



Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha
ISSN: 1665-0204
rbaez@ciad.mx
Asociación Iberoamericana de Tecnología
Postcosecha, S.C.
México

Almidón modificado: Propiedades y usos como recubrimientos comestibles para la conservación de frutas y hortalizas frescas

Ramos-García, Margarita de Lorena; Romero-Bastida, Claudia; Bautista-Baños, Silvia

Almidón modificado: Propiedades y usos como recubrimientos comestibles para la conservación de frutas y hortalizas frescas

Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, vol. 19, núm. 1, 2018

Asociación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, S.C., México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81355612003>

Almidón modificado: Propiedades y usos como recubrimientos comestibles para la conservación de frutas y hortalizas frescas

Modified starch: properties and uses as edible coatings for the preservation of fresh fruits and vegetables

Margarita de Lorena Ramos-García
Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México
 margarita.ramosg@uaem.edu.mx

Redalyc: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81355612003>

Claudia Romero-Bastida
Instituto Politécnico Nacional, México
 cbastida26@hotmail.com

Recepción: 08 Enero 2018
 Aprobación: 30 Marzo 2018
 Publicación: 30 Junio 2018

Silvia Bautista-Baños
Instituto Politécnico Nacional, México
 sbautis@ipn.mx

RESUMEN:

Los recubrimientos comestibles forman una capa delgada directamente sobre la superficie de los productos vegetales como una cubierta protectora. Son matrices continuas que pueden estar formuladas a base de lípidos, proteínas y carbohidratos. Los recubrimientos comestibles prolongan la calidad de los productos reduciendo sus procesos metabólicos vitales, además pueden utilizarse como vehículos de sustancias potencialmente activas que mejoran las propiedades nutricionales de los productos hortofrutícolas. El almidón es un carbohidrato que se utiliza para recubrir diversas frutas y vegetales, debido a que no produce cambios sobre su sabor y es de bajo costo, lamentablemente presenta limitaciones por su rápida retrogradación. Al modificar el almidón se mejoran las propiedades para determinadas aplicaciones, lo cual hace que sea más resistente a la humedad del medio ambiente y al crear nuevos enlaces promueve una mayor resistencia mecánica y mejora las propiedades de barrera a los gases; de esta manera, se forman películas con mejores propiedades que las obtenidas con el almidón nativo, prolongando la vida útil y retardando los procesos de senescencia en frutas y hortalizas de una manera más eficiente. Los recubrimientos de almidón modificado disminuyen la tasa de respiración, conservan por un tiempo prolongado las características nutricionales, disminuyen la pérdida de peso y mantienen la firmeza de los frutos. Los recubrimientos formulados con almidón modificado se convierten en una alternativa interesante, que permite mantener los atributos físicos, químicos y sensoriales de los productos agrícolas y prolongar su vida útil, reduciendo las pérdidas post cosecha. El objetivo de esta revisión fue describir las propiedades que presentan los recubrimientos a base de almidón modificado y su efecto para extender la vida útil de frutas y hortalizas.

PALABRAS CLAVE: Postcosecha, propiedades funcionales, atmósfera modificada, productos hortofrutícolas.

ABSTRACT:

Edible coatings form a thin layer directly on the surface of plant products as a protective cover. They are continuous matrices that can be formulated based on lipids, proteins and carbohydrates. Edible coatings prolong the quality of the products by reducing their vital metabolic processes, and they can also be used as vehicles of potentially active substances that improve the nutritional properties of the horticultural products. Starch is a carbohydrate that is used to coat various fruits and vegetables because it does not change their flavor and is inexpensive; unfortunately, it has limitations due to its rapid retrogradation. By modifying the starch, the properties for certain applications are improved, which makes it more resistant to moisture in the environment and by creating new bonds it promotes greater mechanical resistance and enhances the gas barrier properties; in this way, films with better properties than those obtained with native starch are formed, prolonging shelf life and delaying senescence processes in fruits and vegetables in a more efficient manner. Modified starch coatings decrease the respiration rate, preserve the nutritional characteristics for a long time, decrease weight loss and maintain fruit firmness. Coatings formulated with modified starch represent an interesting alternative, as they allow maintaining the physical, chemical and sensory attributes of agricultural products and prolong their useful

NOTAS DE AUTOR

* Autora de Correspondencia: Margarita de Lorena Ramos-García. E-mail: margarita.ramosg@uaem.edu.mx

life, reducing postharvest losses. The objective of this review was to describe the properties of modified starch-based coatings and their effect in extending the shelf life of fruits and vegetables.

KEYWORDS: Postharvest, functional properties, modified atmosphere, horticultural products.

INTRODUCCIÓN

Durante el manejo postcosecha de frutas y vegetales se han reportado pérdidas que van desde un 25% hasta un 60% del total de la producción, dependiendo del tipo de cultivo. Estas pérdidas se relacionan con un manejo postcosecha deficiente, la incidencia de enfermedades causadas por microorganismos patógenos, acelerada maduración de los frutos y daño mecánico (Beverly *et al.*, 2008; Márquez *et al.*, 2009). Por lo que, se han implementado varias tecnologías para disminuir estas pérdidas, tales como el almacenamiento a bajas temperaturas, la aplicación de tratamientos térmicos e irradiación y el uso de fungicidas químicos, entre otros. Sin embargo, estas tecnologías aumentan los costos, pueden causar daños al producto agrícola, contaminan el medio ambiente y originan aspectos negativos en la salud humana (Ramos *et al.*, 2010). Los materiales elaborados con polímeros sintéticos, se han utilizado comúnmente como empaques para conservar, transportar y almacenar productos alimenticios, debido a su estabilidad y resistencia. Sin embargo, han generado contaminación ambiental debido a su escasa biodegradabilidad (Cortes *et al.*, 2014). Actualmente, se han desarrollado formulaciones a base de compuestos naturales, para prolongar la vida de anaquel y mantener la calidad de los frutos y hortalizas. Estas formulaciones son conocidas como recubrimientos comestibles (RC).

Los RC pueden aplicarse a frutas y vegetales para aumentar su vida de anaquel, además pueden utilizarse como acarreadores de ingredientes potenciales activos tales como antioxidantes, antimicrobianos y nutracéuticos. La mayoría de RC, son elaborados a partir de polisacáridos por sus buenas propiedades de adherencia a los frutos, lo cual permite que sean más efectivos. El almidón nativo es un polisacárido que se ha utilizado en la elaboración de RC y se ha comprobado que al realizar una modificación en su estructura, permite mejorar las propiedades mecánicas y de permeabilidad de vapor de agua de los RC, así como prolongar la vida de anaquel de las frutas y hortalizas disminuyendo la respiración de los frutos, conservando sus características nutricionales y disminuyendo la pérdida de peso y firmeza al término del almacenamiento (Teixido, 2015).

TÓPICOS

Recubrimientos comestibles

Los RC se describen como una capa delgada que se forma directamente sobre la superficie de las frutas y las cubre como una envoltura protectora, produciendo una atmósfera modificada (Ávila-Sosa y López-Malo, 2008; Rojas-Graü *et al.*, 2008). Los RC pueden mejorar las propiedades sensoriales de los alimentos, ya que incrementan la vida de anaquel y reducen el uso de materiales sintéticos contaminantes, además son totalmente biodegradables y comestibles (Morales, 2011). Estas formulaciones crean una barrera física a los gases, regulando procesos de transferencia de oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua, etileno y otros compuestos volátiles (González *et al.*, 2014) además, pueden utilizarse como vehículos para adicionar compuestos con actividad antimicrobiana para reducir o evitar el desarrollo de microorganismos patógenos, aditivos, saborizantes, colorantes y antioxidantes (Figueroa *et al.*, 2011; Teixido, 2015; Maldonado 2016). Los RC pueden elaborarse a partir de un gran número de materiales incluyendo a los lípidos, proteínas y polisacáridos. Los RC elaborados con lípidos evitan la deshidratación de las frutas, pero sus propiedades mecánicas son pobres, además algunos lípidos provocan opacidad, lo que perjudica la apariencia del fruto

(Dussan-Sarria *et al.*, 2017). Los recubrimientos elaborados con proteínas presentan buenas propiedades de barrera al oxígeno, pero poca resistencia al vapor de agua (Vázquez-Briones y Guerrero-Beltrán, 2013).

Los materiales que se utilizan con mayor frecuencia para elaborar RC para uso en productos agrícolas son los polisacáridos, debido a que estos compuestos forman redes moleculares cohesivas; lo que les confiere buenas propiedades mecánicas tales como adherencia y flexibilidad (González *et al.*, 2014). Varios materiales tales como, celulosa, alginato, gelatina, goma guar, pectina de bajo metoxilo, quitosano, almidón y almidón modificado, se han utilizado para la formulación de recubrimientos, incluso se han utilizado combinaciones de polisacáridos para elaborarlos (Fakhouri *et al.*, 2015). Meza (2006) reportó que la mezcla de almidón de maíz, goma guar y pectina, logró en el recubrimiento buenas propiedades mecánicas y al incrementar la concentración de almidón de maíz al 2% se mejoraron las propiedades de flexibilidad y adherencia sobre frutos de pera.

Actualmente, existe un gran interés por la utilización del almidón para formular RC debido a la abundancia del producto, bajos costos de producción y a su biodegradabilidad. Su composición y sus propiedades varían según la fuente de donde se derive. Se puede aislar a partir de granos de maíz, trigo, arroz, sorgo, Y tubérculos (papa, yuca, etc.) además, se puede encontrar en semillas de leguminosas (frijol, haba y lenteja) y en frutas en estado inmaduro (plátano y mango) (Arguello *et al.*, 2014; Miranda-Villa *et al.*, 2013; Silva-Cristóbal, 2007; Hernández-Nava *et al.*, 2011). Los RC a base de almidón son insípidos, inodoros y transparentes, por lo tanto, no produce cambio en el sabor, aroma o apariencia de los alimentos (Chiumareli-Hubinger, 2012). Los RC a base de almidón presentan bajas propiedades de barrera a la humedad por su carácter hidrofílico y sus propiedades mecánicas pueden presentar limitaciones, debido a que la amilosa se retrograda con el tiempo y eso puede cambiar sus propiedades mecánicas (Acosta *et al.*, 2006; Zamudio-Flores *et al.*, 2011). Sin embargo, ofrecen varias ventajas al aplicarlo en frutas; tales como, retención del color, ácidos, azúcares, sabor y disminución de la pérdida de peso (Saavedra y Algecira, 2010; Almeida *et al.*, 2011). El color es el principal criterio que se utiliza para determinar si un fruto está maduro y listo para su consumo. Durante la maduración ocurren cambios de color en el fruto debido a la degradación de la clorofila y por la síntesis de pigmentos, tales como, los carotenoides y las antocianinas (Figueroa *et al.*, 2011; Centurión *et al.*, 2008).

Aplicación de RC en frutas y vegetales frescos

La tecnología de RC comestibles es un método prometedor para conservar la calidad de frutas y vegetales frescos. La investigación ha conducido a un mejoramiento de las propiedades funcionales de los RC, que dependen de las propiedades de la fruta a ser conservada (Ruelas-Chacón *et al.*, 2013).

RC como acarreadores de ingredientes potenciales activos

Una de las funciones distintivas de los RC es su capacidad de incorporar ingredientes activos en la matriz polimérica para mejorar su funcionalidad. Entre estos ingredientes se encuentran los antioxidantes (flavonoide, ácidos fenólicos, terpenos, entre otros), antimicrobianos (cera de abeja, aceites esenciales, quitosano) Y agentes funcionales (vitaminas, micronutrientes y ácidos orgánicos). Al incorporar estos ingredientes se mejora significativamente la calidad, vida de anaquel, estabilidad y seguridad de los frutos frescos (Figueroa *et al.*, 2011; Espinoza, 2015; Ramos-García *et al.*, 2010).

Agentes antioxidantes en los RC

Las frutas y verduras son ricas en compuestos antioxidantes, los cuales pueden ayudar a prevenir ECNT como el cáncer, enfermedades cardiovasculares y diabetes (Haminiuk *et al.*, 2012). Sin embargo después de la

cosecha, la respiración de las frutas aumenta, así como la producción de etileno, induciendo a la maduración y senescencia. La oxidación de la frutas daña la calidad visual, acelera el envejecimiento y reduce el contenido de compuestos antioxidantes. En las frutas mínimamente procesadas la principal limitante es la poca firmeza de los tejidos y el oscurecimiento de la zona cortada. Para contrarrestar esta problemática se pueden adicionar agentes antioxidantes a la formulación de los RC. Varios investigadores han adicionado agentes antioxidantes a los RC (ácido ascórbico, ácido cítrico, propóleo y aceites esenciales) para cubrir frutas y verduras en fresco así como mínimamente procesadas (mango, lechuga, aguacate, papa) y han reportado que reduce notablemente la oxidación de la fruta, aumenta el contenido de fenoles totales y de vitamina C, además de reducir la pérdida de peso (Robles-Sánchez *et al.*, 2013; Figueroa *et al.*, 2011; Patiño *et al.*, 2010; Ruiz *et al.*, 2015).

Agentes antimicrobianos en los RC

Durante el manejo postcosecha, puede dañarse la epidermis de los frutos u hortalizas la cual es la responsable de proveer la barrera física y química para prevenir el desarrollo de microorganismos en la superficie (Lara *et al.*, 2014). Para evitar este efecto, los frutos pueden sumergirse en soluciones acuosas que contenga compuestos antimicrobianos para poder extender la estabilidad microbiana de los frutos y vegetales (Ruelas-Chacón *et al.*, 2003).

Los RC y películas, pueden proveer un incremento en los efectos inhibitorios contra la pudrición causada por hongos y bacterias patógenas a través de concentraciones efectivas de los compuestos antimicrobianos activos en la superficie de los productos hortofrutícolas (Maqbool *et al.*, 2010; Ramos-García *et al.*, 2012). Existen varias categorías de estos compuestos que pueden incorporarse a los RC y películas los cuales incluyen: ácidos orgánicos (acético, benzoico, láctico, propiónico, sórbico), ésteres de ácidos grasos (gliceril monolaureato), polipéptidos (lisozima, peroxidasa, lactoferrina), aceites esenciales de plantas (canela, orégano, limón etc.), nitritos y sulfitos, entre otros (Díaz *et al.*, 2010; Ramos-García *et al.*, 2012; Guerrero, 2017).

Los aceites esenciales son una alternativa a los conservadores químicos y su uso cumple la demanda de los consumidores por productos naturales (Sokovic *et al.*, 2010). La actividad de los aceites esenciales ha sido ampliamente estudiada contra muchos microorganismos (Fisher and Phillips, 2008; Rota *et al.*, 2008; O' Bryan *et al.*, 2008). La actividad de los aceites en alimentos es todavía reducida debido al impacto sobre las propiedades sensoriales de los alimentos y a que su actividad puede variar dependiendo de las interacciones que tienen con los componentes del alimento (Gutiérrez *et al.*, 2008).

Para desarrollar una RC, muchos factores deben considerarse entre los cuales, se incluyen las propiedades del alimento y del RC, así como la efectividad del agente antimicrobiano incorporado. Por lo anterior, es necesario realizar estudios para evaluar el efecto antimicrobiano incorporado en la matriz antes de ser aplicado en la superficie de un sistema alimenticio real. Sin embargo, se han encontrado resultados positivos hasta ahora por la incorporación de estos aceites. Su mayor desventaja es su fuerte sabor, que puede cambiar el sabor original de los alimentos.

Nutracéuticos en los RC

Varios investigadores se han esforzado por incorporar en la formulación, minerales, vitaminas y ácidos grasos en los RC para mejorar el valor nutritivo de algunas frutas y vegetales que poseen bajos niveles de estos micronutrientes. Algunos investigadores (Pao y Zhao, 2004) han reportado que incrementando la concentración de minerales como el lactato de zinc de 5% al 20% o la vitamina E, se mejoran las propiedades de barrera al vapor de agua de películas de quitosano. Sin embargo, de entre las propiedades mecánicas, la tensión a la fractura se vio afectada, no así la elongación o la fuerza de punción. Tapia *et al.* (2008) reportaron

que la adición de ácido ascórbico (1%w/v) en RC de alginato y gelano, ayudaron a conservar el contenido natural de ácido ascórbico en papayas, ayudando, de esta manera a mantener la calidad nutricional a través del almacenamiento.

Recubrimientos de Almidón

Existe un gran interés por la utilización de almidón para formular recubrimientos comestibles debido a la abundancia del producto, bajos costos de su producción y a su biodegradabilidad. Su composición y sus propiedades varían según la fuente de donde se derive. Se puede aislar a partir de granos de maíz, trigo, arroz, sorgo, tubérculos (papa, yuca, etc.) además, se puede encontrar en semillas de leguminosas y en frutas (Arguello *et al.*, 2014). Los RC a base de almidón son insípidos, inodoros y transparentes, por lo tanto, no produce cambio en el sabor, aroma o apariencia de los alimentos (Chiumareli-Hubinger, 2012). Los recubrimientos a base de almidón presentan propiedades pobres de barrera a la humedad por su carácter hidrofílico y sus propiedades mecánicas pueden presentar limitaciones, debido a su semi cristalinidad y rápida retrogradación (Acosta *et al.*, 2006). Sin embargo, al modificar el almidón se mejoran las propiedades para determinadas aplicaciones, sin aumentar significativamente los costos de producción (Figueroa *et al.*, 2013).

Ventajas de modificar el almidón

Las propiedades funcionales del almidón varían en función de la cantidad y conformación de las moléculas de amilosa y amilopectina, la estructura granular, así como otros constituyentes menores. Sin embargo, las películas elaboradas de almidón nativo tienen limitaciones en su uso debido a sus bajas propiedades mecánicas (Kester y Fennema, 1986) por lo que la industria de la modificación del almidón está en constante evolución con numerosas posibilidades para mejorar los atributos positivos y eliminar las deficiencias de los nativos (Kaur *et al.*, 2012).

La utilización de almidón alto en amilosa proporciona mejores propiedades mecánicas debido a que la amilosa es la que proporciona la red tridimensional que formará la película. Además, su retrogradación es menor por lo que no cambiarán las propiedades con respecto al tiempo. La sustitución química y la hidrólisis ácida de almidones que contienen amilosa, mejoran la claridad y la flexibilidad de los recubrimientos. Se puede modificar la estructura del almidón nativo mediante varios métodos, logrando obtener un almidón modificado, en el cual se retrasa la reorganización de los puentes de hidrógeno proporcionando al recubrimiento mejor claridad, estabilidad, menor tendencia a la deformación y mejores propiedades mecánicas para su aplicación en productos agrícolas (Figueroa *et al.*, 2013).

Estas modificaciones se pueden llevar a cabo usando técnicas químicas, físicas, biológicas o enzimáticas (Schwartz, *et al.*, 2009). La modificación química usada frecuentemente es la sustitución (ejemplos: oxidación, acetilación, hidroxipropilación), en donde se introducen sustituyentes voluminosos en las cadenas de almidón reduciendo la cristalización de la amilosa y la amilopectina (Han *et al.*, 2012). Otros procesos involucran la esterificación o el entrecruzamiento (de Graaf *et al.*, 1998). Estas técnicas permiten aumentar el carácter hidrofóbico del almidón, además de aumentar la estabilidad térmica y las propiedades mecánicas del material (Fringant *et al.*, 1996). También se ha reportado que mediante estas técnicas se pueden disminuir el índice de solubilidad de las películas de almidón acetilado en un 13% y aumento en la tensión a la fractura (Chen *et al.*, 2002). El entrecruzamiento introduce enlaces covalentes adicionales (fosfato, adipato, diéster, etc.) entre las moléculas, estabilizando y fortaleciendo los gránulos. El carácter hidrofóbico de los grupos acetilo reduce las fuerzas entre las moléculas de almidón, produciendo una reducción en los puentes de hidrógeno como resultado de las repulsiones electrostáticas intra e intermoleculares. Las reacciones de

entrecruzamiento introducen enlaces covalentes intra e intermoleculares en lugares aleatorios de las cadenas de almidón.

En almidones con modificaciones duales, se obtienen los beneficios de cada una de las modificaciones sencillas (Lee *et al.*, 2015). Otros investigadores (Qiu y Peng, 2013) han encontrado que el orden en la doble modificación afecta las propiedades funcionales y fisicoquímicas de las películas. En general, las películas elaboradas con almidón entrecruzado muestran mayores valores de tensión a la fractura y porcentaje de elongación que las películas con almidones no modificados (Kim y Lee, 2002; Detduangchan *et al.*, 2014). La Tabla 1 muestra varias modificaciones químicas y sus efectos en las propiedades mecánicas y de barrera de las películas elaboradas.

TABLA 1
Modificaciones químicas de almidón y efecto en las propiedades de los RC

Modificación química	Agente modificador	Efecto en las propiedades de los RC	Referencia
Entrecruzamiento	Tripolifosfato de sodio	Mejoramiento de la tensión a la fractura y flexibilidad	Gutiérrez <i>et al.</i> , 2015
	Ácido bórico Ácido tartárico	Aumento de la tensión Reducción de la PVA	Khan <i>et al.</i> , 2006 Olivato <i>et al.</i> , 2012
	Ácido cítrico	Aumento en la tensión a la fractura Mejoramiento de las propiedades de barrera	Olivato <i>et al.</i> , 2012 Seligra <i>et al.</i> , 2016
Oxidación	Hipoclorito de sodio	Películas más claras y flexibles Disminución de la permeabilidad	Atichokudomchai <i>et al.</i> , 2004 Fonseca <i>et al.</i> , 2015
Hydroxipropilación	Oxido de propileno	Mayor elongación Disminución de la PVA	Polnaya, 2005
Dual	Agentes diferentes	Aumento en la resistencia y en la flexibilidad Disminución de PVA	Woggum <i>et al.</i> , 2014

Fuente: Shah *et al.*, 2016 con modificaciones.

Propiedades funcionales de los RC elaborados con almidón modificado

Propiedades mecánicas

Los almidones entrecruzados, oxidados, hidroxipropilados se producen como resultado de modificaciones químicas (Carlos, 2010). A su vez, las propiedades mecánicas dependen de la composición y estructura de los componentes de la fórmula; por lo tanto, la elección de las sustancias empleadas está relacionado con la función para la cual se desea utilizar el recubrimiento, la naturaleza del alimento y el método de aplicación (Romero-Bastida *et al.*, 2011). Cuando el RC se aplica en la superficie de las frutas se desarrollan dos fuerzas diferentes; cohesión de las moléculas dentro del recubrimiento y la adhesión entre el recubrimiento y la fruta. El grado de cohesión determina las propiedades mecánicas o de barrera y la adhesión asegura una larga durabilidad del RC en la superficie de la fruta (Moreno y Patiño, 2010). Varios autores han reportado que las propiedades mecánicas de los RC de almidón mejoran después de la modificación. Woggum *et al.* (2014), realizaron RC con almidón de arroz con doble modificación con oxido de propileno (8%) y 2% de trimetofosfato sódico. Los RC de almidón de arroz nativo mostraron menor tensión a la fractura que el RC de modificación dual (6 y 9 MPa, respectivamente, así como menor porcentaje de elongación (70 y 90 %, respectivamente). Gutiérrez *et al.* (2015) elaboraron recubrimientos con almidón de yuca y camote

modificado con 3% de trifosfato de sodio, los autores reportaron que los recubrimientos con almidón modificado mostraron mayor tensión a la fractura comparado con el almidón nativo (13.9 y 6.2 MPa, respectivamente).

Permeabilidad de vapor de agua (PVA)

La PVA es una de las propiedades más importantes de los RC y su medición puede predecir la pérdida o ganancia de agua en los alimentos cubiertos. Los métodos de conservación en los frutos deben prevenir o reducir la humedad del ambiente, para evitar una disminución en el peso al término del almacenamiento y se pueda conservar su firmeza por un tiempo mayor. La PVA se puede ver afectada por los componentes de la fórmula, la adherencia en el fruto, el espesor y la flexibilidad entre otros (Gutiérrez *et al.*, 2014). El efecto espesor de las películas influye sobre los valores de PVA, ya que a medida que aumenta el espesor de la película, disminuye la permeabilidad de vapor de agua (Pérez *et al.*, 2012). Además, la concentración de almidón modificado y la fuente botánica de donde se extrae puede afectar esta característica. Por ejemplo, Romero-Bastida *et al.*, (2011) evaluaron la PVA de películas de almidón modificado de plátano y reportaron que la PVA de la película fue de $18.34 \times 10^{-10} \text{ gm}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$. Sin embargo, al adicionar aceite de canela al 1 y 1.5% a la formulación los valores de PVA mejoraron, al compáralo con los RC a los que no se le aplicó. 13.58 y $5.07 \times 10^{-10} \text{ gm}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$, respectivamente). Las películas elaboradas con almidón modificado de maíz al 5% al combinarse con carboxi metil celulosa al 15% disminuyeron significativamente la PVA ($2.45 \times 10^{-7} \text{ g/m}$) (Babak *et al.*, 2010). Del mismo modo, Basiak *et al.*, (2017) elaboraron varias películas con almidón modificado; en las películas elaboradas con almidón de papa al 5%, la PVA fue de $1.24 \times 10^{10} \text{ gm}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$, mostrando menor PVA comparado con películas elaboradas con almidón modificado de maíz y trigo (8.72 y $6.05 \times 10^{10} \text{ gm}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$, respectivamente), todas las películas se adicionaron con glicerol al 1.5%.

Uso del almidón modificado para formular RC

El almidón modificado es una fuente renovable con capacidad filogénica que satisface aspectos de disponibilidad, biocompatibilidad, comestibilidad y propiedades funcionales, asegurando la calidad de los alimentos perecederos (Zahedi *et al.*, 2010). Por lo anterior, el empleo de almidón modificado para elaborar películas y coberturas se ha usado para estabilizar las propiedades funcionales y nutritivas de los alimentos tanto desde el punto de vista académico como a nivel industrial.

El uso de almidones acetilados, entrecruzados u oxidados, cera de abeja micro emulsionada y 2 antimicrobianos naturales: arginato láurico (2000mg/L) y natamicina (400mg/L) se aplicó por Ochoa *et al.*, (2017) para inhibir el desarrollo de microorganismos (*Rhizopus stolonifer*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Botrytis cinerea* y *Salmonella*), los cuales afectan la calidad de las frutas. Las películas mostraron una superficie homogénea y una disminución en la permeabilidad al vapor de agua y un aumento en la elongación comparado con el control.

Como RC, los almidones modificados mejoran el brillo de los frutos, haciéndolos más atractivos para el consumidor sin interferir con las propiedades sensoriales como los indicaron otros investigadores (Alves *et al.*, 2011) los cuales estudiaron la calidad de fresas recubiertas con un RC antibacteriano elaborado de almidones de diferentes fuentes tanto nativos como modificados. Encontraron que las coberturas, principalmente las de almidón de mandioca modificado, exhibieron los mejores resultados visuales al ser aplicadas a estos frutos.

Pérez *et al.* (2012) utilizaron almidón nativo y modificado vía entrecruzamiento con trimeta fosfato obtenido del almidón de ñame *Dioscorea trifida*. La solución formadora de película se aplicó en rebanadas de plátano inmaduro para evitar las reacciones de oscurecimiento enzimático durante una semana. Estos

investigadores encontraron diferencias estadísticas en el espesor de las películas, perfil de color, deformación punción en función de la modificación del almidón.

Guimarães *et al.* (2016) indicaron que el uso de RC de almidón con nanopartículas crearon una atmósfera modificada que condujo la conservación de la actividad antioxidante, volátiles y ácidos orgánicos de zanahorias frescas cortadas.

Recientemente, Hu *et al.* (2009) elaboraron películas de almidón de papa oxidado con glicerol como plastificante. Las películas fueron transparentes y flexibles, tuvieron una excelente capacidad anti escurrimiento para aceites vegetales y buena estabilidad en medios ácidos acuosos.

BENEFICIOS DE LAS CUBIERTAS DE ALMIDÓN MODIFICADO EN LA CONSERVACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES

Disminución de la tasa de respiración del fruto

Las frutas y hortalizas contienen células metabólicamente activas aun después de haber sido cortadas, estas células siguen produciendo compuestos y obteniendo energía para realizar el proceso de respiración. Cuando la tasa de respiración se acelera los productos pueden sufrir deterioro y disminuir su vida de anaquel. Los frutos climatéricos experimentan rápidamente cambios bioquímicos, ablandamiento de la pulpa, cambio de color, transformación de almidón a azúcares, cambios de olor, etc. lo cual modifica su apariencia y su composición (Márquez *et al.*, 2009). La mayoría de los alimentos requieren condiciones atmosféricas específicas para conservar su calidad durante el almacenamiento.

El mantener a las frutas en atmosferas modificadas, mantiene su calidad y retrasa la senescencia, prolongando su vida de anaquel (Ramos-García *et al.*, 2012). Barco *et al.* (2011) elaboraron RC a base de almidón modificado de yuca a diferentes concentraciones (2, 3 y 4%) adicionados con ácido cítrico, glicerina extracto de ajo, esencia de canela y sal para su evaluación en frutos de jitomate. Después de 20 días de almacenamiento se observó, que a medida que el porcentaje de almidón de yuca fue mayor, la tasa de respiración disminuyó. El RC que contenía 4% de almidón mostró una tasa de respiración al final del almacenamiento de $0.0247 \text{ mgCO}_2\text{kg}^{-1}$, mientras que el recubrimiento con 3% de almidón y el control, mostraron una tasa de respiración de 0.029 y $0.0301 \text{ mgCO}_2\text{kg}^{-1}$, respectivamente. La tasa de respiración de frutos de mango cubiertos con almidón de yuca al 15% y almacenados durante 10 días, fue menor que en los frutos NO tratados (140 y $210 \text{ mgCO}_2\text{kg}^{-1}$, respectivamente) (Figuroa *et al.*, 2013).

Solís *et al.* (2015) evaluaron el efecto de coberturas de almidón de yuca hidrolizado sobre aguacates a temperatura ambiente. Encontraron diferencias en la velocidad de respiración y color utilizando 4% de almidón ($155 \text{ mgCO}_2\text{kg}^{-1}$). Estos investigadores explicaron que, como la respiración es un proceso fisiológico que necesita oxígeno como sustrato, al poner una barrera física como lo es la cobertura, disminuyó el oxígeno presente y por lo tanto, se disminuyó la velocidad de respiración con la correspondiente extensión en la vida de anaquel. En frutos de mango el RC con almidón modificado de yuca, de igual manera, disminuyó la respiración comparado con el control (170 y $210 \text{ mgCO}_2\text{kg}^{-1}$, respectivamente) después de 10 días de almacenamiento (Figuroa *et al.*, 2013). EL RC de almidón modificado de yuca al 4% TUVO una tasa de respiración menor que el control (10231 y $11333 \text{ mgCO}_2\text{kg}^{-1}$), respectivamente. Sin embargo, al adicionarlo con aceite esencial de tomillo a 2000 ppm se redujo aún más su tasa de respiración ($9538 \text{ mg CO}_2\text{kg}^{-1}$) (Ordoñez *et al.*, 2014). Otros investigadores han encontrado resultados similares al trabajar con coberturas comestibles sobre jitomates (Zapata *et al.*, 2007) y con níspero japonés (Márquez *et al.*, 2009).

Conservación de características nutricionales

Las frutas y vegetales son una fuente importante de vitaminas y minerales. Sin embargo, durante la maduración o bien durante el procesamiento, el contenido de estos compuestos puede degradarse. Al adicionar recubrimientos a base de almidón modificado, estos compuestos pueden reducirse, o bien, se retienen por un tiempo prolongado, en el caso de azúcares, la cantidad se incrementa conforme aumentan los días de maduración de frutos de tomate (Repo y Encina, 2008; Álvarez-Herrera *et al.*, 2009; Barco *et al.*, 2011).

Cuando un producto agrícola se somete a un proceso de secado, los carotenoides presentes pueden degradarse por la exposición al calor. En un estudio realizado por Lago-Vanzela *et al.*, (2013) se desarrolló un RC a base de almidón de maíz modificado ($2.5\text{g } 100\text{ g}^{-1}$ agua) y se aplicó en rebanadas de calabaza deshidratada, las cuales retuvieron mayor porcentaje de carotenoides al término de la deshidratación (trans- α caroteno 108.55 %; trans- β caroteno 110.17 %) comparado con las rebanadas no tratadas (trans- α caroteno 96.55 %; trans- β caroteno 92.08 %).

Los ácidos orgánicos se encuentran de manera libre en la fruta y su disminución manifiesta que se está efectuando la senescencia del fruto. El ácido cítrico presente en frutos de mango, se mantuvo por mayor tiempo al cubrirse los frutos con una base de almidón modificado de yuca. Se registró una mayor concentración de ácido cítrico (0.9%) después de 10 días de almacenamiento, mientras que, en los mangos no tratados, la concentración fue de 0.45%. De igual forma, con la aplicación de RC a base de almidón modificado de yuca, frutos de mango registraron menor cantidad de sólidos solubles totales (SST) al final del almacenamiento, a diferencia de los frutos que maduraron sin tratamiento (11 y 13° Brix, respectivamente) (Figuroa *et al.*, 2013). En frutos de tomate se incrementó el contenido de SST en los frutos tratado con RC de almidón de yuca modificado al final del almacenamiento, comparado con los frutos no tratados (26.61 y 23.98 ° Brix, respectivamente) (Barco *et al.*, 2011).

Disminución de la pérdida de peso

La pérdida de agua en las frutas y hortalizas se debe a la difusión de vapor de agua, esto ocurre debido a un gradiente de presión entre el interior y el exterior del fruto. Este proceso impacta notablemente en la disminución de peso durante el almacenamiento (Figuroa *et al.*, 2011). EL RC con almidón modificado de yuca al 4% aplicados en jitomate, no se observó pérdida de peso durante los primeros 6 días de almacenamiento, mientras que, el fruto control mostró 7.69 % de pérdida de peso. Después de 22 días de almacenamiento, los frutos tratados con el RC de almidón modificado, mostraron menor porcentaje de pérdida de peso comparada con el control (8 y 14.81%, respectivamente) (Barco *et al.*, 2011). Las condiciones ambientales son un factor que ocasiona una pérdida de peso más acelerada. Los RC de almidón modificado de yuca al 4% en pimiento morrón, redujeron la pérdida de peso después de 12 días de almacenamiento, comparado con los pimientos a los que no se les aplicó el tratamiento (15 y 25%, respectivamente) (Ordoñez *et al.*, 2014).

Franco *et al.*, (2016) prepararon RC de almidón nativo y modificado (acetilado y oxidado) mezclado con gelatina y plastificantes (sorbitol, glicerol y manitol) para la conservación postcosecha de fresas. Sus resultados indicaron un incremento de 5 días en la vida de anaquel. Los RC elaborados con sorbitol presentaron una menor pérdida de peso en las fresas (28.17%) comparada con las fresas no cubiertas (53.44%). Aunque hubo pérdida de agua, la superficie de las fresas mostró flexibilidad, lo que ofreció una mayor resistencia a la ruptura. Los investigadores indican que puede deberse a la interacción entre el RC y la fruta. Los RC elaborados con almidón modificado presentaron una mejor textura y una disminución en el índice de maduración cuando se comparó con las elaboradas de almidón nativo.

Disminución en la pérdida de la firmeza

La firmeza es un indicador que determina la maduración de una fruta, niveles óptimos de consumo, transporte y manejo del producto, además, es una excelente variable para predecir la vida útil de un producto y determinar su grado de ablandamiento (Ciro *et al.*, 2007). Cuando se utilizó un RC de almidón modificado de yuca al 4%, La firmeza de frutos de jitomate, almacenados durante 22 días, se reportó mayor comparado con el control (8.91 y 2.54 Newton, respectivamente) (Barco *et al.*, 2011). Igualmente, La aplicación de un RC de almidón modificado de yuca, demostró que frutos de aguacate tratados con el recubrimiento mantuvieron una firmeza de 32 N, mientras que en los no tratados la firmeza fue de 4 N, después de 15 días de almacenamiento (Solís *et al.*, 2015).

Bessa *et al.*, (2015) evaluaron guayabas con RC de almidón de maíz y sorbitol a una temperatura de 22°C. Estos investigadores encontraron que la firmeza se mantuvo por más tiempo en los frutos recubiertos con el RC. La explicación que dieron es que debido a que los RC forman una barrera protectora alrededor de la fruta y obstaculizan la entrada de O₂ y la salida de CO₂, lo que reduce el metabolismo y la actividad enzimática. Además promueve la solubilización de sustancias pécticas de la pared celular, causando una disminución en el ablandamiento y consecuentemente un mantenimiento de la firmeza del fruto (Ferreira *et al.*, 2010).

Gomes *et al.*, (2016) realizaron un estudio para desarrollar y caracterizar RC elaborados de almidón fosfatado modificado del almidón nativo extraído de las semillas de *Swartzia burchelli* (jacaranda-banana) para aplicarse en la conservación pre cosecha de jitomates tipo cherry. Estos RC confirieron brillo, que dio una mejor apariencia a los frutos, manteniendo su índice de madurez y su firmeza hasta 21 días a 10 ± 2°C y 80 ± 5% de humedad relativa.

CONCLUSIONES

El almidón modificado es una fuente renovable que satisface aspectos de disponibilidad y biocompatibilidad. Además, la utilización de estos materiales para la elaboración de RC puede significativamente mejorar las propiedades mecánicas y de barrera a gases y vapores de éstos, así como sus propiedades funcionales cuando se aplican para cubrir frutas o vegetales frescos. Los RC a base de almidón modificado reducen la respiración de los productos, conservan el contenido nutricional, disminuyen la pérdida de peso y mantienen la firmeza de las frutas y hortalizas por un periodo de tiempo más largo; prolongando la calidad y la vida de anaquel de los productos hortofrutícolas.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, H., H.S Villada y P. Prieto. 2006. Envejecimiento de almidones termoplásticos agrios de yuca y nativos de papa por microscopía de fuerza atómica. *Inf. Tecnol.* 17: 71-78.
- Almeida, A., J. Reis., D. Santos., T. Veira y M. Costa. 2011. Estudio de la conservación de la papaya (*Carica papaya* L.) asociado a la aplicación de películas comestibles. *Rev.Venez. Cienc. Tecnol. Aliment.* 2: 49-60.
- Álvarez-Herrera, J., J. Galvis y H. Balaguera-López. 2009. Determinación de cambios físicos y químicos durante la maduración de frutos de champa (*Campomanesia lineatifolia* R & P). *Agron. colomb.* 27: 253-259.
- Alves, A. I., S.H. Saraiva., S. M. Lucia., L.J. Teixeira. and M.S. Junqueira. 2011. Qualidade de morangos envolvidos com revestimento comestível antimicrobiano à base de diferentes fontes de amido. *Enciclopédia Biosteria, Goiânia*, 71:1519- 1525.
- Argüello-García, E., J. Solorza-Feria., R. Rendón-Villalobos., F. Rodríguez-González., A. Jiménez-Pérez and E. Flores-Huicochea. 2014. Properties of edible films base on oxidized starch and zein. *Int J Polym Sci.* 2014: 1-9.

- Atichokudomchai, N., V. Saiyavit., C. Pavinee. 2004. A study of ordered structure in acid modified tapioca starch by ^{13}C CP/MAS solid-state NMR. *Carbohydr Polym.* 58:383–389.
- Ávila-Sosa, R y A. López-Malo. 2008. Aplicación de sustancias antimicrobianas a películas y recubrimientos comestibles. *TSIA.* 2: 4-13
- Babak, G., H. Almasi and A. Entezami. 2010. Physical properties of edible modified starch/carboxymethyl cellulose films. *IFSET* 11: 697-702.
- Barco, P., A. Burbano., S. Mosquera., H. Villada and D. Navia. 2011. Efecto del recubrimiento a base de almidón de yuca modificado sobre la maduración del tomate. *Rev. Lasallista Investig.* 8:96-103.
- Basiak, E., A. Lenart and F. Debeaufot. 2017. Effect of starch type on the physico-chemical properties of edible films. *Int J Biol Macromol.* 98:348-356.
- Bessa, R., L.H. Oliveira., D.A. Arraes., E.S. Batista., D.H. Nogueira., M.S. Silva., P.H. Ramos y A.R. Loiola. 2015. Filmes de amido e de amido/zeólita aplicados no recobrimento e conservação de goiaba (*Psidium guajava*). *Rev. Virtual Quím.* 7:2190-2201.
- Beverly, R.L., M.E. Janes., W. Prinyawiwatkula and H.K. No. 2008. Edible chitosan films on ready-to-eat roast beef for the control of *Listeria monocytogenes*. *Food Microbiol.* 25:534-537.
- Carlos Amaya, F. 2010. Propiedades fisicoquímicas y de digestibilidad de almidón de plátano (*Musa paradisiaca* L) sometido a una modificación dual. Tesis de Maestro en Ciencias en Desarrollo de Productos Bióticos-IPN, Morelos, México 62731.
- Centurion, A., S. Solís, C. Saucedo., R. Báez y E. Sauri. 2008. Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. *Rev. Fitotec. Mex.* 31: 1-5
- Chen, Y., Y. Zhang., Y. Ishikawa and T. Maekawa. 2002. Mechanical properties and water resistance of an acetylated starch-based plastic. *Transactions ASA* 45:1051-1056.
- Chiumarelli, M. and M. Hubinger. 2012. Stability, solubility, mechanical and barrier properties of cassava starch – Carnuba wax edible coatings to preserve fresh-cut apples. *Food Hydrocoll.* 28:59-67.
- Ciro, H., O. Buitrago and S. Pérez. 2007. Estudio preliminar de la resistencia mecánica y a la fractura y fuerza de firmeza para fruta de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín.* 60:3785-3796.
- Cortes, J., A. Fernández., S. Mosquera Y R. Velasco. 2014. Evaluación de propiedades mecánicas ópticas y de barra en películas activas de almidón de yuca. *Biotechnol. Sector agropecuario agroind.* 12: 89-97.
- Díaz, R., A. Casariego., J. Rodríguez., A. Martínez y M. García. 2010. Coberturas de quitosana como método de envasado activo en vegetales enteros cortados. *Ciencia y Tecnología de Alimentos* 20: 31-36.
- de Graaf R. A., A. Broekroelofs and Janssen L. 1998. The Acetylation of Starch by Reactive Extrusion. *Starch.* 50:198–205.
- Detduangchan N, W. Sridach and T. Wittaya. 2014. Enhancement of the properties of biodegradable rice starch films by using chemical crosslinking agents. *Int. Food Res. J.* 21:1225-1235.
- Dussán-Sarria, S., J. Ramirez-Yela and J. Hleap-Zapata. 2017. Conservación de mango mínimamente procesado usando un recubrimiento comestible a base de aceite de aguacate. *Inf. tecnol.* 28: 67-74.
- Espinoza, N. 2015. Efecto de un recubrimiento comestible funcional a base de goma guar sobre la calidad postcosecha de guayaba. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, Mexico 25315.
- Fakhouri, R., S. Martelli., T. Caon., J. Velasco. and L. Innocentini. 2015. Edible films and coatings base on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated red Crimson grapes. *Postharvest Biol Technol.* 109: 57-64.
- Ferreira, S. M. R., D. A. Quadros., E. N. Karkle., J.J. Lima., L.T Tullio y Freitas, R. J. S. 2010. Qualidade pós-colheita do tomate de mesa convencional e orgânico. *Ciênc Tecnol Aliment.* 30:858-864.
- Figuroa, J., J.Y. Salcedo y G. Narváez 2013. Efecto de recubrimientos comestibles a base de almidón nativo y oxidado de yuca sobre la calidad de mango (Tommy Atkins). *Temas Agrarios* 18: 94-105.

- Figuroa, J., J. Salced., Y. Aguas., R. Olivero and G. Narvaez. 2011. Recubrimientos comestibles en la conservación del mango y aguacate, y perspectiva, al uso del propóleo en su formulación. *Rev Colombiana Cienc Anim.* 3: 386-400.
- Fisher, K. and C. Phillips. 2008. Potential antimicrobial uses of essential in food: is citrus the answer? *Trends Food Sci and Technol* 19:156-164.
- Fonseca, L.M, J.R. Goncalves., S.L. Mello., V.Z. Pinto., A.R. Dias., A.C. Jacques y E.R. Zavareze 2015. Oxidation of potato starch with different sodium hypochlorite concentrations and its effect on biodegradable films. *LWT Food Sci Technol.* 60:714-720.
- Franco, M. J. Martin, A. A., Bonfirm, L. F. Caetano, J. Linde, G. A. & Dragunski, D. C. 2016. Effect of plasticizer and modified starch on biodegradable films for strawberry protection. *J. Food Process Preserv.* 41:1-9
- Fringant C., Desbrires J. & Rinaudo, M. 1996. Physical properties of acetylated starch-based materials: relation with their molecular characteristics. *Polymer.* 37(13):2663-2673.
- Gomes M. A, Ascheri D. P. R., De Campos A. J. 2016. Characterization of edible films of *Swartzia burchelli* phosphated starches and development of coatings for post-harvest application to cherry tomatoes. *Semina: Ciênc. Agrár.* 37(4): 1897-191.
- González, A., Olgún, N., Loayza, E y Severich, E. 2014. Almidón nativo y modificado. Obtención, cuantificación, modificación y usos. Universidad autónoma Gabriel Rene Moreno. Bolivia. <http://www.dui.uagrm.edu.bo/Informacion/InvestigacionesCHI/6-chi-2014.pdf>
- Guerrero, K. 2017. Evaluación de recubrimientos de quitosano con diferentes ácidos orgánicos para el control de la podredumbre gris causada por *Botrytis sp.* En la postcosecha de Mora de Castilla (*Rubus glaucus*). Tesis profesional. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador 170525.
- Guimarães, I. C., K.C. dos Reis., E.G. Menezes., P.R. Borges., A. C. Rodrigues., R. Leal., T. Hernandez., E.H. Calvalho. and E.V. Vilas Boas. 2016. Combined effect of starch/montmorillonite coating and passive MAP in antioxidant activity, total phenolics, organic acids and volatile of fresh-cut carrots. *Int J of Food Sci Nutr.* 67: 141-152.
- Gutiérrez, T., M. Soledad., E. Pérez and L. Fama, L. 2014. Structural and mechanical properties of edible films made from native and modified cush-cush yam and cassava starch. *Food Hydrocoll.* 45: 211-217.
- Gutierrez, J., C. Barry-Ryan and P. Bourke. 2008. The antimicrobial efficacy of plant essential oil combinations and interactions with food ingredients. *Int J Food Microbiol.* 124:91-97.
- Gutierrez, T., M. Tapia and E. Pérez. 2015. Structural and mechanical properties of edible films made from native and modified cush-cush yam and cassava starch. *Food Hydrocoll.* 45:211-217.
- Haminiuk, C., G. Maciel., M. Plata-Oviedo y R. Peralta. 2012. Phenolic compounds in fruits- an overview. *Int J Food Sci Technol.* 47: 2023-2044
- Han, F., M. Liu., H. Gong., S. Lü., B. Ni and B. Zhang . 2012. Synthesis, characterization and functional properties of low substituted acetylated cornstarch. *Int J of Biol Macromol.* 50: 1026-1034.
- Hernández-Nava, R., L. Bello-Pérez., E. San Martín-Martínez., H. Hernández-Sánchez and R. Mora-Escobedo. 2011. Effect of extrusion cooking on the functional properties and starch components of lentil/banana blends: response Surface analysis. *Rev Mex Ing Quím.* 10: 409-419.
- Hu, G., J. Chen. and J. Gao. 2009. Preparation and characteristics of oxidized potato starch films. *CarbohydrPolym* 76: 291-298.
- Kaur B., F. Ariffin., R. Bhat and A. Karim. 2012. Progress in starch modification in the last decade. *Food Hydrocoll.* 26: 398-404
- Kester J. J. and O.R. Fennema. 1986. Edible films and coatings: a review. *Food Technol.* 40: 47-59.
- Kim, M. and S. Lee. 2002. Characteristics of crosslinked potato starch and starch-filled linear low-density polyethylene films. *Carbohydr Polym.* 50:331-337.
- Khan, A.M., S.K. Bhattacharia., M.A. Kader., K. Bahari. 2006. Preparation and characterization of ultraviolet (UV) radiation-cured bio-degradable films of sago starch/PVA blend. *Carbohydr Polym* 63:500-506

- Lago-Vanzela, E. S. P. do Nascimento., E.A.F. Fontes., M.A. Mauro. And M. Kimura. 2013. Edible coatings from native and modified starches retain carotenoids in pumpkin during drying. *LWT Food Sci Technol* 50: 425-425.
- Lara, I., B. Belge and L. Goulao. 2014. The fruit cuticle as a modulator of postharvest quality. *Postharvest Biol Technol.* 87: 103-112.
- Lee S.J., J. Y. Hong., E.J. Lee., H.J. Chung and S.T. Lima. 2015. Impact of single and dual modifications on physicochemical properties of japonica and indica rice starches. *Carbohydr Polym.* 122:77-83.
- Maldonado, N. 2016. Desarrollo y estudio de un recubrimiento comestible a base de carragenina para piña de IV gama. Tesis profesional. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador 170525.
- Maqbool, M., A. Ali., S. Ramachandran., D. Smith y P. Alderson. 2010. Control of Postharvest anthracnose of banana using a new edible composite coating. *Crop Prot.* 29: 1136-1141.
- Márquez, C., J. Cartagena y M. Pérez-Gago, M. 2009. Efecto de recubrimientos comestibles sobre la calidad en postcosecha del níspero japonés (*Eriobotrya japonica* T.) *VITAE COLUMBIA.* 16: 304-310.
- Meza, A. 2006. Desarrollo de películas o recubrimientos comestibles con potencial para el recubrimiento de frutas frescas. Proyecto de especialización en biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana- Iztapalapa 76p. México.
- Miranda-Villa, P., Y. Marrugo-Ligardo y P. Montero-Castillo. 2013. Caracterización funcional del almidón de frijol Zaragoza (*Phaseolus Lunatus* L.) y cuantificación de su almidón resistente. *Tecno-Lógicas.* 30:17-32.
- Morales, M. 2011. Generalidades y aplicación de películas y recubrimientos comestibles en la cadena hortofrutícola. Tesis profesional. Universidad Agraria Antonio Narro. Coahuila, México 25315.
- Moreno, H., y N. Patiño. 2010. Elaboración de un recubrimiento comestible antimicrobial y antioxidante a partir de aceite de orégano (*Origanum vulgare*) aplicado a la ensalada primavera mínimamente procesada de la empresa Defrescura. Tesis profesional. Universidad La Salle. Bogotá, Colombia 110231.
- O'Bryan, C., P. Crandall., V. Chalova and S. Ricke. 2008. Orange essential oils antimicrobial activities against *Salmonella* spp. *J Food Sci.* 73: 264-267.
- Ochoa T.A., B. E. Almendárez., A.A. Reyes., D. M. Pastrana. and G.F. López. 2017. Design and Characterization of Corn Starch Edible Films Including Beeswax and Natural Antimicrobials. *Food Bioprocess Tech.* 10: 103-114.
- Olivato JB, M.V.E. Grossmann., A.P. Bilck y F. Yamashita. 2012. Effect of organic acids as additives on the performance of thermoplastic starch/polyester blown films. *Carbohydr Polym* 90:159-64.
- Ordoñez, D., D. Zúñiga., J. Hoyos., S. Mosquera y L. Mosquera. 2014. Efecto de recubrimiento de almidón de yuca modificado y aceite de tomillos aplicado al pimiento (*Capsicum annum*). *Rev Mex Cienc Agríc.* 5: 795-805.
- Pao, S. and Y. Zhao. 2004. Incorporation of a high concentration of mineral or vitamin into chitosan-based films. *J Agric Food Chem.* 52:1933- 1939.
- Patiño, N., H. Moreno y M. Chaparro. 2010. Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible antimicrobial y antioxidante a partir de aceite esencial de orégano (*origanum vulgare*) en la calidad y vida útil de la lechuga (*Lactuca sativa* L) mínimamente procesada. *Revista Alimentos Hoy.* 26: 43-59.
- Pérez, E., X. Segobia., M. Tapia and M. Schroeder. 2012. Native and cross-linked modified Dioscorea trifida (cush-cush yam) starche as bio-matrices for edible films. *J Cell Plast.* 48: 545-556.
- Polnaya, F. 2005. Modifikasi Ganda Pati Sagu Hidrosipropyl-Asetil Untuk Pembuatan Edible Film. Tesis profesional. Facultad de Tecnología Agrícola. Universidad de Gadjah Mada. Indonesia.
- Qiu, L., F. Hu, Y. Peng. 2013. Structural and mechanical characteristics of film using modified corn starch by the same two chemical processes used in different sequences. *Carbohydr Polym.* 91:590-596.
- Ramos-García, M., S. Bautista-Baños., L. Barrera-Necha., E. Bosquez-Molina., I. Alia-Tejagal, y M. Carrillo-Estrada. 2010. Compuestos antimicrobianos adicionados en recubrimientos comestibles para uso en productos hortofrutícolas. *Revi Mex Fitopatol.* 28:44-57.
- Ramos-García, M., E. Bosquez-Molina., J. Hernández-Romano., G. Zavala-Padilla., E. Terrés-Rojas., I. Alia-Tejagal., L. Barrera-Necha., M. Hernández-López and S. Bautista-Baños. 2012. Use of chitosan-based edible coating in

- combination with other natural compounds, to control *Rhizopus stolonifer* and *Escherichia coli* DH5 α in fresh tomatoes. *Crop Prot.* 38: 1-6.
- Repo, R. y C. Encina. 2008. Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Rev Soc Quím Perú.* 74: 108-124.
- Robles-Sánchez, R., M. Rojas-Graü, I. Odriozola-Serrano, G. González-Aguilar y O. Martín-Belloso. 2013. Influence of alginate-based edible coating as carrier of antibrowning agents on bioactive compounds and antioxidant activity in fresh-cut Kent mangoes. *LWT Food Sci Technol.* 50: 240-246.
- Rojas-Graü, M., M. Tapia and O. Martín-Belloso. 2008. Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut Fuji apples. *LTW.* 41: 139-147.
- Romero-Bastida, C., P. Zamudio-Flores y A. Bello-Pérez. 2011. Antimicrobials in oxidized banana starch films: Effect on antibacterial activity, microestructure, mechanical and barrier properties. *Rev Mex Ing Quím.* 10: 445-453.
- Rota, M., Herrera, A., Martínez, R., Sotomayor, J. and Jordán M. 2008. Antimicrobial activity and chemical composition of *Thymus vulgaris*, *Thymus zygis* and *Thymus hyemalis* essential oils. *Food Control.* 19: 681-687.
- Ruelas-Chacón, X., M. Reyes-Vega, B. Valdivia-Urdiales, J. Contreras-Esquivel, J. Montanez-Saenz, A. Aguilera-Carbo y R. Peralta-Rodríguez. 2013. Conservación de frutas y Hortalizas Frescas y Mínimamente procesadas con recubrimientos comestibles. *AQM.* 5: 31-37.
- Ruiz, J., T. Madera y J. Y Ocupicio. 2015. Evaluación de un recubrimiento comestible a base de agar y ácido cítrico. *Investigación y Ciencia* 23: 33-39.
- Saavedra, N. y N. Algecira. 2010. Evaluación de películas comestibles de almidón de yuca y proteína aislada de soya en la conservación de fresas. *Nova-Publicación científica de Ciencias Biomédicas* 8: 121-240.
- Schwartz, D. and R.L. Whistler. 2009. History and future of starch. P. 1-10. In: BeMiller J. and R. Whistler (Eds.). *Starch: Chemistry and Technology.* Elsevier Inc. New York.
- Seligra, P.G., C.M. Jaramillo, L. Fama and S. Goyanes. 2016. Biodegradable and non-retrogradable eco-films based on starch-glycerol with citric agent as cross-linking agent. *Carbohydr Polym* 138:66-74.
- Shah, U. F. Naqash, A. Gani and F.A. Masoodi. 2016. Art and science behind modified starch edible films and coatings: A review. *Compr Rev Food Sci Saf.* 15: 568-580.
- Silva-Cristóbal, L., P. Osorio-Díaz y L. Bello-Pérez. 2007. Digestibilidad de almidón de haba (*Vicia faba* L.). *Agrociencia* 41: 845-852
- Sokovic, M., J. Glamoclija, P. Marin, D. Brkic and L. van Griensven. 2010. Antibacterial effects of the essential oils of commonly consumed medical herbs using an In vitro model. *Molecules.* 15: 7532-7546.
- Solís, D., Pineda, L., Mosquera, S., Hoyos, J and Villada, H. 2015. Coating effect of Modified cassava starch in Hass avocado. *Rev. P + L.* 10: 31-37
- Tapia, M. S., M.A. Rojas-Grau, A. Carmona, F.J. Rodríguez, R. Soliva-Fortuny and O. Martín-Belloso. 2008. Use of alginate and gellan-based coatings for improving barrier, texture and nutritional properties of fresh-cut papaya. *Food Hydrocoll.* 22:1493-1503.
- Teixido, A. 2015. Uso de Nanoemulsiones enriquecidas en betacaroteno y vitamina E como recubrimientos comestibles: Estudio de la bioaccesibilidad de sustancias activas. Tesis profesional, Facultad de Medicina Universitat de Lleida, España 25008.
- Vázquez-Briones, M y J. Guerrero-Beltrán. 2013. Recubrimientos de frutas con biopelículas. *TSIA.* 7: 5-14.
- Woggum, T., P. Sirivongpaisal and W. Thawien. 2014. Properties and characteristics of dual-modified rice starch based biodegradable films. *Int J Biol Macromol.* 67: 490-502.
- Zahedi Y, B. Ghanbarzadeh and N. Sedaghat. 2010. Physical properties of edible emulsified films based on pistachio globulin protein and fatty acids. *J Food Eng.* 100: 102-108.
- Zamudio-Flores, P., Gutierrez-Meráz, F. and Bello-Pérez, L. 2011. Effect of dual modification of banana starch and storage time on thermal and crystallinity. *Starch.* 63: 550-557.
- Zapata, P.; Valero, D.; Guillén, F.; Martínez, D. & Serrano, M. (2007). Mantenimiento de la calidad de tomates mediante recubrimiento de zeína. *Tecnología Pos cosecha y Agro exportaciones*, 9(9), 1384-1393