food industry. Provide better physicochemical properties to containers, biodegradable, antimicrobial additives and antioxidants in nano climbing, even benefit from foods with improved functionalities, in flavor, texture, shelf life, transportability, cost reduction and mainly in their Nutritional, in addition there are nanosensors that detect pathogenic compounds, chemicals and toxins in food, that there will be no need to use labels and easy to recycle. In the present work, a compilation of many investigations was made, focusing especially on recognizing the characteristics, the properties, and the applications of nanotechnology in the packaging of foods that help to counteract environmental pollution.

**Keywords:** nanotechnology; food packaging; environmental pollution; nanocomposites.

#### 1. Introducción

La nanotecnología es una ciencia practicada a nivel molecular puesto que tiene la capacidad de medir, manipular y organizar la materia a escala nanométrica, entre 1 y 100 nanómetros  $10^{-9}$  metros (Fuentes *et al.*, 2016). Es una nueva tecnología que tiene una amplia gama de aplicaciones, entre ellas, la más reciente es la elaboración de empaques biodegradables de alimentos, presentando muchos beneficios en la conservación de

los mismos. A la fecha, ya existen investigaciones en la producción de películas biodegradables, recubrimientos comestibles, envases inteligentes y activos, que presentan propiedades especiales, como son aumentar la vida útil de muchos productos alimenticios, detectar microorganismos y disminuir el impacto medioambiental de los envases no biodegradables (Salas *et al.*, 2015). Principalmente este trabajo centra en recoger información de los estudios realizados en la aplicación de la nanotecnología en la producción de envases

biodegradables, activos e inteligentes, como un sustituto parcial o total de los plásticos elaborados de petróleo, siendo una alternativa para reducir la contaminación del medio ambiente.

## 2. Envasado de Alimentos

El envasado de alimentos desempeña una función principal de prolongar la vida útil de los materiales alimenticios envasados a través de la prevención a los cambios desfavorables causados por contaminantes químicos, deterioro microbiológico, a los cambios imprevistos de temperatura, oxígeno, humedad y luz, conservando la calidad original e inocuidad del producto desde la producción hasta el consumo (Jaiswal et al., 2019).

En este sentido, un envase es un recipiente que sirve de barrera a gases (el dióxido de carbono, oxígeno y compuestos volátiles), al vapor de agua, la luz y a la inhibición de microorganismos patógenos, generando las condiciones necesarias para que el producto pueda continuar con sus funciones fisicoquímicas; pero aun así manteniendo las funciones anteriores y además con excelentes propiedades mecánicas, térmicas para evitar la pérdida de agua (Lee y Rahman, 2014).

En la actualidad la industria de envasado de alimentos está adoptando una industria dinámica e innovadora que está brindando nuevas tecnologías que satisfagan las necesidades de los consumidores. Por eso se está realizando una extensa investigación académico e industrial acerca de la nanotecnología de polímeros y se espera que complete los requerimientos del ciclo de vida del envase equilibrando costos, rendimiento y medio ambiente (Shankar y Rhim, 2018).

## 3. Desarrollo de la Nanotecnología

La nanotecnología es una super tecnología aplicable al envasado de alimentos, responde a las necesidades de los consumidores en la actualidad y juega un papel importante en la industria alimentaria moderna (Ghani et al., 2016). Actualmente, esta nueva tecnología hace frente a los nuevos estilos de vida, junto con la preocupación por el cuidado del medio ambiente (Biji et al., 2015; Lagaron et al., 2015; Lopez-Rubio et al., 2011), entre las aplicaciones de la nanotecnología al envasado de alimentos tenemos: mejores propiedades de barrera y antimicrobianas mecánicas, nanosensores de trazabilidad y seguimiento del estado de los alimentos durante transporte y almacenamiento, encapsulación de componentes de los alimentos o aditivos, entrega inteligente de nutrientes, bioseparación de las proteínas, el

rápido muestreo de contaminantes biológicos y químicos, nanoencapsulación de nutraceuticos (Jafarali et al., 2013), buscando obtener mejores propiedades físico químicas, reducción de la hidrofobicidad, así como proporcionar una mejor biodegradabilidad, que genera un valor agregado a los productos alimenticios envasados (Ferreira et al., 2015). Estas mejoras, tiene nuevos conceptos de envasado: envase activo, envases bioactivos y envase inteligente (Ferreira et al., 2015). En consecuencia, la nanotecnología es uno de los procesos principales para preservar la calidad de los productos alimenticios desde su fabricación, envasado y hasta su consumo (Fuentes et al., 2016), siendo capaz durante su tiempo de envasado detectar productos químicos, patógenos y toxinas en alimentos; nanopartículas bioactivas capaces de mantener los compuestos en condiciones ideales y nanocompuestos para optimizar las propiedades de flexibilidad, defensa a los gases, la humedad y la absorción de la radiación UV del material al que se incorporan, así como la estabilidad a la temperatura de los alimentos durante transporte y almacenamiento (Ferreira et al., 2015). En la agroindustria siempre se busca nuevos métodos de envasados de alimentos mucho más baratos, por lo cual tenemos envases con nanoreforzados, nanocompuestos y nanosensores (Dasgupta et al., 2015).

### Nanosensores

Actualmente, la industria alimentaria exige metodologías analíticas rápidas para evaluación de deterioro de los alimentos con el propósito de retrasar la senescencia del producto. Según un estudio realizado por Pavase et al. (2018), más de 1.3 millones de toneladas por año de alimentos envasados para el consumo humano son desperdiciados debido al deterioro, por lo que muchos investigadores se han motivado enfrentar estas deficiencias por la realización del campo emergente de la detección basados en la nanotecnología han surgido como nanosensores. Los nanosensores son herramientas multiuso muy simple, rentable y de consumo que ilustran un alcance potencial de sistemas que afirman la calidad de diversos productos perecederos tales como mariscos, carne de cerdo, carne de res, cordero y pollo para su viabilidad comercial.

Estos nanosensores están desarrollados para responder a los diferentes cambios ambientales, tales como a la temperatura, humedad relativa en almacenado, el tiempo de exposición al sol y a la contaminación microbiana entre productos. Estos presentan ventajas principales como: la detección

rápida con alto rendimiento, la rentabilidad del uso, la simplicidad, alto ahorro de energía, el ya no uso de etiquetas y por último ser fáciles de reciclar (Camacho et al., 2011), incluso nos brindan información a tiempo real.

### Nanocompuestos

Los nanocompuestos están constituidos por una matriz de biopolímero, fortalecidos con nanopartículas, plastificantes y compatibilizadores (Shankar y Rhim, 2019; Rhim y Kim, 2014), obtenidos de biopolímeros naturales (hidratos de carbono y proteínas) y de biopolímeros biodegradables (ácido poliláctico, alcohol de polivinilo, ácido poliglicólico, etc.) (Shankar et al., 2016, 2017). En algunos casos se utilizan nanopartículas como material de relleno para optimizar su rendimiento (Rhim y Kim, 2014).

Mayormente son utilizados por presentar propiedades antimicrobianas que autoesteriliza y desinfectantes que reducen significativamente la posibilidad de recontaminación de productos alimenticios procesados y simplificar el tratamiento de los materiales para eliminar la contaminación del producto (Shankar et al., 2016; Jaiswal et al., 2019) y así alargar la vida útil de los productos, además sirven como barrera ante el vapor de agua y otros gases, y una alta rigidez en su estructura (Rhim y Kim 2014; Jaiswal et al., 2019). Las películas de plástico conocidos como Durethan, comprenden nanopartículas de arcilla extendidas a través del envase, un gran conjunto de nanopartículas de silicato se combina conjuntamente en películas de poliamida y estas nanopartículas poseen la propiedad de impedir que el oxígeno, dióxido de carbono y la humedad llegue a carnes frescas y otros alimentos. Las partículas de nanoarcillas reprimen el proceso de difusión, puesto que operan como barrera impermeable a fin de que la calidad de los alimentos se encuentre en mejor estado, y el envase sea más resistente ante factores externos (Majid et al., 2018).

Smolander y Chaudhry (2010) afirman que los nanocompuestos pueden utilizarse en una variedad de aplicaciones de envasado de carnes procesadas, productos de confitería, cereales, queso, así como recubrimientos de extracción de zumos de diferentes frutas, cervezas, bebidas carbonatas y lácteos, debido a las propiedades que contienen.

Las aplicaciones potenciales de los nanocompuestos en el sector de envasado de alimentos se pueden observar en la Tabla 1, con respecto a las características de los productos.

El envasado activo es la aplicación más prometedora para combatir los desafíos de la seguridad alimentaria, los más estudiados son los que tienen incorporado nanopartículas de plata en los biopolímeros como el quitosano y el almidón, contra microorganismos de Gram positiva y Gram negativa (Rhim et al., 2006).

**Tabla 1**

Aplicaciones potenciales de nanocompuestos en el sector de envasado de alimentos

Características	Aplicación
Rendimiento mejorado de envasado (propiedades de barrera)	Extensión de la vida útil, reducción del grosor de la película, la reducción de residuos de empaque
Estabilidad térmica	Resistencia al calor y estabilidad dimensional
Propiedad óptica	Ver a través de embalaje, envases de filtración ultravioleta
Biodegradación	Biodegradación acelerada, envases ecológicos
Envases activos	Eliminador de oxígeno, envase antimicrobiano, extensión del periodo de validez
Envases inteligentes	Interacción con el medio ambiente, autolimpieza, auto sanación, indicación de deterioro
Monitoreo de condiciones del producto	Integrador de tiempo y temperatura, indicador de frescura, indicador de fuga, detector de gas
Nanosensor	Indicación de calidad de los alimentos, la detección y microbiológica, señalización y cambios bioquímicos
Nanocobertura	Refuerzo de la superficie del material de embalaje de base
Antimicrobiano	Antimicrobiano activo y superficies antifúngicas
Información sobre el producto	Identificación por radiofrecuencia, nanobarcode, la autenticidad del producto

Fuente: Rhim y Kim (2014).

### Nanomateriales

Los nanomateriales recomendados para la industria de envasado son las partículas TIC, nanotubos de carbono y nanolaminas de grafeno, por ser de fácil disponibilidad, peso ligero, bajo costo y de buen rendimiento (Dasgupta et al., 2015). Este tipo de nanomateriales alcanzan a detectar cambios de calidad y contaminación microbiana en los alimentos envasados, sin embargo, para generalizar su uso como material de embalaje, se necesita más investigación y desarrollo científico para aumentar la comercialización de diversos materiales de envasado como estos (Jaiswal et al., 2019).



### Nanorefuerzos

La utilización de envases con Nanorefuerzo, es una técnica vial que aumenta la resistencia a la tracción rellenando los huecos de los materiales de embalado (Dasgupta et al., 2015). Entre ellos, el más interesante es nanorefuerzos de celulosa (Ranjan et al., 2014). La importancia de sus resultados y donde ellos pueden ser aplicados, sugiriendo nuevas posibilidades de trabajos futuros que se pueden realizar, pero en función de los resultados obtenidos.

### 4. Tecnologías innovadoras de embalaje

En la actualidad la gran preocupación por el medio ambiente a causa de residuos plásticos no degradables va en aumento, y la nanotecnología teniendo como campo de acción la biología molecular y celular es capaz de solucionar esta problemática mediante materiales de embalaje biodegradables ideales obtenidos a partir de recursos renovables de base biológica (Shankar et al., 2018). Disminuyendo la dependencia en el uso de recursos de origen fósil para la producción de plásticos (Navia et al., 2015). La incorporación de nanomateriales para perfeccionar las propiedades de embalaje (flexibilidad, propiedades de barrera de gas, temperatura, estabilidad de la humedad, la luz y resistente a la llama, transparencia, la estabilidad mecánica) son de gran importancia (Momin, et al., 2013). El embalaje biodegradable puede sustituir a los materiales no biodegradables cuando la vida de almacenamiento del producto envasado es relativamente corta, como en alimentos mínimamente procesados (Sharma et al., 2016). Recientes investigaciones que el uso de materia prima renovable (harina de yuca) puede ser una alternativa para el desarrollo de empaques para diferentes aplicaciones industriales (alimentos, farmacéuticos, entre otros) con propiedades mecánicas similares a las tradicionales (Navia et al., 2015). Por otro lado, se está empleando nanoemulsiones como el agua en aceite (w/o) para producir helado (Nestlé) y pudines, con la función de estabilizar ingredientes biológicamente activos y entregar compuestos activos; también aumentar la vida comercial, liberación de sabor y bajo contenido de grasa del producto (Kadam y Kaur, 2018).

### 5. Uso de la nanotecnología en la producción de envases biodegradables

Ante el avance del uso de la nanotecnología en la producción de envases biodegradables han surgido nuevos conceptos: envases activos, inteligentes y bioactivos (Dasgupta et al., 2015).

### Envases activos

Son un innovador envasado de alimentos (Torres et al., 2014). Comprende interacciones entre el producto, el material y el medio ambiente para alargar el periodo de uso de los productos conservando la calidad original, seguridad y las propiedades sensoriales de los alimentos (Salgado et al., 2019). Estos realizan la liberación de compuestos antimicrobianos y antioxidantes en la superficie del alimento (Moraes et al., 2017) impidiendo el crecimiento de descomposición y de patógenos (Regina et al., 2014), retardando la degradación del alimento (Lomeli et al., 2014), además no afectan a la permeabilidad de las películas (Carvalho, et al., 2017) y proporcionan una mayor estabilidad del alimento en todos sus procesos oxidativos (Lira-Saldivar y Méndez-Argüello et al., 2018). Este proceso consiste en agregar un aditivo no tóxico en el empaque, diseñarlos y controlarlos para cada alimento (Soto, 2014), por lo que se plantea la iniciativa del uso de envases activos para el embalaje de alimentos. Incluso se puede utilizar nanocompuestos activos que ofrecen un gran potencial para el desarrollo de envases activos (Moura et al., 2014). Gonçalves et al. (2017) investigaron sobre la aplicación de la nanotecnología en envases activos a través de biopéptidos de microalgas que se aplican en nano fibras de PCL, ya que las algas contienen lípidos, carotenoides y ficobiliproteínas que son capaces de sintetizar compuestos inactivos. Así mismo Bio-nanocompuesto films se utilizan para una variedad de envases activos y biodegradables (Shankar y Rhim, 2019). Por otro lado, también existe la aplicación utilizando nano plata, nano óxido de magnesio, nano óxido de cobre, nano dióxido de titanio y nanotubos de carbono para el envasado alimentos antimicrobianos (Momin et al., 2013).

### Envases inteligentes

A diferencia de los envases de alimentos convencionales, los envases inteligentes tienen como función controlar y proporcionar información sobre la calidad del alimento envasado o de su entorno (Rhim et al., 2014). Responde a las condiciones ambientales, alertando a los consumidores sobre la contaminación por patógenos, detectando sustancias químicas nocivas o productos de degradación causada por el deterioro de alimentos, indica la calidad de los alimentos, e inicia la autocuración (Yu et al., 2018; Rhim et al., 2014). La aplicación de envasado inteligente de nanocompuestos se basa principalmente en el paquete que proporciona información sobre la calidad del

producto, tales como la integridad del envase (indicador de fugas), el tiempo e historia de la temperatura del producto (tiempo de indicadores de temperatura), y el enrutamiento del producto alimenticio envasado (códigos de barras nano o RFID) (Rhim et al., 2014). Estos sistemas generalmente se adjuntan como etiquetas o se imprimen en el material de embalaje (Musso, 2017).

### Envases bioactivos

En la actualidad, la industria alimentaria ha desarrollado alimentos funcionales, que además de sus efectos nutricionales inherentes, mejoran la salud y disminuyen el riesgo de contraer ciertas enfermedades (González et al., 2014). Los envases bioactivos van a describir los envases de alimentos a fin de producir efectos positivos sobre los consumidores, respecto a su salud (Salgado et al., 2019). Su formulación implica la complementación de compuestos bioactivos o funcionales dentro del material de envasado, que pueden interactuar con el producto alimenticio a través de su liberación controlada o la captura de las sustancias generadas presentes en los alimentos (Salgado et al., 2019).

### 6. Nanotecnología amigable con el medio ambiente

Anualmente la fabricación de envases de plásticos se subestima a superar los 330 millones de toneladas hasta el 2020, ascendiendo a una tasa compuesta anual del 5,3% desde el 2014 hasta el 2020 (Shankar y Rhim, 2019). Ante la preocupación por el medio ambiente, la nanotecnología mediante su aplicación innovadora en los distintos tipos de envase ya explicados es una gran alternativa de solución. Los envases usan películas comestibles y recubrimientos que mejoran la conservación de los alimentos, y reducen el embalaje tradicional (Majid et al., 2018), que son derivados del petróleo generando miles de toneladas de residuos contaminantes y a su vez no son saludables. A diferencia de los polímeros naturales, los envases tradicionales no son biodegradables en el medio natural y resiste desde hace cientos de años, dando lugar a la contaminación del medio ambiente (Mallakpour et al., 2017). Se realiza reciclaje de plástico a fin de reducir su efecto nocivo en el medio ambiente (Mallakpour et al., 2017).

En un estudio realizado por Kuknur et al. (2019), encontraron que nanosensores y nanocompuestos basado en proteínas de enzimas podían detectar contaminantes de pesticidas en el medio ambiente, ya que estos pesticidas poseen un alto

grado de toxicidad y su uso ha generado graves problemas de salud. Este proceso reduce los efectos negativos del uso de pesticidas, que tradicionalmente se emplean en almacenes de diversas industrias para combatir plagas, insectos y roedores.

Actualmente investigadores se han interesado en el estudio de la biodegradabilidad de nanomateriales, encontrando que pueden degradarse en corto tiempo después de ser desechados y producido por 2 etapas: despolimerización y mineralización.

### 7. Apreciación crítica

Este trabajo aborda información acerca de las diversas investigaciones sobre la nanotecnología en alimentos, utilizando biopolímeros naturales o aditivos orgánicos que son añadidos en los empaques y con descomposición más rápida que los plásticos. Según Resch et al. (2015), los países que han realizado investigación sobre nanotecnología en alimentos son: Estados Unidos, India y China, también se destaca algunos países europeos, y en representación de América Latina, Brasil y Chile. Podrían existir más de 200 centros activos de investigación y desarrollo en nanotecnología alimentaria (Jafarali et al., 2013), destacando HJ Heinz, Nestlé, Hershey, Unilever y Kraft, quienes invierten mucho dinero en investigación con nanotecnología y desarrollo. También están el Consorcio de Investigación Nanotek Global de Kraft de la India, quienes reflejan estrategias que desarrollan un futuro de la investigación (Miller et al., 2008).

Investigaciones acerca del uso de nanotecnología para la producción en envases de alimentos que puedan reducir la contaminación ambiental va en aumento (Figura 1), y cada vez los investigadores se interesan por estudiar más a fondo todas las bondades de esta tecnología. No obstante, se observa la ausencia de artículos de revisión que recopilen los beneficios en la salud y embalaje.

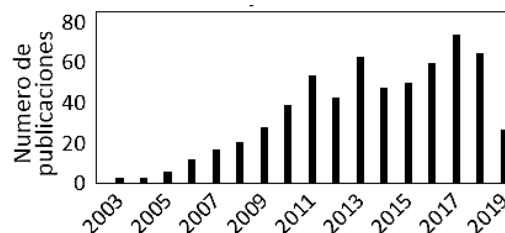


Figura 1. Publicaciones de artículos científicos sobre la nanotecnología y envasado de alimentos Información adquirida de la base de datos Scopus (criterios de búsqueda: ARTICLE TITLE, ABSTRACT, KEYWORDS: "nanotechnology in biopackaging for food" y tipo de DOCUMENT TYPE: "ALL").

## 8. Conclusiones

En este artículo se resume la literatura más reciente sobre la nanotecnología y su aplicación para combatir los desafíos del envasado de alimentos y amigable con el ambiente. Así mismo se logró mostrar las innumerables bondades que contribuye ésta súper tecnología, quién es la fuente para la producción de diferentes nanocompuestos activos, bioactivos e inteligentes y al mismo tiempo generando una elevada contribución con el medio ambiente a través de la producción de envases biodegradables. La nanotecnología ayuda mejorar la seguridad alimentaria debido al impacto positivo que genera en embalado de alimentos y métodos de conservación, que es evidenciado en numerosas investigaciones científicas.

### ORCID

L.M. Paucar-Menacho  <https://orcid.org/0000-0001-5349-6167>

## Referencias bibliográficas

- Biji, K.; Ravishankar, C.; Mohan, C.; Srinivasa, T. 2015. Smart packaging systems for food applications: a review. *Journal of Food Science and Technology*. 52: 6125-6135.
- Camacho, M.; Vega, J.; Campos, A. 2011. Uso de nanomateriales en polímeros para la obtención de bioempaques en aplicaciones alimentarias. *Revista de la Sociedad Química del Perú* 77: 292-306.
- Carvalho, D.; Takeuchi, K.; Geraldine, R.; De Moura, C.; Silveira, M. 2017. Active film of cellulose acetate incorporated with nanosuspension of curcumin. *Polímeros* 27: 70-76.
- Dasgupta, N.; Ranjan, S.; Mundekkad, D.; Ramalingam, C.; Shanker, R.; Kumar, A. 2015. Nanotechnology in agro-food: From field to plate. *Food Research International* 69: 381-400.
- Fuertes, G.; Soto, I.; Carrasco, R.; Vargas, M.; Sabattin, J.; Lagos, C. 2016. Intelligent Packaging Systems: Sensors and Nanosensors to Monitor Food Quality and Safety. *Journal of Sensors ID* 4046061.
- Ghaani, M.; Cozzolino, C.A.; Castelli, G.; Farris, S. 2016. An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector. *Trends in Food Science and Technology* 51: 1-11.
- Gonçalves, F.G.C.; Schmatz, D.A.; Uebel, L. da S.; Kuntzler, S.G.; Costa, J.A.V.; Zimmer, K.R.; Morais, M.G. 2017. Microalgae biopeptides applied in nanofibers for the development of active packaging. *Polímeros* 27(4): 290-297.
- González-Aguilar, G.; González-Córdoba, A.F.; Álvarez-Parrilla, E.; García Galindo, H.S.; Vallejo-Córdoba, B. 2014. Los alimentos funcionales: Un nuevo reto para la industria de alimentos. In: S.A (Ed.). CIAD and AGT Editors.
- Jafarali, M.; Chitra, J.; Jashbhai, P. 2013. Potential of Nanotechnology in Functional Foods. *Emir. J. Agric Food* 25: 10-19.
- Jaiswal, L.; Shankar, S.; Rhim, J. 2019. Applications of nanotechnology in food microbiology. *Methods in Microbiology* 46: 43-60.
- Kadam, D.; Kaur, A. 2018. Novel Approaches of Nanotechnology in Agro and Food Processing. *Handbook of Nanomaterials for Industrial Applications*. India. Pp. 271-291.
- Kuknur, P.; Larios, A.; Pulicharla, R.; Pachapur, V.; Brar, S.; Galvez-Cloutier, R. 2019. Advances in protein/enzyme-based biosensors for the detection of pesticide contaminants in the environment. In: S. Brar, V. Pachapur and K. Hegde, ed., *Tools, Techniques and Protocols for Monitoring Environmental Contaminants*, 1st ed. Canadá. Pp. 231-243.
- Lagaron, J.; Lopez-Rubio, A.; Fabra, M. 2015. Bio-based packaging. *Journal of Applied Polymer Science* 133: 42971.
- Lee, S.; Rahman, A. 2014. Intelligent packaging for food products. In J.H. Han(Ed.), *Innovations in food packaging*. 2nd ed. San Diego, CA: Elsevier Academic Press. 171-212 pp.
- Lira, R.; Méndez, B. 2018. Nanotechnology: A new scientific paradigm on agricultural production of the XXI century. *Ecosist. Recur. Agropec.* 5: 1-2.
- Lomeli, M.; Kestur, S.; Manríquez, R.; Iwakiri, S.; Bolzon, G.; Flores, T. 2014. Bio-composites of cassava starch-green coconut fiber: Part II - Structure and properties. *Carbohydrate Polymers* 15: 576-583.
- Lopez-Rubio, A. 2011. *Bioactive Food Packaging Strategies*. En: Laragón, J-M. *Multifunctional and Nanoreinforced Polymers for Food Packaging*. Woodhead Publishing. 736 pp.
- Majid, I.; Ahmad Nayik, G.; Mohammad Dar, S.; Nanda, V. 2018. Novel food packaging technologies: Innovations and future prospective. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 17: 454-462.
- Mallakpour, S.; Behranvand, V. 2017. Using recycled polymers for the preparation of polymer nanocomposites: properties and applications. En: Kumar, V.; Kumari, M.; Pappu, A. *Hybrid Polymer Composite Materials*. 430 pp.
- Miller, G.; Senjen, R. 2008. Out of the laboratory and on to our plates - Nanotechnology in food and agriculture. Available: [http://www.foeurope.org/activities/nanotechnology/Documents/Nano\\_food\\_report.Pdf](http://www.foeurope.org/activities/nanotechnology/Documents/Nano_food_report.Pdf).
- Momin, J.; Jayakumar, C.; Prajapati, J. 2013. Potential of nanotechnology in functional foods. *Emir. J. Agric Food*. 1: 10-19.
- Moraes, D.; Pereira, K.; Robson, M.; Moura, J.; Araujo, M. 2017. *Polímeros*, 27: 70-76.
- Moura, M.; Ahmad, F.; Souza, J.; Capparelli L. 2014. Preparation of New Edible Assets Nanobiocomposites contains nanoemulsion cinnamon and pectin. *Polymers*. 24: 486-490.
- Musso, Y.S. 2017. Desarrollo de películas proteicas para el envasado activo e inteligente de alimentos. Ph.D. thesis. UNLP.
- Navia, D.; Ayala, A.; Villada, H. 2015. Effect of cassava flour gelatinization on mechanical properties of bioplastics. *Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 13: 38-44.
- Pavase, T.; Lin, H.; Shaikh Q-ul-ain, Sameer H, Li Z, Ahmed I, Lv L, Sun L, Shah SBH, Kalhoro MT. 2018. Recent advances of conjugated polymer (CP) nanocomposite-based chemical sensors and their applications in food spoilage detection: A comprehensive review, *Sensors and Actuators: B. Chemical* 273: 1113-1138.
- Ranjan, S.; Dasgupta, N.; Chakraborty, A.; Samuel, S.; Chidambaram, R. 2014. Nanoscience and nanotechnologies in food industries: opportunities and research trends. *Journal of Nanoparticle Research* 16: 2464.
- Regina, M.; Ahmad, F.; Reghine, J.; Capparelli, L. 2014. Preparação de novos nanobiocompósitos comestíveis ativos contendo nanoemulsão de canela e pectina. *Polímeros*. 24: 486-490.
- Resch, S.; Farina, M. 2015. Nanotecnología en mapa del conocimiento en el sector agroalimentario. *RAM, REV. ADM. Mackenzie* 16: 51-75.
- Rhim, J.; Hong, S.; Park, H.; Ng, P. 2006. Preparation and Characterization of Chitosan-Based Nanocomposite Films with Antimicrobial Activity. *J. Agric. Food Chem.* 54: 5814-5822.
- Rhim, J.; Kim, Y. 2014. Biopolymer-Based Composite Packaging Materials with Nanoparticles. *Innovations in Food Packaging*.
- Salas, L.; Tapia, D.; Menegalli, C. 2015. Biofilms based on canihua flour (*Chenopodium pallidicaule*): design and characterization. *Quim. Nova*. 38: 14-21.
- Salgado, P.; Giorgio, L.; Musso, Y.; Mauri, A. 2019. Bioactive Packaging: Combining Nanotechnologies with Packaging for Improved Food Functionality. In: A. Rubio, M. Sanz, L. Gomez and M. Fabra, ed., *Nanomaterials for Food Applications*, 1st ed. Argentina. Pp. 233-270.
- Shankar, S.; Rhim, J. 2016. Preparation of nanocellulose from micro crystalline cellulose: The effect on the performance and properties of agar-based composite films. *Carbohydrate Polymers* 135: 18-26.
- Shankar, S.; Rhim, J. 2017. Preparation and characterization of agar/lignin/silver nanoparticles composite films with ultraviolet light barrier and antibacterial properties. *Food Hydrocolloids* 71: 76-84.

- Shankar, S.; Rhim, J. 2018. Bionanocomposite Films for Food Packaging Applications. In: Reference Module in Food Science. Elsevier.
- Shankar, S.; Rhim, J. 2019. Bio-Nanocomposites for Food Packaging Applications. Progress in Polymer Science. 38: 1629-1652.
- Shankar, S.; Rhim, J. 2016. Polymer Nanocomposites for Food Packaging Applications. Functional and Physical Properties of Polymer Nanocomposites Chapter 3: 29-55.
- Sharma, D.; Dhanjal, D. 2016. Bio-nanotechnology for active food packaging. Journal of Applied Pharmaceutical Science. 6: 220-226.
- Smolander, M.; Chaudhry, P. 2010. Las nanotecnologías en el envasado de alimentos. En: Chaudhry, P., Castillo, L., Watkins, R. (Eds.), Nanotecnologías en los alimentos. RSC Publishing, Cambridge, Reino Unido. Pp. 86-101.
- Soto, H. 2014. The development and evolution of natural antioxidant active packaging. Vitae 20: 9-10.
- Torres, A.; López, C.; Ríos, M.; Bastías, I.; Guarda, A.; Galotto, M. 2014. Effect of organoclay incorporation on thermal, physical and morphological properties of Ildpe nanocomposites for active food packaging applications. Journal of the Chilean Chemical Society 59: 2681-2685.
- Yu, H.; Park, J.; Kwon, C.; Hong, S.; Park, K.; Chang, P. 2018. An overview of nanotechnology in food science: Preparative methods, practical applications, and safety. Journal of Chemistry ID 5427978.

