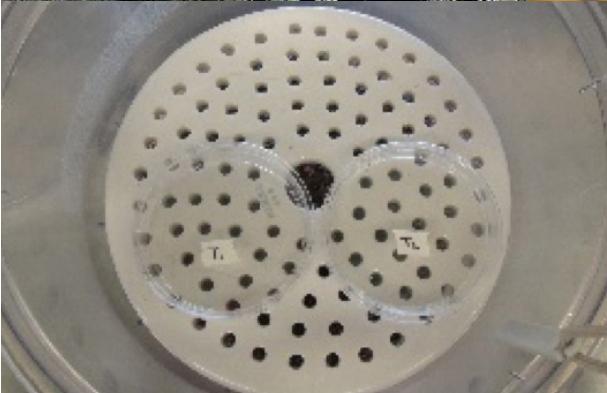


tsia

TEMAS SELECTOS DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS



Editorial

En esta oportunidad de escribir una pequeña introducción, me permito felicitar en general a todos los estudiantes y profesores del departamento de IQAA (¡feliz, exitoso y productivo 2014!), y en particular, a aquellos estudiantes y profesores que directa o indirectamente estuvieron involucrados en generar un número más de la revista departamental TSIA.

La decisión de escribir artículos científicos no es una tarea fácil, pero sí es muy motivante, porque significa dejar una huella de nuestra presencia y/o trabajo en el ambiente académico y de investigación. Es una actividad que culturalmente no nos la transmiten en México, somos un país con muy pocas publicaciones en comparación con otros países y con un número escaso de revistas nacionales. Por lo que, como departamento y en particular como posgrado de excelencia, los profesores de IA hemos tratado de inculcar este ejercicio en nuestros estudiantes de maestría y de doctorado. La labor que desarrollan los editores de nuestra revista TSIA es ardua y sobresaliente, mi reconocimiento y felicitación.

Hace 34 años que me incorporé al Dpto. de Ing. Química y Alimentos, aún no terminaba la MC (me faltaba el examen de grado) y recuerdo que en esos años (1980-1985), el querido y admirado Dr. Andrés Vasconcelos estaba como coordinador de la carrera de Ingeniería de Alimentos. En alguno de los primeros años de trabajo, en una amena plática con él, Andrés me transmitió una idea que me hizo reflexionar mucho y que desde hace muchos años es parte de mi persona: "publicar o morir". Mi respuesta interna inmediata fue, "ya hice el examen de grado y soy coautor de un artículo, ya contribuí"; con el paso de los años y mi asentamiento en esta gran Universidad entendí y compartí con ese buen amigo y excelente colega (qepd), el significado y la importancia de esta actividad tan trascendente, la de escribir y publicar artículos.

En este número y como ha sido en los anteriores, se presentan tópicos muy interesantes, informativos y de amplia diversidad en la ingeniería y en la ciencia de los alimentos, tales como: el agave y sus productos, las propiedades funcionales del garbanzo, la encapsulación de probióticos, la aplicación de aceites esenciales como antimicrobianos, la utilización de biopolímeros en la generación de películas comestibles y su aplicación en el recubrimiento de frutas, que seguramente serán de enorme utilidad para los lectores del TSIA.

Sigamos fomentando y apoyando a nuestros estudiantes de posgrado para que continúen participando en esta enorme y satisfactoria labor de la difusión del conocimiento.

Dr. Jorge F. Vélez Ruiz

Profesor

Departamento de Ingeniería
Química, Alimentos y Ambiental
Universidad de las Américas Puebla

Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos

UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS PUEBLA

Publicación Semestral

Volumen 7, número 2 (agosto-diciembre 2013)

EDITORIA RESPONSABLE

María Eugenia Bárcenas Pozos

CONSEJO EDITORIAL

Emma Mani López

María Elena Sosa Morales

María Teresa Jiménez Munguía

Fidel Tomás Vergara Balderas

Certificado de reserva de derechos

04-2010-080615025900-102

Certificado de licitudo de título y contenido

15430

DOMICILIO:

Fundación Universidad de las Américas, Puebla

Ex hacienda Sta. Catarina Mártir S/N

San Andrés Cholula, Puebla.

C.P. 72810, México

Teléfono: 222 229 2126

DISTRIBUIDO POR:

Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental

Fundación Universidad de las Américas, Puebla

IMPRESIÓN:

Talleres gráficos

Universidad de las Américas Puebla

Ex hacienda Sta. Catarina Mártir S/N

San Andrés Cholula, Puebla. C.P. 72810, México

UDLAP®

Contenido

Volumen 7 / No. 2 Agosto – Diciembre 2013

EDITORIAL

ARTÍCULOS DE REVISIÓN

5 Recubrimientos de frutas con biopelículas

M.C. Vázquez-Briones y J. A. Guerrero-Beltrán

15 Condiciones gastrointestinales modelo utilizadas para evaluar probióticos encapsulados

A. R. Juárez-Roldán y M. T. Jiménez-Munguía

25 Propiedades nutricionales y funcionales del garbanzo (*Cicer arietinum L.*)

V.G. Aguilar-Raymundo y J.F. Vélez-Ruiz

35 Extractos y aceite esencial del clavo de olor (*Syzygium aromaticum*) y su potencial aplicación como agentes antimicrobianos en alimentos

A. E. Aguilar-González y A. López-Malo

42 Biopolímeros y su integración con polímeros convencionales como alternativa de empaque de alimentos

R. Cruz-Morfin, Y. Martínez-Tenorio y A. López-Malo Vigil

53 El agave y sus productos

A.S. Castro-Díaz y J.A. Guerrero-Beltrán

Recubrimientos de frutas con biopelículas

M.C. Vázquez-Briones* y J. A. Guerrero-Beltrán

Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla.

Ex hacienda Sta. Catarina Mártir S/N, San Andrés, Cholula, Puebla. C.P.72810. México.

RESUMEN

El uso de recubrimientos comestibles es una tecnología que está ganando importancia para prolongar la vida útil de frutas frescas y mínimamente procesadas, debido a que actúan como una barrera contra la humedad. La pérdida de humedad en frutas, disminuye su firmeza y su peso provocando cambios en el sabor y la apariencia. Además presentan permeabilidad a gases, en fruta almacenada disminuye su respiración, evita pérdida de compuestos volátiles y retarda la oxidación enzimática. Éstos reducen la abrasión durante la manipulación de la fruta y son portadores de ingredientes funcionales (antimicrobianos y antioxidantes). Se elaboran a partir de lípidos, polisacáridos, proteínas o combinaciones. Actualmente es una investigación de gran alcance, debido a la necesidad del consumo de alimentos saludables. El propósito de esta revisión es presentar avances que se tienen en los últimos años de recubrimientos comestibles aplicados en frutas así como biopolímeros utilizados en su formulación.

Palabras clave: recubrimientos, películas comestibles, frutas recién cortadas.

ABSTRACT

The use of edible coatings is a technology that is gaining importance to extend the shelf life of fresh and minimally processed fruits, because they act as a barrier against moisture, humidity reduce fruit loss weight and causes changes in texture, flavor and appearance; also exhibit gas permeability, decreases in stored fruit respiration, prevents loss of volatile compounds and retards enzymatic oxidation. These reduce abrasion during handling of the fruit and are carriers of functional ingredients (antimicrobial and antioxidants). It is formulated from lipids, polysaccharides and proteins, alone or in combinations. This technology is currently a wide area of research due to the actual need of healthy food free of synthetic additives. The aim of this review is to present advances in recent years of the use of different biopolymers used for edible coatings in fruits to increase its shelf life.

Keywords: coatings, edible films, fresh-cut fruits.

Introducción

Los cambios en el estilo de vida que la gente experimenta en los últimos años, así como su mayor conciencia de la importancia de ingerir alimentos saludables, han causado un incremento en el consumo de alimentos listos para comer, en especial de frutas mínimamente procesadas (García, Ventosa, Díaz y Casariego, 2011). El consumir frutas presenta beneficios a la salud debido a los nutrientes presentes. La introducción de frutas frescas con procesamiento mínimo en los mercados es una forma de incrementar su consumo.

Aplicar recubrimientos comestibles en frutas a partir de fuentes renovables, como lípidos, polisacáridos y proteínas, así como mezclas de éstos, disminuyen su tasa de respiración, retrasan su pérdida de peso por deshidratación, prolongan su pérdida de firmeza y pigmentación, causada por microorganismos. Además se inhibe el pardeamiento enzimático y reacciones metabólicas asociadas con la maduración y se promueve la conservación de propiedades mecánicas y se conservan las características sensoriales ya que se retraza la maduración y se incrementa la vida útil de la fruta. Lo anterior debido a que los recubrimientos proporcionan una barrera semi-permeable a los gases y al vapor de agua, además puede actuar como portadores de ingredientes funcionales como agentes antimicrobianos y antioxidantes.

El uso de recubrimientos comestibles es una tecnología que ha sido aplicada desde hace algunos años. Actualmente es una alternativa de investigación de gran alcance, debido a la necesidad del consumo de alimentos saludables como frutas con un mínimo procesamiento y libres de aditivos sintéticos. El objetivo de esta revisión es presentar los avances en el uso de biopolímeros utilizados en la formulación de recubrimientos comestibles y su aplicación en frutas para incrementar su vida útil.

Revisión bibliográfica

1. Frutas

Las frutas son infrutescencias o partes carnosas de órganos florales que han alcanzado un grado de madurez adecuado y que son aptas para el consumo. Botánicamente, un fruto es un ovario maduro o el ovario con sus partes adyacentes, es decir, el órgano portador de la semilla. Cualquiera que sea su origen, el fruto está compuesto principalmente por tejido parenquimatoso. Los tejidos se hallan deficientemente desarrollados

en la mayoría de los casos, aunque existen excepciones, como en la piña, donde el tejido estructural es amplio. Las frutas varían mucho en tamaño (moras y sandía), estabilidad (manzanas y peras), jugosidad (uvas y plátanos), semillas (manzanas y mangos), dureza de la piel (framboesa e higos), textura (piñas y kiwis), acidez y contenido de azúcar (limones y melones) (Coenders, 2004).

1.1 Importancia del consumo de frutas

Actualmente los consumidores no tienen tiempo para preparar comida, por lo que buscan alimentos listos para comer. Las frutas son una alternativa a esta problemática (Bierhals, Chimarelli y Hubinger, 2011).

Debido al aumento de obesidad y sus factores de riesgo, la Organización Mundial de la Salud (OMS, por sus siglas en inglés), el Fondo Mundial para la Investigación del Cáncer (WFCR) y el Instituto Americano de Investigación del Cáncer (AICR), entre otros, han señalado que existe evidencia de que el consumo de al menos cinco porciones de frutas y verduras todos los días, disminuye el riesgo de diversas enfermedades no transmisibles, como la diabetes tipo 2, las enfermedades cardiovasculares y diversos tipos de cáncer (Mardones, Olivares, Araneda y Gómez, 2009).

La razón por la cual es necesario el consumo de frutas es por su valor nutritivo (aporte de vitamina C y A, fibra y minerales) (Jahan, Gosh, Begum y Saha, 2011). Un consumo adecuado de frutas trae beneficios a la salud (López-Guevara *et al.*, 2009), debido a la presencia de antioxidantes que disminuyen el estrés oxidativo previniendo o retardando algunas enfermedades (Saxena, Saxena, y Pradhan, 2012; Halliwell, 2012).

Un alimento conservado a diferencia de uno procesado es un producto que apenas cambia durante su elaboración, en el cual el método de conservación no modifica su individualidad como alimento. Existen varios métodos de conservación de frutas los cuales se basan en factores que afectan el crecimiento de los microorganismos y los cambios bioquímicos causados por enzimas. Dichos métodos pueden basarse en el control de temperatura, humedad, acidez o presencia de oxígeno, sin embargo el consumidor busca alimentos que conserven sus características nutricionales y sensoriales (Barbosa-Cánovas *et al.*, 2003).

1.2 Procesamiento mínimo

Las ventajas que exhiben las frutas con un procesamiento mínimo, es que presentan características organolépticas y nutricionales similares a las frutas frescas y son fáciles de manejar por el consumidor. Su mínimo procesamiento consiste en ope-

raciones de clasificación, lavado, pelado y reducción de tamaño (Kerdchoechuen, Laohakunjit, Tussavil, Kaisangsri y Matta, 2011), por lo cual se comercializan como productos para consumo directo o para preparaciones culinarias rápidas. Un mínimo de procesamiento en frutas como papaya, guayaba, piña, mango y melón puede ser considerado como una alternativa a la comida rápida, atendiendo la demanda de alimentos sanos y convenientes (Chiumarelli, Pereira, Ferrari, Sarantopoulos y Hubinger, 2010).

El daño a la calidad de frutas mínimamente procesadas aumenta durante el procesamiento, principalmente debido a la ruptura del tejido vegetal por daños mecánicos, por ejemplo durante las operaciones de pelado y cortado, que pueden acelerar procesos fisiológicos naturales. Esta ruptura desencadena procesos bioquímicos y físicos, que pueden provocar la degradación de color, textura, sabor y aroma del producto, así como alteraciones de origen microbiano disminuyendo la vida útil. Las frutas con procesamiento mínimo se consumen crudas, lo que obliga a extremar buenas condiciones de manipulación y a aplicar otras técnicas que permitan cierta inactivación microbiana (Zhan, Hu y Zhu, 2011).

2. Recubrimientos a base de biopolímeros para frutas

Aunque pareciera que el uso de recubrimientos comestibles en alimentos es nuevo, desde hace mucho tiempo se ha aplicado. Durante los siglos XII y XIII se practicó en China la inmersión en cera de naranjas y limones para retardar la pérdida de agua. En el siglo XVI, en Inglaterra, el recubrimiento con manteca fue utilizado para prevenir la pérdida de humedad en alimentos. Actualmente recubrimientos comestibles son aplicados en una variedad de productos como: embutidos, chocolate, nueces, vegetales y frutas (Kroachta, Baldwin y Nisperos-Carriedo, 1994).

Un recubrimiento comestible se puede definir como una matriz continua delgada, que posteriormente será utilizada en forma de recubrimiento del alimento o estará ubicada entre los componentes del mismo. El uso de recubrimientos comestibles en frutas frescas y mínimamente procesadas como cítricos, manzanas y pepinos procesados ha sido utilizado para mantener la calidad y prolongar su vida útil (Lin y Zhao, 2007).

Los recubrimientos comestibles en frutas crean una atmósfera modificada en el interior de éstas, reduciendo la velocidad de transpiración y retrasando el proceso de senescencia (Eum, Hwang, Linke, Lee y Zude, 2009), debido a que crean una barrera semipermeable a gases como O_2 , CO_2 y vapor de agua. Esto retrasa el deterioro de la fruta causado por la deshidra-

tación, mejora las propiedades mecánicas, ayuda a mantener la integridad estructural del alimento y a retener compuestos volátiles.

La efectividad de un recubrimiento comestible en frutas depende del control de la humectabilidad, y de la capacidad de la matriz para mantener compuestos de diversa funcionalidad (plastificantes, antimicrobianos, antioxidantes, sabores y olores) debido a que la pérdida de los componentes afecta el espesor del recubrimiento y su solubilidad en agua.

El uso de recubrimientos comestibles en frutas se basa en algunas características como costo, disponibilidad, atributos funcionales, propiedades mecánicas (tensión y flexibilidad), propiedades ópticas (brillo y opacidad), su efecto frente al flujo de gases, resistencia estructural al agua y a microorganismos así como a su aceptabilidad sensorial.

Estas características son influenciadas por parámetros como el tipo de material empleado como matriz estructural (conformación), masa molecular, distribución de cargas, condiciones bajo las cuales se preforman los recubrimientos (tipo de solvente, pH, concentración de componentes y temperatura), y el tipo y concentración de los aditivos (plastificantes, agentes entrecruzantes, antimicrobianos, antioxidantes o emulgentes) (Quintero, Pascual y Muñoz, 2010).

Los recubrimientos comestibles se elaboran a partir de una variedad de productos agrícolas y/o residuos de la industrialización de productos de alimentos como se comenta en el siguiente apartado (Campos, Gerschenson y Flores, 2011).

2.1 Biopolímeros para recubrimientos comestibles

Los biopolímeros utilizados para los recubrimientos de frutas, al ser consumidos deben ser inocuos evitando causar riesgos a la salud del consumidor. Las soluciones formadoras de recubrimientos comestibles pueden incluir polisacáridos, compuestos de naturaleza proteica, lipídica o por una mezcla de los mismos, la última permite aprovechar las propiedades de cada compuesto y la sinergia entre ellos (Quintero *et al.*, 2010). Dependiendo de las sustancias que los forman, los recubrimientos comestibles presentan ciertas propiedades mecánicas y de barrera al H_2O , O_2 y CO_2 .

2.1.1 Polisacáridos

Los polisacáridos derivados de celulosa (metilcelulosa MC, hidroximetil celulosa HMC, hidroxipropil metilcelulosa HPMC y carboximetilcelulosa CMC), pectinas, derivados de almidón, alginatos, carragenina, quitosano y gomas, son capaces de constituir una matriz estructural, permitiendo obtener recubrimientos comestibles transparentes y homogéneos, sin em-

bargo, están limitados por su solubilidad en agua y pobre barrera a la humedad y propiedades mecánicas moderadas (Eum *et al.*, 2009). Para mejorar sus propiedades mecánicas se utilizan mezclas con diferentes biopolímeros (Chambi y Grossi, 2011), se adicionan materiales hidrófobos como aceites, ceras o se modifica la estructura del polímero mediante métodos químicos. Un polisacárido que forma recubrimientos mecánicamente resistentes, flexibles, totalmente transparentes y resistentes a grasas y aceites es la celulosa (Lin y Zhao, 2007).

A partir de almidones ricos en amilosa se forman recubrimientos con propiedades mecánicas adecuadas, sin embargo, debido al proceso de retrogradación puede ser afectada esta propiedad (Famá, Flores, Gerschenson y Goyanes, 2006).

Las gomas son polisacáridos de alto peso molecular, poseen propiedades coloidales, se dispersan en agua fría o caliente produciendo soluciones o mezclas con alta viscosidad. El alginato obtenido de algas marinas, tiene la capacidad de formar geles y soluciones viscosas a partir de las cuales se forman recubrimientos bastante frágiles con poca resistencia al agua (Campos *et al.*, 2011).

Las carrageninas son polisacáridos naturales presentes en algas rojas, forman coloides viscosos o geles en medios acuosos, por lo que han sido estudiadas en el área de alimentos como recubrimientos comestibles mezclándolas con compuestos que inhiben el pardeamiento enzimático, presentando una barrera semipermeable contra el aire para controlar la tasa de respiración inicial en frutas mínimamente procesadas (Lee, Park, Lee y Choi, 2003).

Gomas obtenidas a partir de exudados de plantas (arábiga, tragacanto y karaya), de semillas de plantas (garrofín y guar), así como por fermentación microbiana (xantana y gelana) han sido utilizadas como material para elaborar recubrimientos mezclándolas con almidón (Flores, Costa, Yamashita, Gerschenson y Grossmann, 2010; Soares, Lima, Oliveira, Pires y Soldi, 2005; Veiga-Santos, Oliveirab, Ceredac, Alvesd y Scamparini, 2005).

El quitosano es un polímero natural derivado de la desacetilación de la quitina [poli- β -(1 \rightarrow 4)-N-acetyl-D-glucosamina], componente principal de las conchas de los crustáceos, polisacárido catiónico de alto peso molecular que exhibe propiedades antibacterianas y actividad antifúngica. Recubrimientos a base de quitosano presentan buenas propiedades mecánicas y permeabilidades selectivas al CO₂ y O₂, este polímero se utiliza para mejorar la calidad y prolongar la vida útil de frutas frescas (Djioua *et al.*, 2010).

2.1.2 Proteínas

Las proteínas forman recubrimientos con barreras más débiles que los polisacáridos al vapor de agua por su naturaleza hidrofílica, pero por otro lado, desarrollan muy buenas propiedades de barrera al oxígeno, lo que ayuda a controlar el intercambio de gases entre el fruto y el medio ambiente (Baldwin, Nisperos, Hagenmaier y Baker, 1997), así como propiedades mecánicas que son muy favorables para recubrir alimentos (Lin y Zhao, 2007). La capacidad de diferentes proteínas para formar recubrimientos depende de su peso molecular, conformaciones, propiedades eléctricas y estabilidad térmica. Las proteínas de leche son la fuente más común para obtener recubrimientos (Campos *et al.*, 2011). Las proteínas y polisacáridos son biopolímeros hidrófilos y se han combinado para formar recubrimientos comestibles compuestos (Cheng-Pei, Be-Jen y Yih-Ming, 2010).

2.1.3 Lípidos

Los lípidos ofrecen una buena barrera de humedad debido a su naturaleza hidrofóbica, lo que reduce la pérdida de agua en frutas recubiertas, además, mejoran el brillo de los frutos, los protegen contra la oxidación y crecimiento microbiano, sin embargo, su naturaleza no polimérica limita su capacidad para formar recubrimientos cohesivos. No obstante, los lípidos en una matriz de polisacárido, proporcionan resistencia mecánica al recubrimiento comestible. Al incorporar lípidos a soluciones de hidrocoloides para formar recubrimientos, se mejoran las características de barrera al agua (Campos *et al.*, 2011).

2.2 Propiedades de los recubrimientos

Las propiedades que presentará el recubrimiento comestible dependerán del tipo de material utilizado en la formulación de la solución para elaborar el recubrimiento, de las condiciones de formación del recubrimiento, del tipo de plastificante, de la naturaleza del disolvente, de la velocidad de evaporación del disolvente y de su espesor. En la mayoría de los casos, la efectividad del recubrimiento cuando se aplica a frutas depende fundamentalmente de la permeabilidad al vapor de agua y a los gases así como a sus adecuadas propiedades mecánicas.

El mecanismo por el cual los recubrimientos conservan la calidad en frutas es debido a que crean una barrera física a los gases, produciendo una atmósfera modificada ya que reducen la disponibilidad de O₂ e incrementan la concentración de CO₂ (Avena-Bustillos, Kroccta y Saltveit, 1997).

La permeabilidad de una barrera se calcula a partir de una combinación de la Ley de Fick para la difusión, y la Ley de Hen-

ry para la solubilidad. La permeabilidad al vapor de agua es una medida de la facilidad con la que el vapor de agua puede penetrar en un material. Se ha observado que al aumentar la concentración del plastificante se presenta un incremento proporcional de la permeabilidad al agua en recubrimientos comestibles de quitosano con gelatina (Ioannis, Atsuyoshi y Sei-ichi, 1998).

El espesor de los recubrimientos comestibles es un parámetro importante, ya que afecta directamente las propiedades biológicas y la vida útil de la fruta cubierta. La eficacia del recubrimiento depende principalmente del control de la difusión de los componentes del revestimiento, la cual se ve afectada por el espesor de la película (Kroachta *et al.*, 1994). La mayoría de los recubrimientos comestibles son de naturaleza hidrofílica, encontrándose una relación con la permeabilidad al vapor de agua y el espesor de las películas (Gennadios, Wellery y Gooding, 1994). A medida que el espesor del recubrimiento aumenta, se incrementa la resistencia a la transferencia de masa a través de ella, en consecuencia, la presión parcial de vapor de agua de equilibrio en la superficie inferior de la película se incrementa (McHugh, Avena-Bustillos y Krochta, 1993).

2.3 Formación de recubrimientos

La primera etapa en la elaboración de películas comestibles es la disolución del material (biopolímero) correctamente en algún disolvente como agua, alcohol, soluciones de ácidos diluidos, o mezclas de disolventes; el material debe quedar dispersado. En algunos casos, es necesario calentar o ajustar el pH de la suspensión que contiene el biopolímero con el fin de disolver la macromolécula.

La segunda etapa consiste en adicionar una sustancia con propiedades plastificantes. Ésta proporcionará al recubrimiento un buen comportamiento mecánico en términos de flexibilidad y resistencia a la rotura, reduciendo la fragilidad. El plastificante más utilizado es el glicerol debido a su mayor estabilidad y compatibilidad con las cadenas biopoliméricas hidrófilas en comparación con el sorbitol, polietilenglicol y azúcares. El plastificante se asocia fisicoquímicamente con la estructura del biopolímero reduciendo la cohesión e interfiriendo con la asociación de las cadenas poliméricas facilitando su deslizamiento por lo que aumenta la flexibilidad del recubrimiento. Una vez dispersados los biopolímeros y adicionado el plastificante, es posible añadir otras sustancias como antimicrobianos, antioxidantes a la solución formadora de película, con el fin de conferir alguna propiedad funcional deseada (Abdollahi, Rezaei y Farzi, 2012).

La tercera etapa consiste en la eliminación del disolvente en exceso, por lo cual se debe realizar un proceso de secado controlado. La velocidad de secado y las condiciones ambientales determinarán el espesor final y las características estructurales del recubrimiento (Campos *et al.*, 2011).

2.4 Métodos para aplicar los recubrimientos en el fruto

Para frutas con superficies irregulares, el método más adecuado es el de inmersión, debido a que se requiere un recubrimiento uniforme (Baldwin *et al.*, 1997). La fruta debe ser lavada y secada previamente, luego se sumerge directamente en la formulación del recubrimiento, posteriormente se deja drenar el material sobrante y se procede al secado, este método es muy aplicado en recubrimientos comestibles con cera en frutas enteras, garantizando un impregnado completo para formar una película membranosa delgada sobre la superficie de la fruta (Djioua *et al.*, 2010). En frutas con superficies lisas y uniformes, el método más utilizado es el de aspersión, ya que se obtienen recubrimientos más delgados y uniformes que los obtenidos por inmersión. La solución se aplica presurizada, mediante la regulación de la presión, para conseguir diferentes tamaños de gota. La aplicación del recubrimiento se realiza con aspersores de alta presión que permiten emplear menos material de recubrimiento. Otros métodos son la aplicación mecánica o manual con brochas (Bosquez, Vernon, Pérez y Guerrero, 2000).

2.5 Ejemplos de aplicación de recubrimientos en frutas

La aplicación de recubrimientos comestibles mejora la vida de anaquel en frutos perecederos y con procesamiento mínimo, en este apartado se darán a conocer frutas que han sido recubiertas utilizando diferentes materiales.

2.5.1 Quitosano

Los recubrimientos de quitosano han sido aplicados en litchi, papaya, mango, pera, mandarina, fresa, frambuesa y carambola.

En frambuesa se ha observado que disminuye la pérdida de peso, retraza cambios en el color, acidez titulable y pH durante el almacenamiento, además mejora la calidad de la textura en la fruta congelada y descongelada (Han, Lederer, McDaniel y Zhao, 2004; Han, Zhao, Leonard y Traber, 2004).

Se ha estudiado el quitosano con otros compuestos como el ácido oleico mejorando la actividad antimicrobiana del polímero y la permeabilidad al H₂O. Recubrimientos con quito-

sano y ácido glutámico, retardan los cambios en las antocianinas, flavonoides y compuestos fenólicos, responsables de los principales cambios en litchi (Caro y Joas, 2005).

En plátano, recubrimientos de quitosano combinado con ácido giberélico reduce la pérdida de peso y mantiene el color, firmeza, acidez, sólidos solubles totales y contenido de ácido ascórbico, prolongando la vida útil de la fruta (Gol y Ramaña, 2011).

Por otra parte el quitosano presenta un efecto antifúngico, por ejemplo del hongo *Colletotrichum gloeosporioides*, agente causal de la antracnosis en frutos de papaya (Ali, Muhammad, Sijam y Siddiqui, 2010). Además un tratamiento térmico a 50 °C durante 30 minutos previo al recubrimiento en mango, se ha aplicado para incrementar el efecto antimicrobiano del quitosano (Djioua *et al.*, 2010).

2.5.2 Almidón y gomas

Los recubrimientos comestibles a partir de almidones obtenidos de fuentes como arroz o Yuca, han sido aplicados en toronja, piña, guayaba, pera y mango con la adición de ácido ascórbico, ácido cítrico, lactato de calcio, L-cisteína y fungicidas. Estos recubrimientos disminuyen la tasa de respiración, retrasan la pérdida de peso por deshidratación, prolongan la pérdida de firmeza y pigmentación causado por microorganismos, inhiben el pardeamiento enzimático y reacciones metabólicas asociadas con la maduración, promueven la conservación de propiedades mecánicas y conservan características sensoriales, retrasando la maduración e incrementando la vida útil de la fruta (Botrel, Soares, Camilloto y Fernández, 2010; Chiumarelli *et al.*, 2010; Bierhals *et al.*, 2011; Pereira, Chamhum, Zambolim y Rocha, 2012).

La actividad antifúngica del sorbato de potasio contra mohos como el *Penicillium expansum*, *Cladosporium herbarum* y *Aspergillus niger* que causan el deterioro en manzanas, se incrementa al adicionarlo en formulaciones de recubrimientos de almidón de papa y chícharo (Mehyar, Al-Qadiri, Abu-Blan y Swanson, 2011).

Diab, Biliaderis, Gerasopoulos y Sfakiotakis en 2001, aplicaron recubrimientos a base de pululano en fresas y kiwis presentando éstos una buena barrera a la humedad, O₂ y CO₂.

Recubrimientos de alginato y gelano en piña incrementan la vida útil de la fruta debido a que proporcionan excelente barrera al O₂, (Azarakhsh, Osman, Ghazali, Tan y Mohd, 2012).

En mango, recubrimientos formulados con galactomanano retrasan el ablandamiento y reducen la pérdida de peso, la actividad enzimática y la peroxidación lipídica (Aguilar *et al.*, 2011).

En manzana, recubrimientos a base de carragenina sola o con ácido ascórbico, reducen la pérdida de humedad, la oxidación y mantienen las características sensoriales de la fruta. Esta goma puede ser portadora de antimicrobianos como lisozima, nisin y extractos de uvas (Lin y Zhao, 2007).

2.5.3 Hidroxipropil metilcelulosa y ceras

Una mezcla de hidroxipropil metilcelulosa (HPMC), cera de abeja (BW) y goma laca en formulaciones de recubrimientos, extiende la vida útil de naranjas, mantiene su calidad nutricional y sensorial, además proporciona brillo a la fruta (Contreras-Oliva, Rojas-Argudo y Pérez-Gago, 2011). Una alternativa para disminuir la pérdida de peso y retrasar los cambios de firmeza, color, pH y acidez titulable en ciruela almacenada a temperatura ambiente es el recubrimiento a base de hidratos de carbono (Eum *et al.*, 2009).

Los derivados de celulosa proporcionan una buena barrera a la humedad, O₂ y CO₂, mantienen la frescura y firmeza en peras, manzanas, bayas y melocotones (Lin y Zhao, 2007).

Las ceras han sido aplicadas en cítricos, melones y peras otorgándoles brillo a las frutas y disminuyendo la pérdida de firmeza. En manzana, la goma laca proporciona esas mismas propiedades a la fruta, sin embargo cuando la fruta es sometida a cambios de temperatura al pasar de una cámara frigorífica a estantes de exhibición, se forma una capa cerosa blanca en la superficie de la fruta.

Recubrimientos de cera natural (candelilla) adicionando aditivos como aloe vera y ácido elágico, en manzana, plátano y aguacate con procesamiento mínimo, incrementan la vida útil de las frutas (Saucedo-Pompa *et al.*, 2007).

En cereza y uvas, recubrimientos de Aloe vera disminuyen la pérdida de humedad, mantienen la firmeza, controlan la respiración y el desarrollo de maduración en las frutas, además de retrasar el pardeamiento oxidativo y reducir la proliferación de microorganismos (Martínez-Romero *et al.*, 2006; Valverde *et al.*, 2005).

2.5.4 Gluten de trigo, proteína de leche y soya

Proteínas vegetales como gluten de trigo con etanol, hidróxido de amonio y glicerol, en formulaciones de recubrimientos aplicados en fresa, conservan el sabor de la fruta por más tiempo (5 días), sin embargo, no presentan buenas propiedades de barrera al agua. Al adicionarle a la formulación cera de abeja, ácido esteárico y ácido palmítico reducen la pérdida de peso hasta un 50%, comparándola con recubrimientos sin lípidos (Tanada-Palmu y Grossi, 2005).

En pasas y cacahuate, recubrimientos de proteína de leche proporcionan una buena barrera al O₂ y a la humedad (Lin y Zhao, 2007).

Pérez-Gago, Serra, Alonso, Mateos y del Rio (2005), elaboraron un recubrimiento a partir de proteína de suero de leche, hidroxipropil metilcelulosa, como fase hidrófila y cera de abeja y carnauba como fase lipídica, para cubrir rebanadas de manzana, logrando una reducción en el oscurecimiento enzimático. Los autores atribuyen este efecto a la alta propiedad de barrera al oxígeno que presentan las proteínas.

Estos mismos autores demostraron que se incrementa el poder antioxidante del ácido ascórbico, cisteína y 4-hexilresorcinol en rebanadas de manzana, al adicionarlos en revestimientos de concentrado de proteína de suero y cera de abejas (Pérez-Gago, Serra, Alonso y del Rio, 2006).

Monedero, Fabra, Talens y Chiralt (2009), elaboraron recubrimientos de proteína de soya presentando éstos, barreras efectivas contra el O₂, lípidos y compuestos aromáticos, pero no al vapor de agua. Su adición en la formulación con ácido oleico y cera de abeja reduce la permeabilidad al vapor de agua siendo una alternativa para extender la vida útil de frutas.

Recubrimientos formulados con una mezcla de proteína de soya y almidón de yuca, han mostrado retardar la pérdida de peso en fresas durante su almacenamiento e impiden la deshidratación de la fruta, debido al carácter anfifílico y emulgente de la proteína, conservan los atributos sensoriales como color, aroma, acidez y textura (Saavedra, Néstor y Algarcia, 2010).

Los recubrimientos a base de proteína de soya en cerezas, presentan buena barrera al vapor de agua (Lim, Stathopoulos y Golding, 2011), mientras que en kiwi y manzana retardan el proceso de senescencia (Xu, Chen y Sun, 2001).

En nuez y manzana, han sido aplicados recubrimientos a base de zeína obtenida de gluten de maíz (Lin y Zhao, 2007). Esta proteína combinada con ácido oleico como plastificante, reduce la pérdida de peso durante el almacenamiento de peras (Scramin *et al.*, 2011).

2.6 Ventajas y desventajas de los recubrimientos en frutas

Algunas desventajas que se presentan en los recubrimientos comestibles son: el espesor, cuando es muy grueso, puede llevar al desarrollo de sabores desagradables (Silva, Lins, Cabrini, Brasileiro y Salomão, 2012); la modificación de la atmósfera interna del fruto, la cual puede incrementar desórdenes asociados con una alta concentración de CO₂ o una baja de O₂,

afectando parámetros sensoriales en la fruta (Quintero *et al.*, 2010). Además pueden inducir indirectamente cambios del sabor de la fruta debido al retraso de la maduración (Jafarizadeh, Osman, Tan y Abdul, 2012).

Son más las ventajas del uso de recubrimientos comestibles en la protección y conservación de frutas, por ejemplo: crean una atmósfera modificada entre la película y la superficie de las mismas, prolongan la degradación de pigmentos debido a la ausencia de CO₂ y como consecuencia el desarrollo de colores indeseables (Pérez-Guzmán, Saucedo-Veloz y Arana-Errasquín, 1999). Los recubrimientos forman una barrera en la superficie del fruto, modificando la composición gaseosa interna, lo cual disminuye la tasa de respiración y por lo tanto, prolongan la vida postcosecha del producto (Pérez y Báez, 2003), son biodegradables por lo que reducen el impacto al medio ambiente (Du, Olsen, Avena-Bustillos, Friedman y McHugh, 2011), los biopolímeros utilizados en las formulaciones pueden ser acarreadores de diferentes aditivos, tales como antimicrobianos, antioxidantes, nutracéuticos y agentes aromatizantes obtenidos de productos naturales (Ayana y Turhan, 2010; Campos *et al.*, 2011), proporcionan a la fruta mayor estabilidad durante el transporte y almacenamiento, pueden ser consumidos con la fruta ya que se elaboran utilizando materiales considerados GRAS, controlan el desarrollo microbiano, cambios fisiológicos y fisicoquímicos extendiendo la vida útil del fruto entero o con un mínimo de procesamiento.

CONCLUSIONES

En esta revisión se explicó que los recubrimientos comestibles aplicados en frutas pueden ser formulados a base de polisacáridos, proteínas y lípidos así como mezclas de éstos y actuar como portadores de antioxidantes y antimicrobianos. El quitosano es el polímero más utilizado en la formulación de recubrimientos comestibles en frutas. En pera, fresa, frambuesa, cereza, uva, manzana, guayaba, plátano, ciruela, mango, carambola, papaya, cítricos, melones, kiwi, bayas, melocotones, pasas, cacahuates y nuez con un mínimo de procesamiento, los recubrimientos son una alternativa para incrementar su vida útil.

Se concluye en esta revisión que la formulación de recubrimientos comestibles, para ser aplicados en frutas con un mínimo de procesamiento y que éstas mantengan sus propiedades organolépticas y nutricionales, sin causar un daño a la salud del consumidor, son una alternativa de estudio.

AGRADECIMIENTOS

La autora María del Carmen Vázquez Briones Agradece al Programa para el Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) y a la Universidad Tecnológica del Sureste de Veracruz por el apoyo en los financiamientos otorgados para los estudios del posgrado.

REFERENCIAS

- Abdollahi, M., Rezaei, M. y Farzi, G. (2012). Improvement of active chitosan film properties with rosemary essential oil for food packaging. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(4), 847-853.
- Aguilar, P. R., Miranda A. M. R., Lima P.M.A., Mosca J. L., Moreira A.R. y Enéas-Filho J. (2011). Effect of a galactomannan coating on mango postharvest physicochemical quality parameters and physiology. *Fruits*, 66, 269-278.
- Ali, A., Muhammad, M., Sijam, K. y Siddiqui, Y. (2010). Potential of chitosan coating in delaying the postharvest anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) of Eksotika II papaya. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(10), 2134-2140.
- Avena-Bustillos, R., Krochta, J. y Saltveit, E. (1997). Water vapour resistance of red delicious apples and celery sticks coated with edible caseinate-acetylated monoglyceride films. *Journal of Food Science*, 62, 351-354.
- Ayana, B. y Turhan, N. (2010). Gida ambalajlamasında antimikrobiyal madde içeren yenilebilir filmler/ kaplamalar ve uygulamaları. *Gida*, (35), 2, 151-158.
- Azarakhsh, N., Osman, A., Ghazali, H. M., Tan, C. P. y Mohd, A. N. (2012). Optimization of alginate and gellan based edible coating formulations for fresh cut pineapples. *International Food Research Journal*, 19(1), 279-285.
- Baldwin, E. A., Nisperos, M. O., Hagenmaier, R. D. y Baker, R. E. (1997). Use of lipids in coatings for food products. *Food Technology*, 51(6), 56-64.
- Barbosa-Cánovas, G. V., Fernández-Molina, J. J., Alzamora, S. M., Tapia, M. S., López-Malo, A. y Welti, J. Ch. (2003). Manual Handling and preservation of fruits and vegetables by combined methods for rural areas. FAO Agricultural Services Bulletin 149.
- Bierhals, V. S., Chiumarelli, M. y Hubinger, M. D. (2011). Effect of cassava starch coating on quality and shelf life of fresh cut pineapple (*Ananas comosus* L. Merril cv 'Pérola'). *Journal of Food Science*, 76(1), E62-E72.
- Bosquez, M. E., Vernon, J. J., Pérez, L. y Guerrero, L. (2000). Películas y cubiertas comestibles para conservación en fresco de frutas y hortalizas. *Industria Alimentaria*, 22, 14-36.
- Botrel, A. D., Soares, F. F., Camilloto, P. G. y Fernández, B. R. (2010). Revestimento ativo de amido na conservação pós-colheita de pera Williams minimamente processada. *Ciência Rural*, (40)8, 1814-1820.
- Campos, C., Gershenson, L. y Flores, S. (2011). Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. *Food and Bioprocess Technology*, 4(6), 849-875.
- Caro, Y. y Joas, J. (2005). Postharvest control of litchi pericarp browning (cv. Kwai Mi) by combined treatments of chitosan and organic acids. *Postharvest Biology Technology*, 38, 137-144.
- Chambi, H. y Grossio, C. (2011). Effect of surfactants on the functional properties of gelatin-polysaccharide-based films. *European Food Research and Technology*, 232(1), 63-69.
- Cheng-Pei, C., Be-Jen, W. y Yih-Ming, W. (2010). Physicochemical and antimicrobial properties of edible aloe/gelatin composite films. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(5), 1050-1055.
- Chiumarelli, M., Pereira, L., Ferrari, C., Sarantopoulos, C. y Hubinger, M. (2010). Cassava starch coating and citric acid to preserve quality parameters of fresh cut "Tommy Atkins" mango. *Journal of Food Science*, 75(5), E297-E304.
- Coenders, A. (2004). *Química culinaria: frutas, frutos secos, gomas y legumbres*. España: Acribia, S.A.
- Contreras-Oliva, A., Rojas-Argudo, C. y Pérez-Gago, M. B. (2011). Effect of solid content and composition of hydroxypropyl methylcellulose lipid edible coatings on physicochemical, sensory and nutritional quality of 'Valencia' oranges. *International Journal of Food Science and Technology*, 46(11), 2437-2445.
- Diab, T., Biliaderis, C. G., Gerasopoulos, D. y Sfakiotakis, E. (2001). Physicochemical properties and application of pullulan edible films and coatings in fruit preservation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81, 988-1000.
- Djioua, T., Charles, F., Freire, M., Filgueiras, H., Ducamp-Collin, M. y Sallanon, H. (2010). Combined effects of postharvest heat treatment and chitosan coating on quality of fresh cut mangoes (*Mangifera indica* L.). *International Journal of Food Science and Technology*, 45(4), 849-855.
- Du, W., Olsen, C., Avena-Bustillos, R., Friedman, M. y McHugh, T. (2011). Physical and antibacterial properties of edible

- films formulated with apple skin polyphenols. *Journal of Food Science*, 76(2), M149-M155.
- Eum, H., Hwang, D., Linke, M., Lee, S. y Zude, M. (2009). Influence of edible coating on quality of plum (*Prunus salicina* Lindl. cv. 'Sapphire'). *European Food Research and Technology*, 229(3), 427-434.
- Famá, L., Flores, S. K., Gerschenson, L. y Goyanes, S. (2006). Physical characterization of cassava starch biofilms with special reference to dynamic mechanical properties at low temperatures. *Carbohydrate Polymers*, 66(1), 8-15.
- Flores, S. K., Costa, D., Yamashita, F., Gerschenson, L. N. y Grossmann, M. V. (2010). Mixture design for evaluation of potassium sorbate and xanthan gum effect on properties of tapioca starch films obtained by extrusion. *Materials Science and Engineering*, 30, 196-202.
- García, M. A., Ventosa, M., Díaz, R. y Casariego, A. (2011). Efecto de coberturas de alginato de sodio enriquecidas con Aloe vera en la calidad de zanahoria mínimamente procesada. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 21(3), 62-67.
- Gennadios, A., Weller, C. L. y Gooding, C. H. (1994). Measurement errors in water vapor permeability of highly permeable, hydrophilic edible films. *Journal of Food Engineering*, 21, 395-409.
- Gol, B. N. y Ramana, R. T. V. (2011). Banana fruit ripening as influenced by edible coatings. *International Journal of Fruit Science*, 11, 119-135.
- Halliwell, B. (2012). Free radicals and antioxidants: updating a personal view. *Nutrition Reviews*, 70(5), 257-265.
- Han, C., Lederer, C., McDaniel, M. y Zhao, Y. (2004). Sensory evaluation of fresh strawberries (*Fragaria ananassa*) coated with chitosan based edible coatings. *Journal of Food Science*, 70, S172-8.
- Han, C., Zhao, Y., Leonard, S. W. y Traber M. G. (2004). Edible coatings to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (*Fragaria ananassa*) and raspberries (*Rubus idaeus*). *Postharvest Biology and Technology*, 33, 67-78.
- Ioannis, S. A., Atsuyoshi, N. y Sei-ichi, A. (1998). Chitosan and gelatin based edible films: state diagrams, mechanical and permeation properties. *Carbohydrate Polymers*, 37(4), 371-382.
- Jafarizadeh, M. H., Osman, A., Tan, C. y Abdul, R. R. (2012). Effects of edible surface coatings (sodium carboxymethyl cellulose, sodium caseinate and glycerol) on storage quality of berangan banana (*Musa sapientum* cv. berangan) using response surface methodology. *Journal of Food Processing and Preservation*, 36(3), 252-261.
- Jahan, S., Gosh, T., Begum, M. y Saha, B. K. (2011). Nutritional profile of some tropical fruits in Bangladesh: specially anti-oxidant vitamins and minerals. *Bangladesh Journal of Medical Science*, 10(2), 95-103.
- Kerdchoechuen, O. O., Laohakunjit, N. N., Tussavil, P. P., Kaisangsri, N. N. y Matta, F. B. (2011). Effect of starch based edible coatings on quality of minimally processed pomelo (*Citrus maxima* Merr.). *International Journal of Fruit Science*, 11(4), 410-423.
- Kroachta, M. J., Baldwin, A. E. y Nisperos-Carriedo, M. (1994). *Edible coatings and films to improve food quality*. Chapter 1. Edible films coating: Characteristics, formation, definitions, and testing methods. Technomic Publishing Co., Lancaster, PA, E.U.A. 1-21.
- Lee, J. Y., Park, H. J., Lee, C. Y. y Choi, W. Y. (2003). Extending shelf life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 36(3), 323-329.
- Lim, R., Stathopoulos, C. E. y Golding, J. B. (2011). Effect of edible coatings on some quality characteristics of sweet cherries. *International Food Research Journal*, 18(4), 1237-1241.
- Lin, D. y Zhao, Y. (2007). Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 6(3), 60-75.
- López-Guevara, S., Flores-Peña, Y., Ávila-Alpírez, H., Gallegos-Cabriales, E. C., Benavides-Torres, R. A. y Cerdá-Flores, R. M. (2009). Beneficios y barreras percibidos por adolescentes mexicanos para el consumo de frutas y verduras. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 59(2), 174-178.
- Mardones, H. M., Olivares, C. S., Araneda, F. J. y Gómez, F. N. (2009). Etapas del cambio relacionadas con el consumo de frutas y verduras, actividad física y control del peso en estudiantes universitarios chilenos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 59(3), 304-309.
- Martínez-Romero, D., Alburquerque, N., Valverde, J. M., Guijllén, F., Castillo, S., Valero, D. y Serrano, M. (2006). Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by Aloe vera treatment: a new edible coating. *Postharvest Biology and Technology*, 39, 93-100.
- McHugh, T. H., Avena-Bustillos, R. y Krochta, J. M. (1993). Hydrophilic edible films: modified procedure for water vapor permeability and explanation of thickness effects. *Journal of Food Science*, 58(4), 899-903.

- Mehyar, G. F., Al-Qadiri, H. M., Abu-Blan, H. A. y Swanson, B. G. (2011). Antifungal effectiveness of potassium sorbate incorporated in edible coatings against spoilage molds of apples, cucumbers, and tomatoes during refrigerated storage. *Journal of Food Science*, 76(3), M210-M218.
- Monedero, F. M., Fabra, M. J., Talens, P. y Chiralt, A. (2009). Effect of oleic acid-beeswax mixtures on mechanical, optical and water barrier properties of soy protein isolate based films. *Journal of Food Engineering*, 91, 509-515.
- Pereira, S. D. F., Chamhum, S. L. C., Zambolim, L. y Rocha, A. (2012). Use of biofilm in the postharvest conservation of 'Pedro Sato' guava. *Revista Ceres, Viçosa*, 59(3), 305-312.
- Pérez, B. y Báez, R. (2003). Utilización de ceras comestibles en la conservación de frutas. *Revista de Tecnología e Higiene de los Alimentos*, 345(6), 59-65.
- Pérez-Gago, M., Serra, M., Alonso, M. y del Rio, M. (2006). Color change of fresh cut apples coated with whey protein concentrate based edible coating. *Postharvest Biology and Technology*, 39, 84-92.
- Pérez-Gago, M., Serra, M., Alonso, M., Mateos, M. y del Rio, M. (2005). Effect of whey protein and hydroxypropyl methylcellulose based edible composite coating on color change of fresh cut apples. *Postharvest Biology and Technology*, 36, 77-85.
- Pérez-Guzmán, A. E., Saucedo-Veloz, C. y Arana-Errasquín, R. (1999). Effect of individual seal packaging in plastic films on the quality of Dancy mandarins stored under refrigeration. *Food Science and Technology International*, 5(3), 215-22.
- Quintero, C. J. P., Pascual, F. V. y Muñoz, H. A. J. (2010). Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Revista Tumbaga*, 5, 93-118.
- Saavedra, H. N., Néstor, A. y Algecira, E. (2010). Evaluación de películas comestibles de almidón de yuca y proteína aislada de soya en la conservación de fresas. *Publicación Científica en Ciencias Biomédicas*, 8(14), 172-182.
- Saucedo-Pompa, S., Jasso-Cantu, P., Ventura-Sobrevilla, J., Sáenz-Galindo, A., Rodríguez-Herrera, R. y Aguilar, N. C. (2007). Effect of candelilla wax with natural antioxidants on the shelf life quality of fresh cut fruits. *Journal of Food Quality*, 31(5), 823-836.
- Saxena, M., Saxena, J. y Pradhan, A. (2012). Flavonoids and phenolic acids as antioxidants in plants and human health. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 16(2), 130-134.
- Scramin, J. A., Britto, D., Forato, L. A., Bernardes-Filho, R., Colnago, L. A. y Assis, O. B. G. (2011). Characterisation of zein oleic acid films and applications in fruit coating. *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 2145-2152.
- Silva, D., Lins, L., Cabrini, E., Brasileiro, B. y Salomão, L. (2012). Influence of the use of acids and films in postharvest lychee conservation. *Revista Ceres*, 59(6), 745.
- Soares, R. M. D., Lima, A. M. F., Oliveira, R. V. B., Pires, A. T. N. y Soldi, V. (2005). Thermal degradation of biodegradable edible films based on xanthan and starches from different sources. *Polymer Degradation and Stability*, 90(3), 449-454.
- Tanada-Palmu, P. y Grosso, C. (2005). Effect of edible wheat gluten based films and coating on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*) quality. *Postharvest Biology and Technology*, 36, 199-208.
- Valverde, J. M., Valero, D., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Castillo, S. y Serrano, M. (2005). Novel edible coating based on Aloe vera gel to maintain table grape quality and safety. *Journal of Agricultural Food and Chemistry*, 53, 7807-13.
- Veiga-Santos, P., Oliveirab, L. M., Ceredac, M. P., Alvesd, A. J. y Scamparini, A. R. P. (2005). Mechanical properties, hydrophilicity and water activity of starch-gum films: Effect of additives and deacetylated xanthan gum. *Food Hydrocolloids*, 19, 341-349.
- Xu, S., Chen, X. y Sun, D. W. (2001). Preservation of kiwifruit coated with an edible film at ambient temperature. *Journal of Food Engineering*, 50, 211-6.
- Zhan, L., Hu, J. y Zhu, Z. (2011). Shelf life extension of minimally processed water caltrop (*Trapa acornis Nakano*) fruits coated with chitosan. *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 2634-2640.

Condiciones gastrointestinales modelo utilizadas para evaluar probióticos encapsulados

A. R. Juárez-Roldán* y M. T. Jiménez-Munguía

Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla.

Ex hacienda Sta. Catarina Mártir S/N, San Andrés, Cholula, Puebla. C.P.72810. México.

RESUMEN

Los probióticos son bacterias benéficas para el hombre debido a los múltiples beneficios que aportan al consumidor. Se encapsulan para protegerlas de diferentes factores durante la elaboración, almacenamiento o transporte de los productos alimenticios, así como de las condiciones adversas del tracto digestivo. De esta manera, resulta importante comprobar la liberación y viabilidad de los probióticos encapsulados después de su paso por el tracto gastrointestinal. En este artículo de revisión se abordaron las condiciones gastrointestinales modelo, para evaluar la supervivencia de los probióticos encapsulados. La aplicación del modelo dinámico es mejor que el modelo convencional ya que presenta mayor similitud al tracto digestivo del humano.

Palabras clave: probióticos, encapsulación, modelos gastrointestinales.

ABSTRACT

The probiotics are beneficial bacteria for human due to health benefits. These are encapsulated to protect them from different factors during processing, storage and transportation of foodstuff besides the adverse conditions of the digestive pathway. Thus, it is important to verify the release and viability of encapsulated probiotics after the gastrointestinal pathway. In this review it will be presented the gastrointestinal model conditions, to evaluate the survival of encapsulated probiotics. The application of the dynamic model is better than the conventional model because it is similar to the human gastrointestinal tract.

Keywords: probiotics, encapsulation, gastrointestinal models.

Introducción

Los probióticos son bacterias que aportan diversos beneficios al ser humano, como prevención de enfermedades gastrointestinales, disminución de la intolerancia a la lactosa, estimulación del sistema inmune, entre otros, siendo su sitio de acción, específicamente, el intestino. Estos beneficios son atribuidos a la producción de ácido, bacteriocinas, competencia con bacterias patógenas y mejoras en el sistema inmune (Krasaecko, Bhandari, y Deeth, 2004). Para que ejerzan efectos benéficos en la salud, se requiere que estén presentes en el producto, en el momento de su consumo, en un nivel de al menos 10^7 UFC por gramo o mililitro de alimento (Özer, Uzun y Kirmaci, 2008; Ding y Shah, 2007; Nejati, Gheisari y Hosse, 2011).

Las bacterias que tienen actividad probiótica reportada son las pertenecientes a los géneros *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* (Krasaecko, Bhandari y Deeth, 2002), ya que cumplen con criterios de seguridad, estabilidad y funcionalidad. Estos géneros de bacterias presentan viabilidad en productos alimenticios debido a su resistencia ante la acidez (Gbassi y Vandamme, 2012).

La encapsulación de los probióticos a través de diversas técnicas como gelificación, secado por atomización o emulsión, puede mejorar la supervivencia de dichas bacterias, ya que a través de esta técnica se protegen de condiciones adversas, tanto de producción y almacenamiento de productos alimenticios como relacionada con el paso a través del tracto

gastrointestinal. Después del proceso de encapsulación, es importante comprobar la liberación y viabilidad de los probióticos en modelos experimentales que simulen las condiciones gastrointestinales, tanto en medios ácidos como en presencia de enzimas (Gbassi y Vandamme, 2012).

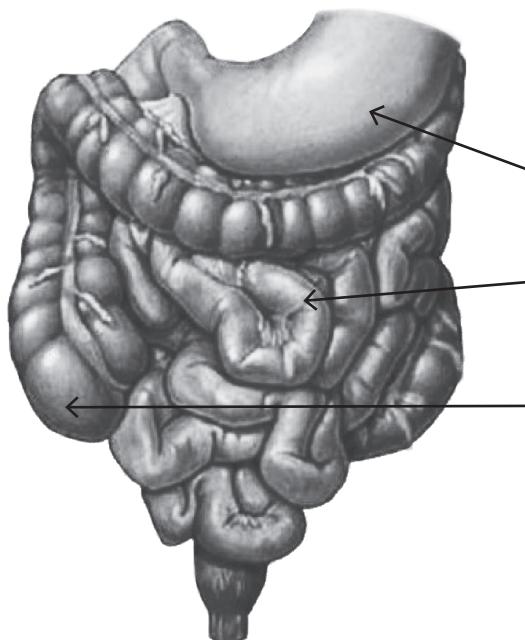
En este artículo se abordarán las condiciones gastrointestinales modelo, que simulan el tracto gastrointestinal, para evaluar la supervivencia de los probióticos encapsulados.

Revisión bibliográfica

1. Modelos gastrointestinales

El tracto gastrointestinal (TGI) está integrado por las siguientes partes: boca, faringe, esófago, estómago, intestinos delgado y grueso, recto y ano, las cuales se presentan en la Fig. 1. El intestino delgado está compuesto por el duodeno, yeyuno e íleon y el intestino grueso está formado por el colon ascendente, colon transverso y colon descendente (Mataix-Verdú, 2009; Prakash, Tomaro-Duchesneau, Saha y Cantor, 2011).

Es importante mencionar la composición principal de las secreciones gástrica, intestinal, biliar y pancreática del TGI. La primera está constituida principalmente de HCl, pepsina (la cual se activa a un pH óptimo de 3) y electrolitos como K^+ , Na^+ , Mg^{++} , fosfato (PO_4^{3-}) y sulfato (SO_4^{2-}). La segunda está integrada por HCO_3^- y K^+ . La tercera secreción está constituida por Na^+ ,



Partes del tracto gastrointestinal	pH	Contenido
Estómago	1-2	HCl, pepsina y moco
Intestino delgado		
Duodeno		Enzima pancreática,
Yeyuno	6-7	sales biliares, moco y bicarbonato
Íleon		
Intestino grueso		
Colon ascendente		
Colon transverso	5-7	Bicarbonato y moco
Colon descendente		

Fuente: Wood y Grusak, 2007.

Fig. 1. Partes del tracto gastrointestinal, pH y contenido (Adaptado de Prakash et al., 2011)

K^+ , Cl^- , HCO_3^- y bilis (la cual está integrada por ácidos biliares, fosfolípidos y colesterol). Por último, la secreción pancreática está compuesta mayoritariamente por Na^+ y HCO_3^- , aunque también en una cantidad mínima por K^+ y Cl^- , además de enzimas como tripsina, quimotripsina, carboxipeptidasas, proelastanas y lipasas (Mataix-Verdú, 2009).

Para poder valorar la liberación, viabilidad y resistencia de los probióticos encapsulados se han propuesto modelos gastrointestinales que simulan las condiciones del TGI, los cuales se clasifican en modelo convencional y modelos dinámicos. Estos últimos, se diferencian del primero por ser continuos.

1.1. **Modelo convencional**

El modelo convencional simula las condiciones del estómago o intestino, de manera independiente, y consiste de un sólo reactor o recipiente de vidrio con agitación y temperatura ($37^\circ C$) (Gbassi y Vandamme, 2012). Se le denomina convencional debido a que la gran mayoría de las investigaciones de resistencia de probióticos encapsulados lo utilizan e incluso es definido por la United States Pharmacopeial Convention (1989).

De manera más amplia, el modelo consiste en simular las condiciones de la digestión dividiéndola en tres fases, las cuales son la gástrica, entérica y entérica final.

En la primera fase, el medio que más se utiliza es NaCl (2 a 5 g/L), para tener un medio isotónico y así mantener la integridad y viabilidad de los microorganismos. Además de mantener un pH del fluido gástrico de 1 a 3, intervalo de pH en el estómago de los seres humanos (Gbassi y Vandamme, 2012); para el ajuste del pH se utiliza HCl 0.1 M. Con frecuencia, a este fluido se le adiciona pepsina (0.3 a 3 g/L) (Chávarri, Marañón, Ares e Ibáñez, 2010; Nejati et al., 2011; Ortakci, Broadbent, McManus y McMahon, 2012; Soodbakhsh, Gheisari, Aminlari y Dehnavi, 2012; Zhao, Mutukumira, Lee, Maddox y Shu, 2012) y ocasionalmente se adiciona lipasa (0.9 mg/L) (Nejati et al., 2011). Por último, el tiempo de exposición de los probióticos encapsulados en este medio es de hasta 120 minutos (Gbassi y Vandamme, 2012).

Para la fase entérica, el medio más utilizado contiene sales de sodio como Na_2HPO_4 (Gbassi y Vandamme, 2012). Otros autores, como Chávarri et al. (2010), sugieren utilizar una solución de NaCl (6.5 g/L), KCl (0.8 g/L), $CaCl_2$ (0.2 g/L) y $NaHCO_3$ (1.4 g/L), mientras que Krasaecko et al. (2004) sugieren una solución de KH_2PO_4 0.05 M y Zhao et al. (2012) una solución de glucosa (10 g/L) y extracto de levadura (5 g/L). El rango de pH utilizado para este fluido es de 6 a 8 y bilis (1 a 10 g/L) y algunos autores (Nejati et al., 2011; Soodbakhsh et al., 2012; Zhao et al., 2012) sugieren adicionar enzimas pancreáticas (1 a 10 mg/L).

Por otra parte, otros autores sugieren que la fase entérica se lleve a cabo en una solución de leche descremada (10g/L), extracto de levadura (5 g/L), cisteína (0.05 g/L) y 1 % de bilis (Picinin De Castro-Cislaghi, Dos Reis, Beddin Fritzen-Freire, Goulart-Lorenz y Sant'Anna, 2012; Fritzen-Freire, Prudêncio, Pinto, Muñoz y Amboni, 2013). El tiempo de exposición utilizado para esta fase es de 120 minutos.

Y en la fase entérica final, Nejati et al. (2011) y Soodbakhsh et al. (2012) proponen utilizar las mismas condiciones de la fase entérica pero ajustando el pH de 6.7 a 7.5 con un tiempo de exposición de 120 minutos. Sin embargo, Zhao et al. (2012) proponen utilizar pectina (4 g/L), glucosa (0.8 g/L), almidón (6 g/L), extracto de levadura (2 g/L), KH_2PO_4 (1 g/L) y agua fecal esterilizada por filtración con un tamaño de poro de 0.22 mm y con un tiempo de exposición de 24 h.

1.2. **Modelos dinámicos**

Existen dos modelos dinámicos, los cuales son simuladores del TGI humano y consisten de un reactor para cada parte del tubo digestivo (estómago, intestino delgado, colon ascendente, colon transverso y colon descendente) (Afkhami, et al., 2007), donde la temperatura ($37^\circ C$) es controlada al igual que el pH. El primer modelo consiste en tomar una alícuota de la fase gástrica y esta se adiciona a la fase entérica o se modifica el pH del vaso que contiene el fluido gástrico (Zhao et al., 2012). En el segundo modelo, los reactores se mantienen con agitación y temperatura constante y el flujo se genera a través de una bomba peristáltica (semiautomatizado) (Gbassi y Vandamme, 2012). Ejemplos de este modelo son: a) simulador del ecosistema microbiano del intestino humano denominado SHIME (Simulator of the Human Intestinal Microbial Ecosystem) (el cual se abordará con más detenimiento debido a que se ha utilizado para determinar la liberación y resistencia de los probióticos encapsulados) y b) modelo gastrointestinal TIM por sus siglas en holandés. El primero fue desarrollado por Molly, Van de Woestyne y Verstraete en el año 1993, en Bélgica, mientras que el segundo fue desarrollado por la Organización Holandesa de Investigación Científica Aplicada, TNO por sus siglas en holandés, en específico por los investigadores Havenaar y Minekus en el año 1996 en Holanda.

El SHIME se desarrolló para estudiar la interacción de la microbiota intestinal con el colon. En un principio contaba con cinco reactores que simulaban las condiciones del intestino delgado y grueso; posteriormente De Boever, Wouters, Vermeirissen, Boon y Verstraete (2001) le adicionaron un reactor más que simula el estómago. En la Fig. 2 se puede observar cómo se encuentra conformado este modelo.

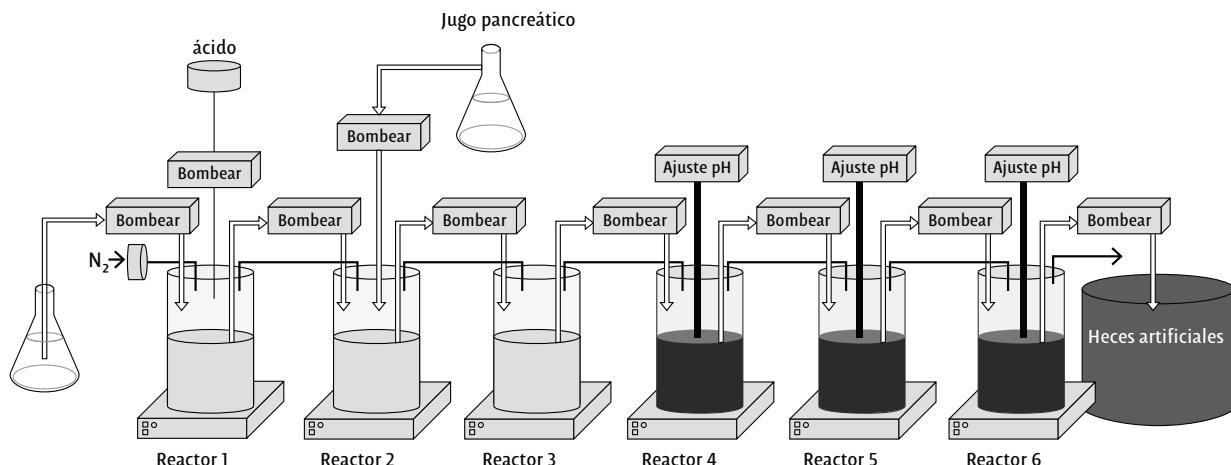


Fig. 2. Diagrama de modelo dinámico denominado SHIME (Adaptado de Yoo y Chen, 2006)

La principal característica del SHIME es la simulación del paso del quimo (al que se le adicionan los probióticos encapsulados) por el TGI, mediante la adición controlada de enzimas gástricas, pancreáticas e intestinales, así como también de bilis, el control de pH, temperatura, composición del alimento, ambiente anaeróbico, tiempo de tránsito por el TGI y adición de microbiota humana (Yoo y Chen, 2006).

El primer reactor simula las condiciones del estómago y el segundo las del duodeno; ambos simulan las condiciones de digestión de alimentos. La función principal del primer reactor se basa en el llenado y drenaje de 300 mL de solución de leche en polvo (15 g/L), pectina (16 g/L), mucina (8 g/L), almidón (5 g/L), glucosa (1 g/L), y 10 mL de sobrenadante de una suspensión compuesta de una dieta occidental humana (20 g de una mezcla de comida normal en 80 mL de una solución fisiológica) a un pH de 2 (ajustado con HCl 1 M), con un tiempo de residencia de 2 a 3 h y agitación de 150 rpm con agitador magnético (De Boever *et al.*, 2001). El segundo reactor contiene la solución anterior y se le adiciona el jugo pancreático, con la finalidad de neutralizar la acidez de la solución contenida del primer reactor a un pH de 7.5 con un tiempo de residencia de 4 h. Este jugo contiene NaHCO₃ (12 g/L), pancreatina (0.9 g/compuesta por enzimas pancreáticas como tripsina, amilasa y lipasa) además de bilis de buey (constituida por colesterol, lecitina, ácido taurocólico y ácido glicólico) y es adicionado a este reactor a una velocidad de 100 mL/h (Alander *et al.*, 1999; De Boever *et al.*, 2001). El tercer reactor simula las condiciones del yeyuno contiene 300mL de la mezcla anterior a un pH de 6.5 a 7, con un tiempo de residencia de 4 h. Por último, los tres reactores restantes simulan la microbiota del colon, ya que se les inocula una mezcla con 50 mL de una suspensión fecal al

20% con un amortiguador de fosfato de sodio se agita continuamente a 150 rpm por medio de agitadores magnéticos, en condiciones anaeróbicas mediante la inyección de N₂ en el espacio de cabeza de los reactores, dos veces al día durante 15 minutos. Para controlar el pH se utilizan HCl 0.1 M o NaOH 0.1 M y la temperatura a 37 °C es regulada por un termostato (Possemiers, Verthé, Uyttendaele, Verstraete, 2004). El cuarto reactor simula el colon ascendente, contiene una mezcla de 1000 mL con un pH de 5.5 a 6.0; el tiempo de exposición es de 20 h. El quinto reactor simula el colon transverso, con una mezcla de 1600 mL a un pH de 6.0 a 6.4, con un tiempo de residencia de 32 h. Y el sexto reactor simula el colon descendente, con una mezcla de 1200 mL a un pH de 6.4 a 6.8, con un tiempo de estancia de 24 h (Molly *et al.*, 1993; De Boever *et al.*, 2001; Van de Wiele, Boon, Possemiers, Jacobs y Verstraete, 2004).

Existen algunos estudios (Martoni *et al.*, 2007; Urbanska, Bhathena, y Prakash, 2007; Martoni, Bhathena, J., Urbanska y Prakash, 2008) en donde se reporta el uso de este modelo con modificaciones para las condiciones del estómago e intestino delgado. Para las condiciones del estómago simulado con un pH 2 (ajustado con HCl 1 M) y alimento en suspensión que contiene almidón (3 g/L), pectina (2 g/L), mucina (4 g/L), arabinogalactano (1 g/L), xilano (1g/L), extracto de levadura (3g/L), peptona (1g/L), glucosa (0.4 g/L) y cisteína (0.5g/L), con un tiempo de exposición de 1 h; las condiciones del intestino delgado (duodeno y yeyuno) simulado son NaHCO₃ (2.4 g/L), pancreatina (0.18 g/L) y sales biliares (0.5 g/L), con un tiempo de exposición de 10 h.

La principal ventaja del modelo dinámico es que tiene mejor simulación del TGI del humano ya que es continuo y las soluciones que se utilizan para este proceso contienen enzimas,

además los tiempos de residencia de un reactor a otro son mucho mayores que los de un modelo convencional

2. Supervivencia de probióticos encapsulados por diferentes técnicas a condiciones gastrointestinales

La encapsulación es una técnica que permite mejorar la supervivencia de los probióticos durante su paso por el TGI. Por lo anterior, en este apartado se abordará la supervivencia de los probióticos encapsulados por los métodos de gelificación, atomización y emulsión ante condiciones gastrointestinales modelo.

2.1. Probióticos encapsulados por gelificación

La encapsulación por la técnica de gelificación consiste en preparar una mezcla hidrocoloide con probióticos, la cual se alimenta en un extrusor, que generalmente es una jeringa. La presión ejercida sobre el émbolo de la jeringa hace que caiga el contenido en una solución, la cual permite su gelificación. La forma y tamaño de las perlas son iguales y muy estables (Gbassi y Vandamme, 2012). Es el método de encapsulación más popular, ya que es fácil de aplicar, porque garantiza una alta viabilidad de las células y es de bajo costo (Krasaekoопт et al., 2002).

El material más utilizado para la mezcla hidrocoloide es el alginato (Zomorodi, Asl, Rohani y Miraghaei, 2011), que es un heteropolisacárido lineal de ácido D- manurónico y de ácido L-gulurónico que es extraído de diversos tipos de algas. Las concentraciones de alginato que se utilizan varían de 0.6% a 2% y para la solución gelificante se utiliza CaCl_2 . El diámetro de las perlas es, aproximadamente, de 2-3 mm; la esfericidad y el tamaño de éstas depende de la viscosidad de la solución de alginato de sodio, la distancia entre la jeringa y la solución de CaCl_2 , así como también del diámetro del orificio de la jeringa (Krasaekoопт et al., 2002).

Entre los probióticos encapsulados por gelificación cuya resistencia ha sido determinada ante condiciones gastrointestinales modelo, están el *Lactobacillus acidophilus*, *L. casei*, *L. gasseri*, *L. reuteri*, *L. plantarum* y *Bifidobacterium bifidum*. Y los materiales que se utilizan son alginato y mezclas de éste con quitosano y poli-L-lisina (Krasaekoопт et al., 2004; Urbanska et al., 2007; Martoni et al., 2007; Martoni et al., 2008; Chávarelli et al., 2010; Ortakci et al., 2012; Zhao et al., 2012) (Tabla I).

Krasaekoопт et al. (2004) encapsularon *L. acidophilus* y *L. casei*, utilizaron alginato para encapsular y realizaron doble encapsulamiento adicionando para la segunda cápsula el mismo alginato, quitosano o poli-L-lisina-alginato; sometieron a las bacterias encapsuladas a un modelo gastrointestinal

convencional, obteniendo la mejor supervivencia utilizando alginato con quitosano. Sin embargo, Urbanska et al. (2007), con un modelo dinámico, obtuvieron una mejor supervivencia que Krasaekoопт et al. (2004), ya que en la fase gástrica la reducción fue de 1.8 ciclos logarítmicos y en la entérica de 0.2 ciclos logarítmicos.

Zhao et al. (2012) y Martoni et al. (2008) encapsularon *Lactobacillus reuteri*; ambos utilizaron un modelo gastrointestinal dinámico, pero el segundo un modelo semiautomatizado. En la fase gástrica, Zhao et al. (2012) obtuvieron una mejor supervivencia del probiótico, ya que sólo tienen una reducción de un ciclo logarítmico, en comparación a los que obtuvieron Martoni et al. (2008). Esto es debido a que las características de la cepa no son iguales; es importante señalar que la cepa que utilizaron Zhao et al. (2012) es más resistente a niveles de pH bajos y a la acción de la pepsina. Sin embargo, en la fase entérica Martoni et al. (2008) obtuvieron un incremento de 0.88 ciclos logarítmicos; esto es debido a que el probiótico cuenta con una enzima que hidroliza las sales biliares, lo cual evita que dichas sales afecten al *Lactobacillus reuteri* BBS.

2.2. Probióticos encapsulados por atomización

Este método es eficaz en la protección de los probióticos, por lo que es muy utilizado en la industria alimentaria. Consiste en atomizar una suspensión acuosa que contenga células probióticas; este material se esparce en forma de gotas con aire en un medio a altas temperaturas, dando como resultado una rápida evaporación del agua. La desventaja de esta técnica es la alta temperatura del aire (temperatura de entrada 100-170°C; de salida 45-105 °C) (Rokka y Rantamäki, 2010; Gbassi y Vandamme, 2012).

En los estudios revisados (Tabla I), Picinin De Castro-Cislaghi et al. (2012) y Fritzen-Freire et al. (2013) encapsularon *Bifidobacterium BB-12* por el método de atomización usando diferentes materiales: el primero con suero de leche y el segundo con leche en polvo descremada reconstituida. En ambos casos, la supervivencia fue evaluada en un modelo convencional y presentó un valor superior a 6.85 log UFC/g. Al comparar la reducción en ciclos logarítmicos, se observa que el suero de leche fue mejor encapsulante que la leche en polvo descremada reconstituida, ya que en la fase gástrica las bacterias encapsuladas con el primero presentaron una reducción de 0.73 ciclos logarítmicos, mientras que la reducción de las encapsuladas con la segunda fue de 1.87 ciclos logarítmicos; esto indica que la encapsulación con suero de leche ayuda con la supervivencia del probiótico, ya que esta bacteria es sensible a valores de pH bajos. Sin embargo, en la fase entérica la

Tabla I. Supervivencia a condiciones gastointestinales modelo de probióticos encapsulados por diferentes técnicas.

Método de encapsulación	Modelo gastrointestinal	Probiótico	Materiales	Carga inicial (log UFC/g)	Supervivencia (log UFC/g)	Referencia
Gelificación	Convencional	<i>Lactobacillus acidophilus</i>	Alginato	9.20 ^a	5.93 ^a	
				8.90 ^b	5.48 ^b	
			Alginato-quitosano	9.00 ^a	6.76 ^a	
				9.04 ^b	6.20 ^b	
			Alginato-alginato	8.77 ^a	5.30 ^a	Krasaecko et al., 2004
				9.15 ^b	4.11 ^b	
			Alginato-poli-L-lisina-alginato	9.40 ^a	5.32 ^a	
				9.08 ^b	4.00 ^b	
			Sin encapsular	9.80 ^a	3.36 ^a	
				9.30 ^b	2.50 ^b	
Dinámico		<i>Lactobacillus casei</i>	Alginato	8.25 ^a	5.80 ^a	Ortakci et al., 2012
				8.25 ^b	8.24 ^b	
			Sin encapsular	9.01 ^a	<2.00 ^a	
				9.08 ^b	8.99 ^b	
			Alginato-quitosano	9.00 ^a	7.20 ^a	Urbanska et al., 2007
				7.20 ^b	7.00 ^b	
			Alginato	9.82 ^a	4.63 ^a	Krasaecko et al., 2004
				9.95 ^b	3.96 ^b	
			Alginato-quitosano	9.89 ^a	6.62 ^a	
				9.92 ^b	6.2 ^b	
<i>Lactobacillus gasseri</i>		<i>Bifidobacterium bifidum</i>	Alginato-alginato	10.00 ^a	4.34 ^a	
				9.89 ^b	3.83 ^b	
			Alginato-poli-L-lisina-alginato	9.90 ^a	4.20 ^a	
				10.23 ^b	3.85 ^b	
			Sin encapsular	10.04 ^a	4.04 ^a	
				9.82 ^b	2.36 ^b	
			Alginato-quitosano	>7.00 ^a	7.00 ^a	Chávarri et al., 2010
				7.03 ^b	6.95 ^b	
			Sin encapsular	9.00 ^a	<1 ^a	
				7.58 ^b	<1 ^b	
<i>Lactobacillus reuteri DPC16</i>		<i>Lactobacillus reuteri BSH</i>	Alginato-quitosano	>7.00 ^a	7.00 ^a	Chávarri et al., 2010
				7.01 ^b	6.78 ^b	
			Sin encapsular	9.00 ^a	<1 ^a	
			Alginato	8.70 ^a	7.70 ^a	Zhao et al., 2012
				7.70 ^b	6.00 ^b	
			Sin encapsular	6.00 ^c	4.00 ^c	
				9.00 ^a	<1.00 ^a	
			Alginato-poli-L-lisina-alginato	9.71 ^a	6.86 ^a	Martoni et al., 2008
				8.12 ^b	9.00 ^b	
			<i>Lactobacillus plantarum</i>	9.40 ^a	8.01 ^a	Martoni et al., 2007
				8.01 ^b	8.86 ^b	

a Fase gástrica

b Fase entérica

c Fase colónica

Tabla I. (Continuación)

Método de encapsulación	Modelo gastrointestinal	Probiótico	Materiales	Carga inicial (log UFC/g)	Supervivencia (log UFC/g)	Referencia
Atomización	Convencional	<i>Bifidobacterium BB-12</i>	Suero de leche	8.20 ^a	7.47 ^a	Picinin De Castro-Cislaghi <i>et al.</i> , 2012
				11.00 ^b	6.87 ^b	
			Sin encapsular	9.00 ^a	7.49 ^a	
				9.50 ^b	9.20 ^b	
			Leche en polvo decremada	10.57 ^a	^a	Fritzen-Freire <i>et al.</i> , 2013
				10.57 ^b	8.5 ^b	
			Sin encapsular	11.20 ^a	7.2 ^a	
				11.20 ^b	8.2 ^b	
Emulsión	Convencional	<i>L. acidophilus</i>	Algínato, almidón de maíz, aceite de soya y tween 80 al 1%	9.13 ^a	7.42 ^a	Sabikhi <i>et al.</i> , 2010
				9.13 ^b	7.81 ^b	
			Sin encapsular	9.13 ^a	4.19 ^a	
				9.13 ^b	5.31 ^b	
Dinámico		<i>L. acidophilus</i>	Algínato, aceite vegetal y tween 80 al 1%	10.75 ^a	7.43 ^a	Ding y Shah, 2007
			<i>L. rhamnosus</i>	10.49 ^a	7.11 ^a	
			<i>B. longum</i>	10.63 ^a	6.45 ^a	
			<i>La. salivarius</i>	10.86 ^a	6.14 ^a	
			<i>L. plantarum</i>	10.45 ^a	6.64 ^a	
			<i>L. paracasei</i>	10.34 ^a	6.41 ^a	
			<i>B. lactis Bl-04</i>	10.46 ^a	6.27 ^a	
			<i>B. lactis Bl-07</i>	10.88 ^a	6.93 ^a	
			<i>Lactobacillus rhamnosus</i>	10.46 ^a	7.22 ^a	Ding y Shah, 2009
				10.50 ^b	6.30 ^b	
			<i>Bifidobacterium longum</i>	10.58 ^a	6.44 ^a	
				10.50 ^b	6.30 ^b	
			<i>Lactobacillus salivarius</i>	10.30 ^a	6.23 ^a	
				9.90 ^b	5.80 ^b	
			<i>L. plantarum</i>	10.42 ^a	6.93 ^a	
				10.50 ^b	6.50 ^b	
			<i>L. acidophilus</i>	10.45 ^a	7.32 ^a	
				10.30 ^b	5.90 ^b	
			<i>Lactobacillus paracasei</i>	10.55 ^a	6.44 ^a	
				9.90 ^b	6.10 ^b	
			<i>Bifidobacterium lactis Bl-04</i>	10.53 ^a	6.28 ^a	
				10.20 ^b	5.90 ^b	
			<i>B. lactis Bl-07</i>	10.42 ^a	6.96 ^a	

a Fase gástrica

b Fase entérica

c Fase colónica

leche en polvo descremada reconstituida fue mejor encapsulante, ya que las bacterias presentaron una reducción de 2.07 ciclos logarítmicos, mientras que las encapsuladas con suero e leche tuvieron una reducción de 4.13 ciclos logarítmicos.

2.3 Probióticos encapsulados por emulsión

La encapsulación por emulsión está formada por dos fases: dispersa y continua. La primera generalmente es una suspensión que contiene un polímero (carragenina, goma de algarrobo, alginato, quitosano, gelatina, pectina o carboximetilcelulosa) con probióticos, y la segunda es un gran volumen de aceite vegetal que puede ser de soya, girasol, canola o maíz. Para estabilizar la emulsión se requiere adicionar un emulgente (por lo general Tween 80 al 0.2%), el cual reduce la tensión superficial entre las cápsulas. Para preparar la emulsión, la mezcla es homogenizada por medio de agitación continua; este paso es fundamental, ya que la velocidad de la agitación afecta la forma y el tamaño de las cápsulas (este último varía entre 25 µm y 2 mm). Las cápsulas obtenidas presentan formas y tamaños desiguales, pero son 100 veces más pequeñas que las perlas obtenidas por el método de gelificación (Krasaeckopt *et al.*, 2002; Soccol *et al.*, 2010; Gbassi y Vandamme, 2012).

Las desventajas de este método son la inestabilidad de la emulsión y la necesidad de agitación vigorosa, la cual puede resultar perjudicial para la supervivencia de los probióticos (Gbassi y Vandamme, 2012).

Entre los probióticos encapsulados por emulsificación cuya resistencia ha sido determinada ante condiciones gastrointestinales modelo, están *Lactobacillus acidophilus*, *L. rhamnosus*, *Bifidobacterium longum*, *L. salivarius*, *L. plantarum*, *L. paracasei*, *B. lactis* Bi-04 y *B. lactis* Bi-07 (Ding y Shah, 2007; Ding y Shah, 2009; Sabikhi, Babu, Thompkinson y Kapila 2010) (Tabla I).

Los modelos gastrointestinales usados para evaluar la resistencia de los probióticos encapsulados por este método fueron el convencional (Ding y Shah, 2007, 2009) y el dinámico (Sabikhi *et al.* 2010). El probiótico encapsulado en los dos estudios referidos fue el *Lactobacillus acidophilus*. La mayor supervivencia en la fase gástrica se observó en el probiótico encapsulado con alginato y almidón de maíz. En la fase entérica, las condiciones que utilizaron por Ding y Shah (2007, 2009) para evaluar la supervivencia fueron 3% de bilis con un tiempo de exposición de 4 h y obtuvieron una reducción de 4.4 ciclos logarítmicos. En cambio, Sabikhi *et al.* (2010) proponen la utilización de 1% de bilis durante 3 h; bajo estas condiciones se observa que el probiótico encapsulado con alginato y almidón de maíz tiene una mayor supervivencia con respecto

a la obtenida por Ding y Shah (2007, 2009), ya que la reducción fue de 1.32 ciclo logarítmicos. Es importante destacar que la concentración de bilis que utilizaron Ding y Shah (2007, 2009) se aproxima a la que se requiere para la digestión en el sistema digestivo humano (2-3%) (Mataix-Verdú, 2009); sin embargo, Sabikhi *et al.* (2010) utilizaron un modelo dinámico y los resultados de supervivencia de los probióticos encapsulados son más representativos.

Conclusiones

En este artículo se abordaron las condiciones gastrointestinales modelo, que simulan el tracto gastrointestinal, para evaluar la supervivencia de los probióticos encapsulados. La aplicación del modelo dinámico es mejor que el modelo convencional, ya que tiene mayor similitud con el tracto digestivo del humano obteniendo resultados validos sin utilizar modelos *in vivo*, por tal motivo se recomienda su uso. Sin embargo, el modelo dinámico (SHIME) es difícil de aplicar debido a su complejidad con respecto a un modelo convencional.

Agradecimientos

A. R. Juárez-Roldán agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP), por el apoyo y financiamiento de sus estudios de posgrado.

REFERENCIAS

- Afkhami, F., Ouyang, W., Chen, H., Lawuyi, B., Lim, T. y Prakash, S. (2007). Impact of orally administered microcapsules on gastrointestinal microbial flora: in-vitro investigation using computer controlled dynamic human gastrointestinal model. *Artificial Cells, Blood Substitutes, and Biotechnology*, 35, 359-375.
- Alander, M., De Smet, I., Nollet, L., Verstraete, W., Von Wright, A. y Mattila-Sandholm, T. (1999). The effect of probiotic strains on the microbiota of the Simulator of the Human Intestinal Microbial Ecosystem (SHIME). *International Journal of Food Microbiology*, 46, 71-79.

- Chávarri, M., Marañón, I., Ares, R. e Ibáñez, C. (2010). Microencapsulation of a probiotic and prebiotic in alginate-chitosan capsules improves survival in simulated gastro-intestinal conditions. *International Journal of Food Microbiology*, 142, 185-189.
- De Boever, P., Wouters, R., Vermeirissen, V., Boon, N. y Verstraete, W. (2001). Development of a six-stage culture system for simulating the gastrointestinal microbiota of weaned infants. *Microbial Ecology in Health and Disease*, 13, 111-123.
- Ding, W. y Shah, N. (2007). Acid, bile, and heat tolerance of free and microencapsulated probiotic bacteria. *Journal of Food Science*, 72 (9), M446-M450.
- Ding, W. y Shah, N. (2009). Effect of various encapsulating materials on the stability of probiotic bacteria. *Journal of Food Science*, 74(2), M100-M107.
- Fritzen-Freire, C., Prudêncio, E., Pinto, S., Muñoz, I. y Amboni, R. (2013). Effect of microencapsulation on survival of *Bifidobacterium BB-12* exposed to simulated gastrointestinal conditions and heat treatments. *LWT - Food Science and Technology*, 50, 39-44.
- Gbassi, G. y Vandamme, T. (2012). Probiotic encapsulation technology: from microencapsulation to release into the gut. *Pharmaceutics*, 4(1), 149-163.
- Havenaar, R. y Minekus, M. (1996). Simulated Assimilation. *Dairy Industries International*, 6(9), 17-24.
- Krasaeko, W., Bhandari, B. y Deeth, H. (2002). Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt. Review. *International Dairy Journal*, 13, 3-13.
- Krasaeko, W., Bhandari, B. y Deeth, H. (2004). The influence of coating materials on some properties of alginate beads and survivability of microencapsulated probiotic bacteria. *International Dairy Journal*, 14, 737-743.
- Mataix-Verdú, J. (2009). *Tratado de Nutrición y Alimentación* (Vol. 1). Barcelona: OCEANO/ergon.
- Martoni, C., Bhathena, J., Jones, M., Urbanska, A., Chen, H. y Prakash, S. (2007). Investigation of microencapsulated BSH active *Lactobacillus* in the simulated human GI tract. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2007(7), 1-9.
- Martoni, C., Bhathena, J., Urbanska, A. y Prakash, S. (2008). Microencapsulated bile salt hydrolase producing *Lactobacillus reuteri* for oral targeted delivery in the gastrointestinal tract. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 81, 225-233.
- Molly, K., Van de Woestyne, M. y Verstraete, W. (1993). Development of a 5-step multi-chamber reactor as a simulation of the human intestinal microbial ecosystem. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 39, 254-258.
- Nejati, R., Gheisari, H. y Hosse, S. (2011). Viability of encapsulated *Bifidobacterium lactis* (BB-12) in symbiotic yogurt cheese and its survival under in vitro simulated gastrointestinal conditions. *International Journal of Probiotics and Prebiotics*, 6(3/4), 197-204.
- Ortakci, F., Broadbent, J., McManus, W. y McMahon, J. (2012). Survival of microencapsulated probiotic *Lactobacillus paracasei* LBC-1e during manufacture of Mozzarella cheese and simulated gastric digestion. *Journal of Dairy Science*, 95(11), 6274-6281.
- Özer, B., Uzun, Y. y Kirmaci, H. (2008). Effect of microencapsulation on viability of *Lactobacillus acidophilus* LA-5 and *Bifidobacterium bifidum* BB-12 during Kasar cheese ripening. *International Journal of Dairy Technology*, 61 (3), 237-244.
- Picinin De Castro-Cislaghi, F., Dos Reis E. Silva, C., Beddin Fritzen-Freire, C., Goulart-Lorenz, J. y Sant'Anna, E. (2012). *Bifidobacterium Bb-12* microencapsulated by spray drying with whey: Survival under simulated gastrointestinal conditions, tolerance to NaCl, and viability during storage. *Journal of Food Engineering*, 113, 186-193.
- Possemiers, S., Verthé, K., Uyttendaele, S. y Verstraete, W. (2004). PCR-DGGE-based quantification of stability of the microbial community in a simulator of the human intestinal microbial ecosystem. *FEMS Microbiology Ecology*, 49, 495-507.
- Prakash, S., Tomaro-Duchesneau, C., Saha, S. y Cantor, A. (2011). The gut microbiota and human health with an emphasis on the use of microencapsulated bacterial cells. Review. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2011, Article ID 981214, 1-12.
- Rokka, S. y Rantamäki, P. (2010). Protecting probiotic bacteria by microencapsulation: challenges for industrial applications. *European Food Research and Technology*, 231, 1-12.
- Sabikhi, L., Babu, R., Thompkinson, D. y Kapila, S. (2010). Resistance of microencapsulated *Lactobacillus acidophilus* LA1 to processing treatments and simulated gut conditions. *Food and Bioprocess Technology*, 3, 586-593.
- Soccol, C., Vandenberghe, L., Spier, M., Medeiros, A., Yamagishi, C., Lindner, J., Pandey, A. y Thomaz-Soccol, V. (2010). The potential of probiotics: a review. *Food Technology and Biotechnology*, 48(4), 413-434.

- Soodbakhsh, S., Gheisari, H., Aminlari, M. y Dehnavi, T. (2012). Viability of encapsulated *Lactobacillus casei* and *Bifidobacterium lactis* in symbiotic frozen yogurt and their survival under in vitro simulated gastrointestinal conditions. *International Journal of Probiotics*, 7(3/4), 121-128.
- United States Pharmacopeial Convention. (1989). *U.S. pharmacopeia. by authority of the United States Pharmacopeial convention, Inc.* (22a. ed.) Washington: Committee of revision and published by the board of Trustees.
- Urbanska, A. M., Bhathena, J. y Prakash, S. (2007). Live encapsulated *Lactobacillus acidophilus* cells in yogurt for therapeutic oral delivery: preparation and in vitro analysis of alginate-chitosan microcapsules. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 85, 884-893.
- Van de Wiele, T., Boon, N., Possemiers, S., Jacobs, H., Verstraete, W. (2004). Prebiotic effects of chicory inulin in the simu- lator of the human intestinal microbial ecosystem. *FEMS Microbiology Ecology*, 51, 143-153
- Yoo, J. y Chen, X. (2006). GIT physicochemical modeling a critical review. *International Journal of Food Engineering*, 2(4), 1-10.
- Zhao, Q., Mutukumira, A., Lee, S., Maddox, I. y Shu, Q. (2012). Functional properties of free and encapsulated *Lactobacillus reuteri* DPC16 during and after passage through a simulated gastrointestinal tract. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28, 61-70.
- Zomorodi, S., Asl, A., Rohani, S. y Miraghaei, S. (2011). Survival of *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum* and *Bifidobacterium bifidum* in free and microencapsulated forms on Iranian white cheese produced by ultrafiltration. *International Journal of Dairy Technology*, 64 (1), 84-91.

Propiedades nutricionales y funcionales del garbanzo (*Cicer arietinum L.*)

V.G. Aguilar-Raymundo* y J.F. Vélez-Ruiz

Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla.

Ex hacienda Sta. Catarina Mártir S/N, San Andrés, Cholula, Puebla. C.P.72810. México.

RESUMEN

Las nuevas tendencias en el consumo de alimentos y los cambiantes estilos de vida se han enfocado a buscar productos más saludables que además de su aporte nutricional tenga un efecto benéfico a la salud. Estas necesidades han impulsado a la búsqueda de alternativas para la producción de alimentos funcionales, por lo que se ha propuesto el aprovechamiento del garbanzo (*Cicer arietinum L.*). En México, su uso ha sido limitado, siendo una leguminosa rica en proteínas (18 - 25%) de alto valor biológico, el contenido de polisacáridos principalmente de almidón resistente. Varios autores han estudiado las propiedades funcionales (capacidad de hidratación, capacidad emulsionante y formación de espuma) que presenta la harina de garbanzo, el aislado y el concentrado proteico, considerándolo como ingrediente funcional para su incorporación en diferentes productos alimenticios como postres tipo natillas, productos de panificación y productos cárnicos. Por lo anterior el objetivo de este trabajo es revisar las propiedades nutricionales y funcionales del garbanzo y de su harina, como ingrediente potencial para el desarrollo de nuevos productos.

Palabras clave: garbanzo, harina de garbanzo, propiedades nutricionales y funcionales.

ABSTRACT

New trends in food consumption and changing lifestyles have focused on looking healthier products in addition to their nutritional have a beneficial effect on health. These needs have prompted the search for alternatives to the production of functional foods, it is proposed the use of chickpea (*Cicer arietinum L.*). In Mexico, its use has been limited, being a legume rich in protein content (18-25 %) of high biological value, and its content in polysaccharides, mainly resistant starch among other components. Several authors have studied the functional properties (hydration capacity, emulsifying capacity and foaming capacity) of the chickpea flour, isolate and protein concentrate, considering as them functional ingredients suggested for incorporation in different food products, such as custard desserts bakery products and meat products. Therefore, the objective of this paper is to review the nutritional and functional properties of chickpea flour and chickpea, as potential ingredient for the development of new products.

Keywords: chickpea, chickpea flour, nutrition and functional properties.

* Programa de Doctorado
en Ciencia de Alimentos
Tel.: +52 222 229 2126
Fax: +52 222 229 2727
Dirección electrónica:
victoria.agUILARro@UDLAP.mx

Introducción

En las últimas décadas la demanda del consumidor con respecto a los alimentos ha cambiado considerablemente, ya que cada vez busca productos que contribuyan directamente a su salud. En este sentido se ha planteado el aprovechamiento de las leguminosas de mayor consumo, tales como frijol (*Phaseolus vulgaris*), soya (*Glycine max*), lenteja (*Lens esculenta*), chícharo (*Pisum sativum*), lupinos (*Lupinus angustifolius*) y garbanzo (*Cicer arietinum L.*), para la elaboración de productos análogos a los alimentos de origen animal. Existe una variedad de estudios sobre el uso de las leguminosas, sin embargo, con respecto al garbanzo, hay poca información de su aprovechamiento. El garbanzo es una leguminosa de importancia comercial (Utrilla-Coello, Osorio-Díaz y Bello-Pérez, 2007; Aravind, Naganagoud y Veerappa, 2008) y ha sido consumido debido a sus propiedades nutricionales, representando una gran opción, principalmente por su alto contenido proteico.

En estudios recientes, se han incorporado proteínas, aislados proteicos y harina de garbanzo a diversas formulaciones para mejorar su valor nutricional, así como sus características funcionales y fisicoquímicas (Kaur y Singh, 2007; Yamsaeng-sung, Schoenlechner y Berghofer, 2010; Jukanti, Gaur, Gowda y Chibbar, 2010). El objetivo de este trabajo es revisar las propiedades nutricionales y funcionales del garbanzo y de su harina, así como identificar su potencial para el desarrollo de nuevos productos a base de esta leguminosa.

Revisión bibliográfica

A nivel mundial, el garbanzo se consume principalmente como grano y el modo de prepararlo está determinado por factores étnicos y regionales. En algunas partes del mundo, especialmente en Asia y África, el garbanzo se utiliza para la preparación de guisos, sopas, ensaladas y además se consume asado, cocido, salado y fermentado. Estas diferentes formas de consumo ofrecen a las personas una valiosa nutrición y beneficios potenciales para la salud (Jukanti *et al.*, 2012).

En México, las formas en que se consume el garbanzo son en fresco, frito con chile como aperitivo o secado al sol. Para alimentos tradicionales se utiliza en sopas, cremas, harina para la preparación de atole y mondongo (Utrilla-Coello *et al.*, 2007).

1. Origen

El cultivo de garbanzo es muy antiguo y presenta bajos requerimientos para su siembra. Se ha cultivado desde el comienzo de la agricultura hace más de 9,500 años, desde Turquía hasta Irán (Redden y Berger, 2007; Frimpong, 2010). Algunos autores sugieren que se originó en el Cáucaso meridional y el norte de Persia. La evidencia lingüística sugiere que el tipo kabuli entró a la India a través de Kabul, capital de Afganistán hace unos dos siglos y que recibió el nombre de "kabuli chana" en hindú.

De acuerdo con estudios realizados mediante polimorfismo de longitud de fragmentos de restricción, se ha llegado a la conclusión de que existen cuatro centros de biodiversidad de garbanzo: Pakistán-Afganistán, Iraq, Turquía y Líbano. Numerosas especies de plantas fueron domesticadas y aprovechadas en el cercano Oriente hace unos 11,000 años (Talebi, Naji y Fayaz, 2008).

1.1 Características botánicas y clasificación

El garbanzo (*Cicer arietinum L.*) pertenece a la familia *Leguminosae*. Es una planta anual, tiene raíces profundas, tallos pelosos y ramificados, que alcanzan una altura de hasta 0.60 m. La planta tiene abundancia de glándulas excretoras; las hojas son pari o imparipinnadas; foliolos de borde dentado; flores axilares solitarias; frutos en vaina bivalva con una o dos semillas en su interior, ligeramente arrugadas, con dos grandes cotiledones (Morales-Gómez, Durón-Noriega, Martínez-Díaz, Núñez-Moreno y Fu-Castillo, 2004; Valencia, 2009; Frimpong, 2010).

Existen dos tipos de garbanzo: kabuli y desi. Morfológicamente son distintos; kabuli forma vainas relativamente largas, sus semillas son grandes, menos arrugadas, de color blanco o crema. El tipo desi, son semillas pequeñas y de color marrón, contiene una capa áspera con una angularidad pronunciada y la superficie fuertemente estriada. La cubierta de la semilla de tipo desi es considerablemente más gruesa que la de los tipos kabuli pero en ambos tipos hay buena adherencia del recubrimiento de la semilla y de los cotiledones (Ravi, 2005; Jukanti *et al.*, 2012).

Las características físicas del grano de garbanzo dependen de la variedad (genotipo) y de las condiciones ambientales durante su desarrollo. El conocimiento de las propiedades físicas es indispensable para el adecuado diseño del equipamiento, para el manejo, transporte y acondicionamiento de los granos. En un estudio realizado por Ravi (2005) reportó datos de diámetro perpendicular (7.58 ± 0.07 mm) y diámetro paralelo al cotiledón (9.47 ± 0.14) para el grano tipo kabuli. Por su realizaron mediciones de las dimensiones de longitud ($7.92-8.14$

mm), ancho (6.10-6.37 mm) y grosor (6.43-6.84 mm) para el grano de garbanzo tipo kabuli, por lo que se concluye que las características físicas están en función de la variedad del grano en estudio.

Los tipos de garbanzo que se producen en México provienen inicialmente de la región mediterránea (Francia, España e Italia) y asiática (India y Afganistán); las primeras se destinan al consumo humano (kabuli) y las segundas al forrajero (desi), en la Fig.1 se muestran estos tipos donde las principales diferencias son el color y el tamaño. Debe destacarse que estos tipos han sido adaptadas y mejoradas genéticamente, generando otras diversas variedades con altos rendimientos, semilla de calidad para el mercado de exportación y resistencia a distintas enfermedades. Algunas variedades que se han liberado y se cultivan en gran parte de México, son Surutato 77, Sonora 80, Santo Domingo 82, Tubatama-88, Mocorito- y Blanco-Sinaloa 92 y recientemente liberadas Costa 2004 y Blanco noroeste (Morales-Gómez *et al.*, 2004).

1.2 Requerimientos edafo-climáticos

El garbanzo es una planta catalogada como resistente a la sequía. En algunas regiones su cultivo se practica bajo condiciones de humedad residual, puede crecer bajo un rango de precipitación de 150 a 1,000 mm, siendo el óptimo alrededor de los 650 mm (Morales-Gómez *et al.*, 2004; Valencia, 2009).

Con respecto a la temperatura, las plantas no se dañan fácilmente por las bajas temperaturas, comunes en invierno; sin embargo, las heladas pueden afectar a la planta en las etapas de floración y formación de vainas. El rango térmico para su desarrollo es de 5-35°C, con un óptimo de 22°C. Una combinación de temperaturas diurnas de 18-25°C y nocturnas de 5-10°C resulta ser adecuada para el desarrollo del garbanzo (Valencia,

2009). Los suelos en los que se desarrolla adecuadamente el garbanzo son los silicio-arcillosos sin yeso. La profundidad del suelo debe ser mediana, con un mínimo de 25-60 cm. En relación a la salinidad del suelo, el garbanzo resulta ser ligeramente tolerante. El pH del suelo oscila en un rango de 4.2-8.6, siendo el óptimo de 7 (Morales-Gómez *et al.*, 2004; Valencia, 2009).

1.3 Producción internacional y nacional

El garbanzo se cultiva en diferentes partes del mundo, entre los países de mayor producción son: la India (8,220,000 ton/año), Australia (513,338 ton/año) y Pakistán (496,000 ton/año). México ocupa el décimo lugar en cuanto a producción de garbanzo a nivel mundial (FAO, 2011).

En la producción nacional destacan los siguientes estados productores de garbanzo: Sonora (32,894.87 ton/año), Guanajuato (12,449.55 ton/año), Michoacán (8,883.58 ton/año), Sinaloa (8,660.94 ton/año) y Baja California Sur (6,556.60 ton/año) (SIAP, 2011).

2. Propiedades nutricionales del garbanzo

La composición química del garbanzo muestra un alto contenido de grasa y fibra, mientras que la cantidad de proteína permanece alrededor del 22%. La calidad de las proteínas del garbanzo hidrolizado y los aislados se han explorado con el fin de mejorar su calidad nutricional (Muhammad, Lloyd, Rashida y Mian, 2013).

2.1 Carbohidratos

El garbanzo es una gran fuente de carbohidratos y proteínas, tanto que representan alrededor del 80% del peso seco total del grano.

Tabla I. Composición química de algunas leguminosas

Leguminosa	Proteína*	Lípidos*	Carbohidratos*	Fibra*	Minerales*
Frijol negro	26.9	1.6	66.9	1.0	3.6
Judía mungo	26.7	2.3	64	7.2	3.6
Garbanzo	22.7	5.0	66.3	3.0	3.0
Alubias	24.1	1.8	65.2	4.5	4.4
Chícharos	27.4	1.3	66.6	0.9	3.8
Lentejas	28.6	0.8	67.3	0.8	2.4
Chícharo seco	25.7	1.6	68.6	1.6	3.0

*Cantidades expresadas en porcentaje(%) b.s.

Fuente: Muhammad *et al.*, 2013

La concentración de monosacáridos en el garbanzo son: galactosa (0.05%), ribosa (0.1%), fructosa (0.25%) y glucosa (0.7%). Los disacáridos libres más abundantes son: la maltosa (0.6%) y la sacarosa (1-2%). El garbanzo es una de las leguminosas con mayor concentración de oligosacáridos. Los oligosacáridos no son digeridos ni absorbidos por el sistema digestivo humano, pero son fermentados por las bacterias del colon liberando gases (flatulencia). Los α -galactósidos, son el segundo grupo de carbohidratos de mayor abundancia en el reino de las plantas después de la sacarosa, y en el garbanzo representan alrededor del 62% de los azúcares totales (mono-, di- y oligosacáridos) (Frimpong, 2010; Jukanti *et al.*, 2012).

Los dos grupos más importantes de α -galactósidos presentes en esta leguminosa son: (1) la familia de oligosacáridos rafinosa, corresponde al 25% distribuido en rafinosa (trisacárido), estaquiosa (tetrasacárido), y verbascosa (pentasacárido) y (2) galactosil ciclotiles incluyendo el ciceritol 36 - 43% (Frimpong, 2010; Jukanti *et al.* 2012).

Los α -galactósidos no son digeridos ni absorbidos en el tracto gastrointestinal de los seres humanos, lo que lleva a su acumulación en el intestino grueso. Esto es debido a que se carece de la enzima responsable de la degradación de oligosacáridos, α -galactosidasa. La germinación disminuye el contenido de rafinosa, estaquiosa y verbascosa, generando valores bajos de α -galactósidos (1.56%), causantes de las flatulencias en comparación con otras leguminosas como el frijol 2.46%, las lentejas 2.44% y los frijoles pintos 2.30% (Guillon y Champ, 2002; Campos-Vega *et al.*, 2009).

2.1.1 Almidón

El contenido de polisacáridos en el garbanzo varía entre 37.5 a 50.8%, siendo mayor en el garbanzo tipo kabuli que en el tipo desi (Frimpong, 2010). En la Tabla II se muestran los carbohidratos complejos presentes en el grano de garbanzo, del cual destaca por encontrarse en mayor proporción al almidón (50%) y en menor cantidad la fibra dietética soluble (3.7%). Algunos autores han reportado que el contenido de almidón total en la semilla de garbanzo es de 525 g/kg base seca y aproximadamente el 35% del almidón total se considera almidón resistente y el resto es el almidón disponible. El almidón resistente se refiere a todo el almidón y los productos de degradación que se resisten a la digestión intestinal, pero que se mantienen en el colon de los seres humanos, donde son fermentados por las bacterias presentes (Topping y Clifton, 2001). El almidón del garbanzo contiene amilosa que varía entre 30 y 40%, esto se ha asociado con la digestibilidad del almidón *in vitro*, debido a que contiene almidón de menor digestibilidad (almidón resistente) en comparación con el almidón de los cereales (Osorio - Díaz, Agama - Acevedo, Mendoza - Vinalay, Tovar, Bello - Pérez, 2009; Jukanti *et al.*, 2012).

El garbanzo también contiene polisacáridos que no forman parte del almidón, se dividen en dos tipos: solubles e insolubles. La parte soluble está integrada por hemicelulosa (3.5-9%) y sustancias pecticas (1.5-4%), éstos se digieren lentamente debido a su naturaleza higroscópica y pegajosa. Los componentes insolubles son la celulosa y algunas hemicelulosas siendo éstos los que forman parte de la pared celular y que generalmente se hace referencia a la fibra cruda. El garbanzo



Fig. 1. a) garbanzo tipo desi; b) garbanzo tipo kabuli

tipo desi contiene entre 4 a 13% de celulosa, mientras que el tipo kabuli contiene menos del 5%, esto se debe a la diferencia en el grosor de la testa (Wood y Grusak, 2007).

2.2 Proteínas

El contenido de proteína en el garbanzo varía significativamente cuando se considera la masa total del grano seco (17-22%) y cuando es descascarado incrementa (25.3-28.9 %). En varios estudios se han reportado diferencias en la concentración de proteína cruda de kabuli y desi. Cabe señalar que la calidad de la proteína del garbanzo resulta ser, mejor que otras leguminosas tales como del frijol negro (*Vigna mungo L.*), jardía mungo (*Vigna radiata L.*) y frijol rojo (*Cajanus cajan L.*).

La mayoría de las proteínas que se encuentran en el garbanzo son principalmente de reserva y se clasifican con base en sus propiedades de solubilidad, tales como albúminas, globulinas, y glutelinas. Las globulinas, representan aproximadamente el 70% del total de proteína contenida en las leguminosas (garbanzo, chícharo y lentejas). Las albúminas, corresponden al 10-20% de la proteína total. Por último, las glutelinas, se encuentran entre el 10 y el 20% (Roy, Boye y Simpson, 2010).

Las proteínas de reserva del garbanzo son relativamente bajas en aminoácidos que contienen azufre, tales como metionina, cisteína y triptófano. Sin embargo, el contenido de lisina y arginina es alto en comparación con los cereales. Por esta razón, la combinación de leguminosas y cereales proporcionan los aminoácidos esenciales necesarios para una adecuada nutrición (Duranti, 2006).

Hay muchos otros tipos de proteínas que se encuentran en las leguminosas, incluyendo diversas enzimas, inhibidores de

Tabla II. Concentración de polisacáridos en el grano de garbanzo

Componente	Concentración (%)
Almidón	50.4
Amilosa	20.0 - 46.5
Almidón resistente	3.4 - 16.4
Celulosa	1.1 - 13.7
Hemicelulosa	0.6 - 16.0
Lignina	Trazas a 7.1
Fibra dietética total	8.2 - 24.0
Fibra dietética soluble	3.7
Fibra dietética insoluble	7.9
NSP polisacáridos no almidón	5.5 - 35.4

Fuente: Wood y Grusak, 2007.

tripsina y las lectinas, que son comúnmente conocidos como compuestos o factores antinutricionales. La mayoría de estas proteínas son solubles en agua. Además, presentan diferencias con respecto a otras proteínas de reserva, a su funcionalidad, debido a que han evolucionado en la semilla como un mecanismo protector. Dichas propiedades se presentan en la harina, concentrados y aislados proteicos de leguminosas. Los concentrados proteicos son aquellos que contienen un mínimo (70%) de proteína en base seca, se extraen a partir de harina desgrasada, con la eliminación de compuestos solubles no proteicos, obteniendo un producto rico en azúcares insolubles y proteínas (de Luna-Jiménez, 2007). Los aislados proteicos son los que contienen entre el 80 y 90% de proteínas, para obtenerlo generalmente el grano es descascarillado, pulverizado y la harina se desgrasa, posteriormente se ajustan a pH alcalinos, para generar la precipitación de proteínas y separarla del resto de los compuestos no solubles.

2.3 Lípidos

El garbanzo presenta mayor contenido de grasa que otras leguminosas. La concentración total de lípidos de los tipos desi y kabuli oscila entre 2.9-7.4 % y 3.4-8.8%, respectivamente. El contenido total de lípidos en el garbanzo comprende principalmente ácidos grasos poliinsaturados (62-67%), ácidos grasos mono-insaturados (19-26%) y grasas saturadas (12-14%) (Wood y Grusak, 2007).

El contenido de lípidos presenta una ligera variación genotípica, ya que se ha visto que en países como Irak, India y Canadá, que siembran las mismas especies de garbanzo, el promedio de lípidos es de 5.3, 6.6 y 7.3% respectivamente. El principal ácido graso presente en las fracciones lipídicas es el ácido palmítico (Ravi, 2005). El ácido linoleico se encuentra en el tipo desi (46-62%) y kabuli (16-56%) (Muhammad *et al.*, 2007; Wood y Grusak, 2007).

2.4 Vitaminas

El garbanzo contiene vitaminas hidrosolubles y liposolubles. Del grupo del complejo B destacan la riboflavina (vitamina B₂) que se encuentra en pequeñas cantidades, ésta se activa después de ser absorbida en el intestino delgado; la niacina (vitamina B₃) se asocia con el contenido de proteínas, por lo que alimentos ricos en proteína son fuentes importantes de niacina; la vitamina B₆ se presenta en tres formas químicas, piridoxina, piridoxal y piridoxamina (Wood y Grusak, 2007). El garbanzo es una fuente rica en piridoxina.

El contenido de folato varía de 150-557 µg/g y de vitamina C, 4 mg/100 g (Wood y Grusak, 2007). Abbo *et al.* (2005) señalan

que el garbanzo contiene alta concentración de carotenoides, hasta 49 mg/100 g de β -caroteno, precursor de la vitamina A, además contiene carotenoides que no tienen actividad de vitamina A, tales como la luteína y la zeaxantina. Por otra parte, el garbanzo contiene 13.7 mg/100 g de vitamina E (Wood y Grusak, 2007; Jukanti *et al.*, 2012).

2.5 Minerales

El garbanzo aporta alrededor del 40% de manganeso y cobre y el 15% para el hierro y el zinc, con base en la dosis diaria recomendada para adultos; cabe mencionar que estas concentraciones pueden variar con respecto al tipo de garbanzo. Además aporta un 7 % de la dosis diaria recomendada de selenio.

En la Tabla III se muestra el contenido de los principales macronutrientes presentes en el garbanzo, destacando su importancia el calcio (40-267 mg/100 g), el potasio (220-333 mg/100 g), el fósforo (159-930 mg/100 g) y el azufre (160-200 mg/100 g); la variación de la cantidad de los minerales depende directamente de las condiciones del cultivo (Wood y Grusak, 2007; Muhammad *et al.*, 2007).

2.6 Compuestos bioactivos

Las leguminosas contienen componentes que no son nutritivos, pero desempeñan funciones metabólicas benéficas para la salud, tales como alcaloides, isoflavonas, compuestos fenólicos y una gran variedad de oligosacáridos. Generalmente las leguminosas presentan mayor cantidad de compuestos fenólicos que los cereales (<1%). El garbanzo tipo desi tiene una mayor con-

centración (0.84-6.00 mg/g) con respecto al tipo kabuli (0.02-2.20 mg/g), directamente relacionado a la coloración del grano. Otros carbohidratos benéficos para la salud incluyen los oligosacáridos y el almidón resistente, que puede servir como prebióticos. En la Tabla IV se muestran los compuestos bioactivos presentes en el garbanzo y su efecto a la salud, conteniendo en mayor cantidad oligosacáridos y fitatos (Muzquiz y Wood, 2007).

3. Propiedades funcionales de la harina y proteínas del garbanzo

Las propiedades funcionales se definen como “cualquier propiedad fisicoquímica de los polímeros que afectan y modifican algunas características de un alimento y que contribuye a la calidad final del producto” (Sikorski, 2007; Badui, 1993). En la Tabla V, se agrupan las propiedades funcionales más importantes de las proteínas que afectan a la apariencia, el color, la jugosidad, sensación en la boca y la textura de una gran variedad de alimentos, así como en las operaciones de corte, picado, mezcla, formación de masa, fibras y el transporte de materiales alimenticios (Sikorski, 2007).

Las propiedades funcionales del garbanzo al incorporarlas en diversos alimentos, tales como sopas, productos extruidos y listos para su consumo y productos de panificación, entre otros han sido estudiadas (Boye *et al.*, 2010).

3.1 Propiedades de hidratación

La capacidad de retención de agua (WHC, por sus siglas en inglés) es la capacidad de una matriz de proteína de absorber y

Tabla III. Composición de minerales presente en el garbanzo tipo kabuli (mg/100 g de grano seco)

Mineral	Cantidad	
	mínima	máxima
Calcio	40.0	267.0
Magnesio	10.0	239.0
Fósforo	159.0	930.0
Potasio	220.0	1333.0
Sodio	2.1	64.0
Azufre	160.0	200.0
Hierro	3.2	14.3
Manganeso	0.1	9.4
Cobalto	6.0	41.0
Zinc	2.0	5.4
Selenio	0.5	10.0

Fuente: Wood y Grusak, 2007

Tabla IV. Compuestos bioactivos presentes en el grano de garbanzo

Compuestos	Presencia	Actividad biológica
Oligosacáridos	+++	Prebióticos, flatulencias
Fitatos	+++	Reducción de índice glucémico, quelante
Polifenoles	++	Capacidad antioxidante
Isoflavonas	±	Fitoestrógenos, control metabólico
Lectinas	±	Antitumoral, inhibe el crecimiento

++++ Muy abundante

+++ abundante

++ bajo

± muy bajo

Adaptado de Muzquiz y Wood 2007.

Tabla V. Propiedades funcionales de las proteínas y su interacción con diferentes componentes de alimentos

Agua	Interacciones con lípidos o gases
Humectación	Capacidad emulsionante
Hidratación	Estabilización de emulsión
Rehidratación	Capacidad espumante
Retención de agua	Estabilización de espuma
Solubilidad	

Fuente: Sikorski, 2007.

retener agua (Traynham, Deland, Carriquiry y Johnson, 2007), mientras que la capacidad de absorción de agua, se define como la cantidad de agua absorbida por gramo de material proteico.

La importancia de la WHC de las proteínas, es determinada por su alto grado de interacción con el agua y depende de algunos parámetros tales como el tamaño de partícula, factores extrínsecos como temperatura, pH, concentración, estructuras conformacionales balance hidrófilo/hidrófobo de aminoácidos y presencia de lípidos, azúcares y taninos asociados con las proteínas (Han y Khan, 1990).

La propiedad de hidratación se presenta en la harina, concentrados y aislados proteicos de leguminosas. En un estudio realizado por Kohajdová, Karovičová y Magala (2011) llevaron a cabo una comparación de las propiedades funcionales de la harina de trigo con respecto a la harina de garbanzo. La harina de garbanzo mostró una mayor WHC (5 g H₂O/g de harina), respecto a la harina de trigo (3.20 g H₂O/g de harina). Se ha reportado que las harinas con una alta WHC podrían ser buenos ingredientes para incorporarlos en productos de panadería, ya que permiten adicionar mayor contenido de agua mejorando así las características de manejo y ayudando a mantener la frescura del pan. Por otro lado, Ionescu *et al.* (2009) estudiaron la capacidad de absorción de agua de la harina y el concentrado de proteína del garbanzo, siendo de 126 mL y 176 mL H₂O/100 g de producto, respectivamente.

Kaur y Singh (2005), determinaron la capacidad de absorción de agua en harinas de garbanzo de tipo desi y kabuli, en donde observaron que la harina proveniente del garbanzo tipo desi presentó una mayor capacidad de absorción de agua (1.47 g de H₂O/g de harina) con respecto a la harina de tipo kabuli (1.33 g H₂O/g de harina). Estos autores concluyen que la diferencia se debe principalmente a la presencia de compuestos hidrófilos (polisacáridos) y al contenido de proteínas. Estos mismos autores realizaron otro estudio en el 2007 en donde compararon estas propiedades en la harina y el concentrado

proteico de garbanzo tipo desi y kabuli y observaron que el concentrado presentó mayor capacidad de absorción con respecto a la harina, y además el concentrado proveniente del garbanzo tipo kabuli, muestra una menor capacidad de absorción de agua (2.34 g/g) con respecto al concentrado del tipo desi, esta diferencia se la atribuyen a que el concentrado de tipo kabuli tenga una menor disponibilidad de aminoácidos polares que son los sitios de interacción con el agua.

Por otro lado, Aguilera, Benítez, Mollá, Esteban y Martín (2011) evaluaron dichas propiedades, considerando diversos tratamientos para la obtención de harina de garbanzo: (1) garbanzo crudo, (2) garbanzo remojado, (3) garbanzo remojado + tratamiento térmico (cocción) y (4) garbanzo remojado + tratamiento térmico + deshidratación. Ellos reportan que los procesos aplicados (2-4) mejoran la WHC, ya que se aumentó hasta 2.6 veces con respecto al garbanzo crudo y la absorción de agua a 3.1. Esto pudiera deberse al contenido de hidratos de carbono, ya que el almidón que se gelatiniza y la fibra dietética absorbe el agua. Por lo tanto, las propiedades de hidratación no se encuentran directamente relacionadas con las proteínas. Con base en lo anterior, los autores concluyen que la harina de garbanzo obtenida mediante los procesos descritos anteriormente podría ser utilizada en la formulación de alimentos como salchichas, natillas, y pastas, ya que pueden proporcionar cuerpo y viscosidad.

3.2 Propiedades emulsionantes

Las propiedades emulsionantes de las proteínas juegan un papel importante en diversas aplicaciones en alimentos. Existen varios factores que influyen sobre estas propiedades como las características estructurales y químicas, el grado de hidrólisis, el contenido y arreglo de los aminoácidos, el peso molecular, las regiones hidrofóbicas y las condiciones que prevalecen en el medio tales como la temperatura, pH y efectos iónicos (Sikorski, 2007).

La capacidad emulsionante se refiere a la cantidad máxima de aceite emulsionado, bajo condiciones específicas, por una cantidad estándar de proteína, hasta que se produzca la inversión de fases. Se relaciona con el área interfacial que puede cubrir la proteína y la estabilidad de emulsión se puede medir después de realizar un calentamiento y centrifugar la emulsión a baja velocidad o después de la decantación, durante varias horas. La ruptura de la emulsión provoca la separación de una capa acuosa y otra de aceite.

En un estudio realizado por Esmat, Abou, Helmy y Bareh (2010), se encontró que la capacidad emulsionante de la harina de garbanzo, se ve afectada por el tratamiento térmico

por microondas y el proceso tradicional de cocción. La harina de garbanzo cruda presentó valores más altos respecto a la capacidad emulsionante 145.91 mL aceite/g muestra, la harina cocida en microondas 140.71 mL aceite/g muestra y la harina obtenida mediante el proceso tradicional de cocción 136.34 mL aceite/g muestra. Con respecto a la estabilidad de la emulsión, todos los tratamientos presentaron el mismo comportamiento. Estos autores concluyen que la diferencia en la composición de proteína total, así como componentes que no sean proteínas (posiblemente carbohidratos), puede contribuir sustancialmente a las propiedades emulsionantes de las harinas provenientes del garbanzo.

Por su parte, Al-Asward y Al-Nagmawi (1989) reemplazaron parte de la carne adicionando proteína de garbanzo y observaron que la capacidad emulsionante no tuvo un efecto significativo al reemplazar las proteínas del músculo con proteínas de garbanzo hasta en un 50%.

3.3 Capacidad de formación de espuma

La formación de espuma es una propiedad funcional de las proteínas utilizadas en la elaboración de diversos productos de panificación, repostería y confitería, así como en la preparación de postres y alimentos congelados. La capacidad de las proteínas para formar y estabilizar espumas depende de varios parámetros tales como el tipo de proteína y grado de desnaturización, la presencia o ausencia de iones de calcio, pH, temperatura, métodos de batido y otros componentes químicos (lípidos, carbohidratos) (Badui, 1993; Sikorski, 2007).

Las espumas son sistemas coloidales bifásicos con una fase líquida o acuosa y una fase de gas o de aire dispersa. Las espumas de alimentos son normalmente producidas por agitación o batido, y el método utilizado tiene un efecto sobre las características de la espuma. La capacidad espumante (medida como el volumen de espuma formada y usualmente expresada como porcentaje de volumen) y la estabilidad (la cual se mide como el tiempo que tarda en colapsarse la espuma) son dos de las características comunes de espumas.

En un estudio realizado por Wen, Xian, Jian, Ju y Hao (2008), se determinó la capacidad espumante de aislados proteicos de garbanzo, encontrando que la FC de todos los aislados de proteína de garbanzo aumentó con la concentración de proteína, siendo el garbanzo de tipo kabuli, el que mostró una mayor estabilidad de la espuma (94.7%) después de 120 minutos.

Por otro lado, Han y Khan (1990) realizaron un estudio en el cual compararon la formación de espuma para dos tipos de

harina, con garbanzo crudo o garbanzo tostado, observaron que el tostado disminuye la formación de espuma, comparada con la harina no tratada. Los autores se lo atribuyen al tamaño de partículas obtenidas para cada tipo de harina, sugieren que las partículas finas presentan mayor formación de espuma con respecto a las partículas de tamaño medio.

La capacidad de formación de espuma de las suspensiones acuosas de la harina de garbanzo es entre 1% y 40%, lo que resulta ser menor comparada con la del concentrado de proteína 30.4 a 44.3% (Ionescu *et al.* 2009).

3.4 Capacidad para formar geles

La capacidad de las proteínas vegetales para formar redes tridimensionales es una de las propiedades funcionales más importantes que justifican su aplicación como ingrediente en la industria alimentaria. Los geles de proteínas se caracterizan por presentar alta viscosidad, plasticidad y elasticidad (Ionescu, Aprodu, Darabă, Gurău y Banu, 2011).

Ionescu *et al.* (2011) observaron el comportamiento de suspensiones de proteína de garbanzo y la capacidad para formar geles preparadas a diferentes concentraciones (16, 24 y 36%) estas fueron sometidas a diferentes temperaturas de 50-100°C, pH (4 y 7) y concentración de sal (0-1 M). El resultado de este estudio mostró que la capacidad de formar geles está influenciada por la concentración de proteínas, el pH y el nivel de sal.

Por su parte Kaur y Singh (2007) estudiaron la capacidad gelificante de los aislados proteicos obtenidos de garbanzo tipo desi y kabuli, preparadas a concentraciones de 14 y 18%, después de ser calentadas durante 1 h a baño maría, formaron un gel y a partir de concentraciones mayores (18-20%) obtuvieron geles muy firmes.

Conclusiones

El garbanzo es un alimento rico en proteínas y carbohidratos. Sus propiedades nutricionales, están determinadas por las condiciones de cultivo y la variedad. Las propiedades funcionales de la harina, el aislado y el concentrado proteico de garbanzo, se ven afectadas por los tratamientos a los que son sometidos para su obtención. Los beneficios que otorga esta leguminosa y sus componentes permiten concluir que tiene un gran potencial para ser aprovechada para la formulación y desarrollo de alimentos funcionales.

Agradecimientos

La autora Aguilar-Raymundo agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP) por el apoyo para sus estudios de posgrado.

REFERENCIAS

- Abbo, S., Molina, C., Jungmann, R., Grusak, M.A., Berkovitch, Z., Reifen, R., Kahl, G. y Winter, P. (2005). Quantitative trait loci governing carotenoid concentration and weight in seeds of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 111, 185-195.
- Aguilera, Y., Benítez, V., Mollá, E., Esteban, R.M., y Martín C.M.A. (2011). Influence of dehydration process in Castellano chickpea: changes in bioactive carbohydrates and functional properties. *Plant Foods Human Nutrition*, 66, 391-400.
- Al-Asward, M.B. y Al-Nagmawi, M.H.M. (1989). Effect of aging quality of meat proteins. *Proc. 35th International Congress in Meat Science and Technology*, Copenhaguen, Denmark.
- Aravind, G. G. P., Naganagoud V. K. y Veerappa M. (2008). Enzymatic removal of flactulence.inducing sugars in chickpea milk using free and polyvinyl alcohol immobilized α -galactosidase from *Aspergillus oryzae*. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 36, 29-33.
- Boye, J.I., Aksay, S., Roufik, S., Ribéreau, S., Mondor, M., Farnworth, E. y Rajamohamed, S. H. (2010). Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques. *Food Research International*, 43, 537-546.
- Badui, S. (1993). Proteínas. *Química de alimentos* (págs. 153-160) México: Pearson Educación.
- Campos-Vega, R., Reynoso-Camacho R., Pedraza-Aboytes, A. G., Acosta-Gallegos, J. A., Guzmán-Maldonado. S. H., Paredes-López, O., Oomah, B.D. y Loarca-Piña, G. (2009). Chemical composition and in vitro polysaccharide fermentation of different beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Science*, 74 (7), 59-65.
- de Luna-Jiménez, A. (2007). Composición y procesamiento de la soya para consumo humano. *Investigación y Ciencia*, 15(37), 35-44.
- Duranti, M. (2006). Grain legume proteins and nutraceutical properties. *Fitoterapia*, 77, 67-82.
- FAO, 2011. Agriculture production statistics. Recuperado el 22 de noviembre de 2013. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
- Frimpong, A. (2010). *A study of chickpea (Cicer arietinum L.) seed starch concentration, composition and enzymatic hydrolysis properties*. Tesis de doctorado. Universidad de Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan.
- Guillon, F y Champ, M. M. J. (2002). Carbohydrate fractions of legumes: uses in human nutrition and potential for health. *British Journal of Nutrition*, 88(3), S293-S306.
- Han, J.Y y Khan, K. (1990). Functional properties of pin-milled and air-classified dry edible bean fractions. *Cereal Chemistry*, 67(4), 390-394.
- Ionescu, A., Aprodù, I., Darabă, A., Gurău, G., Baciu, C. y Nichita A. (2009). Chemical and functional characterization of chickpea protein derivates. *Paper presented at the International Symposium Euro-aliment*, Galati-Romania.
- Ionescu, A., Aprodù, I., Darabă, A., Gurău, G. y Banu, I. (2011). Rheology of chickpea protein concentrate dispersions. *Scientific Study and Research Chemistry and Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, 12(4), 387 - 399.
- Jukanti, A. K., Gaur, P. M., Gowda, C. L. L., y Chibbar R. N. (2012). Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): a review. *British Journal of Nutrition*, 108(S1), S11-S26.
- Kaur, M. y Singh, N. (2005). Studies on functional, thermal and pasting properties of flours from different chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Food Chemistry*, 91, 403-411.
- Kaur, M., y Singh, N. (2007). Characterization of protein isolates from different Indian chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Food Chemistry*, 102, 366 - 374.
- Kohajdová, Z., Karovičová, J. y Magala, M. (2011). Utilisation of chickpea flour for crackers production. *Acta Chimica Slovaca*, 4(2), 98 - 107.
- Morales-Gómez, J.A., Durón-Noriega, L.J., Martínez-Díaz, G., Núñez-Moreno, J.H., y Fu-Castillo A.A. (2004). *Cultivo de garbanzo blanco en Sonora*. México: INIFAP-SAGARPA.
- Muhammad, A., Lloyd, W.R., Rashida, A. y Mian, N.R. (2013). Application and opportunities of pulses in food system: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(11), 1168 - 1179.

- Muhammad, Z.U. H., Shahid, I., Shakeel, A. Muhammad, I., Abdul N. y Bhanger, M.I. (2007). Nutritional and compositional study of desi chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars grown in Punjab, Pakistan. *Food Chemistry*, 105, 1357-1363.
- Muzquiz, M. y Wood, J.A. (2007). Antinutritional factors (págs. 143 - 166). En: S.S. Yadav, R. Redden, W. Chen y B. Sharma (eds.). *Chickpea Breeding and Management*. CAB International.
- Ravi, R. (2005). *Rheology of chickpea (Cicer arietinum L.) flour suspensions and characterisations offried product-Boondi*. Tesis doctoral. Universidad de Mysore, India.
- Redden, R.J. y Berger, J.D. (2007). History and origin of chickpea. (págs 1-13). En: S.S. Yadav, R. Redden, W. Chen y B. Sharma (eds.). *Chickpea Breeding and Management*. CAB International.
- Roy, F., Boye, I.J. y Simpson, B.K. (2010). Bioactive proteins and peptides in pulse crops: Pea, chickpea and lentil. *Food Research International*, 43, 432-442.
- SIAP, 2011. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. <http://www.siap.gob.mx/>
- Sikorski, Z.E. (2007). The role of proteins in food. *Chemical and functional properties of food componentes* (3a. ed. págs. 138-148). Boca Ratón: CRC Press Taylor and Francis Group.
- Talebi, R., Naji, A.M., y Fayaz, F. (2008). Geographical patterns of genetic diversity in cultivated chickpea (*Cicer arietinum* L.) characterized by amplified fragment length polymorphism. *Plant Soil Environment*, 54(10), 447-452.
- Topping, D. L. y P. M. Clifton. (2001). Short-chain fatty acids and human colonic function: roles of resistant starch and nonstarch polysaccharides. *Physiological Reviews*, 81, 1031-1064.
- Traynham, T. L., Deland, J. M., Carriquiry, A.L y Johnson, L.A. (2007). Evaluation of water-holding capacity for wheat-soy flour blends. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 84, 151-155.
- Valencia, M. B.D. (2009). *Evaluación técnica financiera de la industrialización del garbanzo (Cicer arietinum L.) usando un proceso de extrusión*. Tesis de licenciatura. Quito, Ecuador.
- Wen, R.G, Xian, S. W., Jian, G., Ju S., Z. y Hao, M. (2008). Physicochemical and processing functional properties of proteins from two chinese chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Journal of Food Processing and Preservation*, 34, 575-594.
- Wood, J.A y Grusak, M.A. (2007). Nutritional value of chickpea (págs. 121-132). En: S.S. Yadav, R. Redden, W. Chen y B. Sharma (eds.). *Chickpea Breeding and Management*. CAB International.
- Yamsaengsung, R., Schoenlechner, R., y Berghofer, E. (2010). The effects of chickpea on the functional properties of white and whole wheat bread. *International Journal of Food Science and Technology*, 45, 610-620.

Extractos y aceite esencial del clavo de olor (*Syzygium aromaticum*) y su potencial aplicación como agentes antimicrobianos en alimentos

A. E. Aguilar-González* y A. López-Malo

Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla.

Ex hacienda Sta. Catarina Mártir S/N, San Andrés, Cholula, Puebla. C.P.72810. México.

RESUMEN

La aplicación de aceites esenciales de plantas y especias en distintos campos tales como gastronomía, medicina y en la industria de los alimentos es numerosa. El clavo de olor, *Syzygium aromaticum*, también conocido como *Eugenia caryophyllata*, es una especia ampliamente usada y conocida. Su aceite esencial y extractos han sido analizados y caracterizados debido a que han demostrado tener amplio espectro de acción contra una gran variedad de microorganismos causantes de distintos padecimientos que afectan a humanos, animales y plantas. El objetivo de este documento es recopilar algunos de los aspectos más relevantes acerca de esta especie, resaltando la actividad antimicrobiana de sus extractos y aceite esencial y el uso potencial de éstos en la industria de los alimentos.

Palabras clave: *Syzygium aromaticum*, *Eugenia caryophyllata*, aceites esenciales, antimicrobianos naturales, clavo de olor.

ABSTRACT

There are many applications of essential oils from plants and spices in several fields, such as gastronomy, medicine, food industry, among others. *Syzygium aromaticum*, also known as *Eugenia caryophyllata*, is a spice widely used and known. Its essential oil and extracts have been analyzed and characterized, because it has been demonstrated to have a wide action spectrum against many microorganisms, which cause several diseases that affect humans, animals and plants. The aim of this document is to collect some of the most relevant aspects about this spice, standing out the antimicrobial activity of its extracts and essential oil and the potential application of them in the food industry.

Keywords: *Syzygium aromaticum*, *Eugenia caryophyllata*, essential oils, antimicrobial activity, clove.

 Programa de Doctorado
en Ciencia de Alimentos
Tel.: +52 222 229 2126
Fax: +52 222 229 2727
Dirección electrónica:
anae.aguilarglez@udlap.mx

Introducción

En la actualidad, cada vez son más los consumidores que buscan o prefieren adquirir productos naturales, orgánicos o mínimamente procesados, sin que se comprometa la inocuidad de los alimentos (Trajano, Lima, Souza y Travazzos, 2010). Para satisfacer algunas de estas demandas, uno de los más grandes retos de la industria de alimentos consiste en reducir los aditivos químicos convencionales en la formulación y producción de éstos (Sánchez-González, Vargas, González-Martínez, Chiralt y Cháfer, 2011). Con esto en mente, se ha redirigido la atención hacia los productos naturales que las plantas y especias pueden proveer, debido a que muchos de estos productos han demostrado tener propiedades adicionales, no sólo el aportar sabor y olor, sino también cualidades medicinales y de conservación para extender la vida útil y prevenir el deterioro de alimentos, el cual tiene gran impacto económico al disminuir las pérdidas por esta causa (Sethi, Dutta, Gupta y Gupta, 2013; Radha et al., 2013). Las pérdidas, llegan a representar hasta un 50 % en los países en vías de desarrollo y la mayoría se deben a microorganismos fito-patógenos (Ippolito y Nigro, 2000).

Asimismo, las propiedades antimicrobianas de los compuestos activos de plantas y especias están fuertemente fundamentadas por las distintas investigaciones en los campos clínicos y de alimentos, y por su efecto en bacterias y hongos patógenos. De hecho, recientemente, el uso de estos compuestos activos se ha incrementado al proponerlos como aditivos naturales en la industria de los alimentos. Los agentes antimicrobianos, incluyendo a los llamados conservadores y a algunos ácidos orgánicos, han sido utilizados de manera tradicional en la industria para inhibir el crecimiento de diversos microorganismos y así extender la vida de anaquel de una gran variedad de alimentos procesados (Sethi et al., 2013).

El clavo (*Syzygium aromaticum*) es una especia ampliamente aprovechada en la perfumería y la medicina; dentro de la industria alimentaria, su aceite esencial es utilizado mayormente como saborizante (Zheng, Kenney y Lam, 1992). Existe mucha información acerca de las funciones antimicrobianas de este aceite esencial contra patógenos transmitidos por el consumo de alimentos (Sethi et al., 2013), e incluso, contra microorganismos resistentes a antibióticos y a antifúngicos (Moura et al., 2012). El objetivo de esta revisión, es recopilar información del clavo de olor, así como del efecto antimicrobiano de su aceite esencial y extractos.

Revisión bibliográfica

1. Generalidades de *Syzygium aromaticum*

El clavo de olor (*Syzygium aromaticum* o *Eugenia caryophyllata*) es una especie perteneciente a la familia Myrtaceae, la cual se caracteriza por habitar en ambientes principalmente tropicales (Singh, Baghotia y Goel, 2012; Moura et al., 2012). Es originaria de Indonesia, y actualmente se cultiva en Brasil, Haití, India, Kenia, Madagascar, Malasia, Mauricio, México, Seychelles, Sri Lanka, Tanzania, entre muchos otros países. Crece en suelos ricos en humus arcillosos, así como en suelos lateríticos (propios de las regiones cálidas, pobres en sílice y altos en hierro y alúmina), profundos y sueltos (Orwa Mutua, Kindt, Jamnadass y Anthony, 2009).

Se obtiene de un árbol perenne que florece dos veces al año. Los botones florales tienen inicialmente un color pálido que poco a poco se convierte en verde para después tornar a un color rojo o marrón oscuro (Singh et al., 2012). Los clavos, son los capullos sin abrir y se cosechan cuando las hojas verdes externas (cáliz) han cambiado de color verde a un amarillo-roja (Pandey y Singh, 2011). Los tallos, las hojas y los botones sin abrir son las partes de esta especie que se utilizan principalmente para la extracción de aceite esencial (Srivastava, Srivastava y Syamsundar, 2005).

El aceite de clavo de olor ha sido ampliamente investigado debido a su popularidad, vasta disponibilidad y alto rendimiento. De hecho, el aceite de esta especie, ha sido considerado por sus propiedades medicinales, como estimulante contra trastornos digestivos y diarrea, según la información proporcionada por Machado et al. (2011). Además, con base en lo que citan Moura et al. (2012), posee muy variados efectos dentro de los que destacan el antiséptico, analgésico, antibacteriano, antifúngico, anestésico y antimutagénico. De acuerdo a Pandey y Singh (2011) y Rana, Rana y Charan (2011), se ha reportado que los brotes o botones de *S. aromaticum* también se utilizan en la medicina popular como diurético, en odontología como antiséptico, como cardiotónico y como condimento con actividad carminativa. Se ha utilizado para el tratamiento de asma y diversos trastornos alérgicos en Corea (Park et al., 2007).

De igual manera, Ahmed (2011), al saber que los antibióticos se pueden utilizar como promotores del crecimiento en animales (Torres y Zarazaga, 2002), desarrolló un estudio en pollos empleando aceite esencial de *S. aromaticum* como alternativa natural para estimular el crecimiento en estos animales. De este estudio se reportó que los pollos tratados con

aceite de clavo tuvieron un aumento en peso corporal con respecto a los controles y a los tratados con antibióticos, al adicionar a la dieta una dosis de hasta 600 mg /kg por día.

Cabe mencionar que el aceite de *S. aromaticum* también ha demostrado poseer actividad antioxidante, tal como lo destacan Silvestri *et al.* (2010), quienes se basaron en la medida de la desaparición de la absorción del radical 2,2-difenil-1-picrilo hidracilo (DPPH). Los resultados muestran que el porcentaje antioxidante del aceite esencial de clavo aumentó proporcionalmente a la concentración de aceite añadido, alcanzando un máximo con una concentración de 10,000 µg/mL, por lo que concluyen que este aceite puede ser considerado como una alternativa de antioxidante para la formulación de nuevos productos alimenticios.

Por último, Nerio, Olivero-Verbel y Stashenko (2010) encontraron que el aceite de clavo también posee efecto repelente contra especies de insectos como el mosquito de la fiebre amarilla (*Aedes aegypti*), el mosquito vector de filariasis (*Culex quinquefasciatus*) y el mosquito vector de malaria (*Anopheles dirus*). Esta actividad fue confirmada en el trabajo realizado por Phasomkusolsil y Soonwera (2011) donde se prepararon soluciones de extracto de diferentes especies con aceite de soya en concentraciones de 1%, 5% y 10%, para después exponer a los insectos y así evaluar el efecto de dichas soluciones. En este caso, *C. quinquefasciatus* y *A. dirus* resultaron ser consideradas sensibles a la solución al 10% de *S. aromaticum*. Por otro lado, *A. aegypti* mostró resistencia a todas las concentraciones probadas.

Aunado a los estudios señalados, existe un particular interés en evaluar la actividad antimicrobiana de extractos y aceite esencial de clavo de olor, de tal manera que pudieran ser empleados en la industria de alimentos como alternativas a agentes antimicrobianos tradicionales.

2. Obtención del aceite esencial y algunos extractos de *S. aromaticum*

2.1 Métodos de extracción de aceite esencial de *S. aromaticum*

La destilación por arrastre de vapor es uno de los métodos más populares para la obtención de aceites esenciales, ya que según Jiang *et al.* (2010), esta técnica puede extraer la mayor parte de todos los componentes volátiles de la especia y se puede utilizar para llevar a cabo la extracción cuantitativa y preparativa. De acuerdo a Cerpa-Chávez (2007), este proceso también puede ser conocido como extracción por arrastre, hidrodesti-

lación, hidrodifusión o hidroextracción; sin embargo, establece que la diferencia entre estos términos radica en la forma de empleo del vapor generado. La materia prima puede estar molida como se realizó en los trabajos de Rana *et al.* (2011) y Rahnama, Najimi y Ali (2012) o también puede estar cortada, entera o la combinación de éstas (Sethi *et al.*, 2013).

Otra metodología de extracción más recientemente desarrollada, es por medio de dióxido de carbono supercrítico, este método evita la degradación térmica e hidrolítica de los compuestos lábiles del aceite esencial (Geng *et al.*, 2007). Otra ventaja de esta tecnología, es que el tiempo que toma el proceso se reduce significativamente. La extracción con dióxido de carbono líquido a baja temperatura y alta presión produce un perfil organoléptico más natural, aunque es más costoso (Sánchez-González *et al.*, 2011). De la misma manera, la presencia de residuos de los disolventes (en algunos casos tóxicos) puede evitarse en caso de realizar la extracción por maceración.

Por último, en el trabajo de Zhai *et al.* (2011) se utilizó una variación de la hidrodestilación, donde esta técnica se acopla al uso de microondas. En este caso, se agregaron polvos de hierro carbonílico a la muestra de clavo seco (como medio de absorción de microondas) para extraer los aceites durante la destilación. El tiempo de extracción fue de menos de 7 min a una potencia de microondas de 440 W. Al mismo tiempo, esta técnica fue comparada con la hidrodestilación tradicional, donde no hubo grandes diferencias en cuanto a los componentes obtenidos de los aceites esenciales recuperados por ambos métodos; sin embargo, el tiempo de extracción y el tamaño de la muestra requeridos son menores en el caso del acoplamiento a microondas.

2.2 Obtención de extractos de *S. aromaticum*

Por otro lado, existe una alternativa para obtener los compuestos fitoquímicos de *S. aromaticum*, que es a través de la obtención de extractos de partes específicas de esta especie con distintos disolventes.

Por ejemplo, en el trabajo realizado por Nassar *et al.* (2007), usaron los botones molidos de *S. aromaticum*, que fue sometido a extracciones sucesivas con diferentes disolventes (n-hexano, diclorometano y etanol). De manera similar, Pandey y Singh (2011) utilizaron etanol al 70% ó metanol al 80% para, por último, filtrar y evaporar el disolvente.

Jiang *et al.* (2010) establecen que la metodología de extracción con disolventes, por lo general requiere una gran cantidad de material vegetal y consumen mucho tiempo, además de que suelen tener baja eficiencia de extracción, así como

la degradación de los compuestos insaturados o ésteres por efectos de hidrólisis. Otra desventaja es que este método puede dejar restos tóxicos de los disolventes orgánicos utilizados.

3. Caracterización físicoquímica del aceite esencial de *S. aromaticum*

El aceite esencial de clavo es un líquido incoloro o de color amarillo-marrón claro. Tiene un aroma característico y sabor pungente, es miscible en etanol y en dietil éter; es ligeramente miscible en agua y adquiere un color marrón con el envejecimiento o en contacto con el aire (Japanese Pharmacopoeia, 2001). Es fotosensible y termolábil, por lo que la vida de almacenamiento es corta si no se protege adecuadamente (Nonsee, Supitchaya y Thawien, 2011).

Una vez obtenido el aceite, se pueden determinar los componentes de la mezcla por diferentes técnicas, siendo la principal el análisis mediante cromatografía de gases (CG) acoplado a un espectrómetro de masas (EM) como se reporta en los trabajos de Srivastava *et al.* (2005), Costa *et al.* (2011), Moura *et al.* (2012), entre muchos otros. Sin embargo, Rana *et al.* (2011) fraccionaron primero el aceite mediante técnicas de cromatografía en columna, para posteriormente analizar las fracciones por medio de cromatografía de capa fina. Después, lo analizaron con cromatografía líquida de alta eficacia para así identificar los componentes.

De acuerdo al estudio realizado por Costa *et al.* (2011), la composición del aceite obtenido por arrastre de vapor presenta en su composición al eugenol (83.6%); acetato de eugenilo (11.6%) y cariofileno (4.2%) como componentes mayoritarios, aunque Moura *et al.* (2012) establecen que estas cantidades pueden variar de la siguiente manera: eugenol 49-87%, cariofileno (4-21%) y acetato de eugenilo (0.5-21%), y adiciona a esta información la presencia en pequeñas cantidades de α -humuleno. Cabe mencionar que la composición química puede variar. Srivastava *et al.* (2005), reportaron la identificación de por lo menos 28 constituyentes en el aceite esencial de clavo de la India, mientras que se identificaron 35 y 22 componentes para los aceites esenciales obtenidos de los botones y las hojas del clavo de Madagascar, respectivamente. Destacan también que de 23 componentes que son comunes entre los aceites de los botones de las dos variedades (clavo de la India y clavo de Madagascar), se observaron diferencias significativas con respecto al acetato de eugenilo (2.1 y 6.0%), α -humuleno (1.9 y 0.8%), (E) α -bergamoteno (1.3 y 0.2 %), iso-eugenol-1 (0.8 y 0.1%), γ -cadineno (0.8 y 0.2%), (E)-nerolidol (0.1 y 0.4%), alo-aromadendreno (0.3 y 0.1%) y selineno (0.1 y 0.3%).

4. Actividad antimicrobiana del aceite esencial y extractos de clavo

Los componentes activos de las especies que tienen actividad contra los microorganismos son en su mayoría metabolitos secundarios como alcaloides, glucósidos, entre otros (Pandey y Singh, 2011).

Rahnama *et al.* (2012) atribuyen la actividad antimicrobiana del aceite esencial de clavo, a los compuestos fenólicos, así a mayor cantidad de compuestos fenólicos en el aceite esencial la actividad antimicrobiana será mayor. Dicho efecto es explicado por Nonsee *et al.* (2011) afirmando que estos compuestos pueden desnaturalizar a las proteínas y al mismo tiempo reaccionan con los fosfolípidos de la membrana celular, cambiando así su permeabilidad y produciendo la muerte microbiana.

Por otro lado, Packiyasothy y Kyle (2002), reconocen que el método de extracción influye en la composición, y por lo tanto, en la actividad antimicrobiana del aceite esencial.

4.1 Actividad antibacteriana

Gupta, Garg, Uniyal y Gupta (2009) condujeron un estudio para analizar comparativamente las actividades antimicrobianas tanto del aceite, como del extracto etanólico de *S. aromaticum*. En esta investigación, los microorganismos elegidos fueron *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus* spp., *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Listeria monocytogenes*, *Micrococcus luteus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella* spp. y *Pseudomonas aeruginosa*. Los resultados obtenidos mostraron que el extracto etanólico fue efectivo contra casi la totalidad de los microorganismos estudiados, siendo *S. aureus* el más sensible, al mostrar el menor valor de concentración mínima inhibitoria (CMI). Otras bacterias sensibles a esta prueba fueron *B. cereus*, *B. subtilis* y *Bacillus* spp. Para el caso del aceite esencial, destacan que tuvo efecto contra casi todas las bacterias, además, el menor valor de CMI, en este caso, se obtuvo contra *S. epidermidis*. En ambos casos, no hubo efecto contra *P. aeruginosa*. Por último, apuntaron que los valores de CMI del aceite esencial obtenidos fueron mucho mayores que los del extracto.

Leonard, Virijevic, Regnier y Combrinck (2010) probaron otros dos aceites esenciales además de *S. aromaticum*, incluyeron el de limoncillo (*Cymbopogon citratus*), y de hierbabuena (*Mentha spicata*), en este caso se evaluó la actividad antimicrobiana de los aceites contra *L. monocytogenes*, los tres aceites tuvieron efecto estimulante en el crecimiento de la biocapa de *Listeria*, contrario al efecto inhibidor encontrado cuando se evaluó la combinación de éstos, por lo que los

autores explicaron que este efecto probablemente se debió a la sinergia entre los componentes de cada aceite esencial.

Otros microorganismos afectados por extractos de *S. aromaticum* incluyen a *E. coli*, *B. subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Serratia marcescens*, *Citrobacter freundii*, *Klebsiella pneumoniae*, *S. aureus* y *Proteus vulgaris*, tal como se comprobó en el trabajo realizado por Sethi *et al.* (2013), en donde se utilizó el extracto metanólico de esta especie, el cual inhibió el crecimiento de las bacterias mencionadas. Esta actividad inhibitoria fue mejor en comparación con el resto de extractos metanólicos de las 7 especies incluidas en esta investigación: jengibre (*Zingiber officinale*), ajo (*Allium sativum*), comino (*Cuminum cyminum*), mostaza (*Brassica juncea*), grosella espinosa india (*Emblica officinalis*), sábila (*Aloe vera L.*) y azafrán (*Crocus sativus*).

4.2 Actividad antifúngica

La actividad antifúngica del aceite esencial de *S. aromaticum* abarca diversas especies de hongos y levaduras, por ejemplo: especies de *Candida* (principalmente *Candida albicans*), *Cryptococcus neoformans*, especies de *Aspergillus*, hongos aislados de *Onychomycosis* (infección de uñas), *Saccharomyces cerevisiae* y varios dermatofitos (Rana *et al.*, 2011; Machado *et al.*, 2011) y, de acuerdo a Rana *et al.* (2011), esta actividad se debe principalmente al eugenol que contiene este aceite.

Omidbeygi, Barzegar, Hamidi y Naghdibadi (2007) probaron la actividad antifúngica de tres aceites esenciales: de tomillo (*Thymus vulgaris*), de ajedrea (*Satureja hortensis*) y clavo, contra *Aspergillus flavus*. Los resultados *in vitro* mostraron que el aceite esencial de tomillo tuvo la mayor actividad antifúngica, seguido de ajedrea y aceite esencial de clavo de olor. La inhibición completa del crecimiento del moho se observó con 350 y 500 ppm de tomillo y ajedrea, respectivamente; mientras que el porcentaje de inhibición con el aceite de clavo fue de 87.5% con 500 ppm.

Esta actividad antifúngica del aceite esencial de clavo, no sólo se ha probado *in vitro*, también ha sido estudiada en alimentos, con el fin de probar su eficacia como conservador o antimicrobiano, por ejemplo, Omidbeygi *et al.* (2007) emplearon los aceites de tomillo, ajedrea o clavo en pasta de tomate; los resultados de inhibición después de la adición de 500 ppm de cada aceite fueron 87%, 59% y 48% para tomillo, ajedrea y clavo, respectivamente. Seetha y Naidu (2010) inocularon tomates y frutos de grosella con esporas de cepas de *Aspergillus*, *Mucor Rhizopus* por el método de punción, tanto antes como después del tratamiento con aceite esencial de clavo, eucalipto o limón. De los tres aceites esenciales probados, el

aceite de clavo mostró considerablemente más actividad frente a las cepas de mohos.

Hassani *et al.* (2011) condujeron experimentaciones con diversos aceites esenciales (además de *S. aromaticum*) aplicados por atomización para controlar el crecimiento de mohos en chabacano (*Prunus armeniaca*) inoculado con *Monilia fructicola* y *Botrytis cinerea*, durante el almacenamiento post cosecha. En este caso, se redujeron tanto la incidencia como la severidad de la infección de las frutas tratadas al adicionar los aceites esenciales en comparación con los controles, además la máxima actividad antifúngica se obtuvo a concentraciones de 600 µL/L en todos los aceites; sin embargo, la eficacia del aceite de clavo en la reducción de la incidencia en los chabacanos inoculados con *B. cinerea*, fue mayor que la de los otros aceites.

Conclusiones

El aceite esencial y los extractos de clavo poseen compuestos con una vasta y efectiva actividad antimicrobiana contra gran variedad de organismos, tanto bacterias, mohos y levaduras, la cual puede ser aprovechada dentro de los distintos campos de la industria alimentaria, como aditivos naturales alternativos a los antimicrobianos sintéticos naturales y así extender la vida útil de los alimentos procesados. De igual manera, el aceite esencial también puede ser una alternativa natural como desinfectante o como conservador en la industria hortofrutícola durante la post cosecha. Es importante destacar que en la actualidad diversos proyectos de investigación con aceites esenciales de plantas se llevan a cabo para aprovechar las diversas virtudes que éstos ofrecen con distintos fines, dentro de los cuales las propiedades antimicrobianas, como las del clavo, son de gran interés para la industria de los alimentos y así satisfacer las demandas de los consumidores al ofrecer productos más naturales y de buena calidad.

Agradecimientos

La autora A. E. Aguilar-González agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP) por el apoyo en el financiamiento de sus estudios de posgrado.

REFERENCIAS

- Ahmed, M. (2011). The effect of dietary clove oil on broiler performance. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(7): 49-51.
- Cerpa-Chávez, M. (2007). *Hidrodestilación de aceites esenciales: modelado y caracterización*. Tesis de Doctorado no publicada. Universidad de Valladolid. España.
- Costa, A.R.T., Amaral M.F.Z.J., Martins, P.M., Paula J.A.M., Fiúza, T.S., Tresvenzol, L.M.F., Paula, J.R., y Bara M.T.F. (2011). Ação do óleo essencial de *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. y L.M.Perry sobre as hifas de alguns fungos fitopatogênicos. *Revista Brasileira de Especies Medicinais*, 13(2):240-245.
- Geng, Y., Liu, J., Lv, R., Yuan, J., Lin, Y., y Wang, X. (2007). An efficient method for extraction, separation and purification of eugenol from *Eugenia caryophyllata* by supercritical fluid extraction and high-speed counter-current chromatography. *Separation and Purification Technology*, 57:237-241.
- Gupta, C., Garg, A.P., Uniyal, R.C. y Gupta, S. (2009). Comparison of antimicrobial activities of clove oil y its extract on some food borne microbes. *The Internet Journal of Microbiology*, 7(1) . Consultado el 4 de Septiembre de 2013. <http://ispub.com/IJMB/7/1/13649>
- Hassani, A., Fathi, Z., Ghosta, Y., Abdollahi, A., Meshkalsadat, M. H. y Marandi, R.J. (2011). Evaluation of plant essential oils for control of postharvest brown and gray mold rots on apricot. *Journal of Food Safety*, 32:94-101.
- Ippolito, A., y Nigro, F. (2000). Impact of preharvest application of biological control agents on postharvest diseases of fresh fruits and vegetables. *Crop Protection*, 19, 715-723.
- Japanese Pharmacopoeia. (2001). *The Japanese Pharmacopoeia*. Consultada el 4 de Septiembre de 2013. http://jpdb.nih.go.jp/jp14e/14data/Part-II/Clove_Oil.pdf.
- Jiang, C., Sun, Y., Zhu, X., Gao, Y., Wang, L., Wang, J., Wu, L. y Song, D. (2010). Solvent-free microwave extraction coupled with headspace single-drop microextraction of essential oils from flower of *Eugenia caryophyllata* Thunb. *Journal of Separation Science*, 33, 2784-2790.
- Leonard, C., Virijevic, S., Regnier, T. y Combrinck, S. (2010). Bioactivity of selected essential oils and some components on *Listeria monocytogenes* biofilms. *South African Journal of Botany*, 76, 676-680.
- Machado, M., Dinis, A.M., Salgueiro, L., Custódio J. B. A., Cavaleiro, C. y Sousa, M.C. (2011). Anti-Giardia activity of *Syzygium aromaticum* essential oil and eugenol: Effects on growth, viability, adherence and ultrastructure. *Experimental Parasitology*, 127, 732-739
- Moura, J., Sarmento, F.Q., de Oliveira, F., Pereira, J., Nogueira, V. y de Oliveira E. (2012). Actividad antifúngica del aceite esencial de *Eugenia caryophyllata* sobre cepas de *Candida tropicalis* de aislados clínicos. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Especies Medicinales y Aromática*, 11(3): 208-217.
- Nassar, M., Gaara, A. H., El-Ghorab, A. H., Farrag, A. H., Shen, H., Huq, E. y Mabry T. J. (2007). Chemical constituents of clove (*Syzygium aromaticum*, Fam .Myrtaceae) and their antioxidant activity. *Revista Latinoamericana de Química*, 35 (3): 47-57.
- Nerio, L., Olivero-Verbel, J., y Stashenko, E. (2010). Repellent activity of essential oils: A review. *Bioresource Technology*, 101, 372-378.
- Nonsee, K., Supitchaya, C. y Thawien, W. (2011). Antimicrobial activity and the properties of edible hydroxypropyl methylcellulose based films incorporated with encapsulated clove (*Eugenia caryophyllata* Thunb.) oil. *International Food Research Journal*, 18(4), 1531-1541.
- Omidbeygi, M., Barzegar, M., Hamidi, Z. y Naghdibadi, H. (2007). Antifungal activity of thyme, summer savory and clove essential oils against *Aspergillus flavus* in liquid medium and tomato paste. *Food Control*, 18, 1518-1523.
- Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R. y Anthony, S. (2009). *World Agroforestry Center* Consultada el 21 de Agosto de 2013, http://www.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Syzygium_aromaticum.pdf
- Packiyasothy, E.V. y Kyle, S. (2002). Antimicrobial properties of some herb essential oils. *Food Australia*, 54, 384- 387.
- Pandey, A., y Singh, P. (2011). Antibacterial activity of *Syzygium aromaticum* (clove) with metal ion effect against food borne pathogens. *Asian Journal of Plant Science and Research*, 1(2), 69-80.
- Park, M., Gwak, K., Choi, W., Jo H., Chang, J., Jeung, E., y Choi, I. (2007). Antifungal activities of the essential oils in *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. Et Perry and *Leptospermum petersonii* Bailey and their constituents against various dermatophytes. *The Journal of Microbiology*, 45(5), 460-465.

- Phasomkusolsil, S., y Soonwera, M. (2011). Efficacy of herb-al essential oils as insecticide against *Aedes aegypti* (Linn.), *Culex quinquefasciatus* (Say) and *Anopheles dirus* (Peyton and Harrison). *The Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, 42(5), 1083-1092.
- Radha, K., Sivarajan, M., Babuskin, S., Archana G., Azhagu, P. y Sukumar, M. (2013). Kinetic modeling of spice extraction from *S. aromaticum* and *C. cassia*. *Journal of Food Engineering*, 117, 326-332.
- Rahnama, M., Najimi, M. y Ali, S. (2012). Antibacterial effects of *Myristica fragrans*, *Zataria multiflora* Boiss, *Syzygium aromaticum*, and *Zingiber officinale* Rosci essential oils, alone and in combination with nisin on *Listeria monocytogenes*. *Comparative Clinical Pathology*, 21, 1313-1316.
- Rana, I., Rana, A. y Charan R. (2011). Evaluation of antifungal activity in essential oil of the *Syzygium aromaticum* (L) by extraction, purification and analysis of its main component eugenol. *Brazilian Journal of Microbiology*, 42, 2169-1277.
- Sánchez-González, L., Vargas, M., González-Martínez, C., Chiralt, A. y Cháfer M. (2011). Use of essential oils in bioactive edible coatings. *Food Engineering Reviews*, 3, 1-16.
- Seetha, B., y Naidu, K. (2010). Antimicrobial efficacy of essential oil *Syzygium aromaticum* against common infectants of storage cereals and fruits. *Journal of Pharmacy Research*, 3(10), 2544-2545.
- Sethi, S., Dutta, A., Gupta B. L. y Gupta, S. (2013). Antimicrobial activity of spices against isolated food borne patogens. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 5 (1), 260-262.
- Silvestri, J., Paroul, N., Czyewski, E., Lerin, L., Rotava, I., Cansian, R. L., Mossi, A., Tonazzo, G., de Oliveira, D. y Treichel, H. (2010). Perfil da composição química e atividades antibacteriana e antioxidante do óleo essencial do cravo-da-índia (*Eugenia caryophyllata* Thunb.). *Revista Ceres*, 57(5), 589-594.
- Singh, J., Baghotia, A. y Goel, S. P. (2012). *Eugenia caryophyllata* Thunberg (Family Myrtaceae): A Review. *International Journal of Research in Pharmaceutical and Biomedical Sciences*, 3(4), 1469-1475.
- Srivastava, A., Srivastava, S. K. y Syamsundar, K. V. (2005). Bud and leaf essential oil composition of *Syzygium aromaticum* from India and Madagascar. *Flavour and Fragrance Journal*, 20, 51-53.
- Torres, C., y Zarazaga, M. (2002). Antibióticos como promotores del crecimiento en animales: ¿Vamos por el buen camino? *Gaceta Sanitaria*, 16(2), 109-112.
- Trajano, V., Lima, E., Souza, E. y Travazzos, A. E. R. (2010). Inhibitory effect of the essential oil from *Eugenia caryophyllata* Thumb leaves on coalho cheese contaminating microorganisms. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30 (4), 1001-1006.
- Zhai, Y., Sun, S., Wang, Z., Zhang, Y., Liu, H., Sun, Y., Zhang, H. y Yu, A. (2011) Headspace single drop microextraction coupled with microwave extraction of essential oil from plant materials. *Journal of Separation Science*, 34, 1069-1075
- Zheng, G.Q., Kenney, P.M. y Lam, L.K. (1992). Sesquiterpenes from clove (*Eugenia caryophyllata*) as potential anti-carcinogenic agents. *Journal of Natural Products*, 55, 999-1003.

Biopolímeros y su integración con polímeros convencionales como alternativa de empaque de alimentos

R. Cruz-Morfin*, Y. Martínez-Tenorio y A. López-Malo Vigil

Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla.

Ex hacienda Sta. Catarina Mártir S/N, San Andrés, Cholula, Puebla. C.P.72810. México.

RESUMEN

La inquietud causada por los severos problemas ambientales originados por los desechos de varios polímeros sintetizados a partir de petróleo, especialmente los utilizados como envases y empaques de alimentos, ha motivado un creciente interés por su reemplazo por polímeros ambientalmente más amigables. Los biopolímeros, tanto los naturales como los sintéticos, tienen un potencial importante para ser aplicados como empaques para alimentos. A pesar de ello, actualmente no existe un biopolímero que cumpla con todos los requerimientos físicos para ser utilizado industrialmente a gran escala. Es por ello que se han desarrollado investigaciones que se centran en la integración de biopolímeros con plásticos de fuentes no renovables. Esta alternativa se presenta como una opción para reducir la cantidad de materiales sintéticos convencionalmente utilizados, y para aumentar su tasa de biodegradación. Esta revisión se enfoca en los biopolímeros con un alto potencial como empaques de alimentos, así como su integración a polímeros convencionales derivados de hidrocarburos.

Palabras clave: biopolímeros, empaques biodegradables, bioplásticos.

ABSTRACT

Huge amounts of solids waste, coming mainly from petrochemical polymers used as food packing, are causing several environmental problems. Therefore, substitute the non-renewable polymers by natural sources as packaging had been investigated to reduce the impact of these materials. The most suitable natural source for packaging is biopolymers, the natural obtained as well as the synthetic ones. Unfortunately, none biopolymer, applied individually, meet all the requirements for industrial use. Thus, the biopolymer-petrochemical polymer blends had experience and increasing attention as alternative to reduce the amount used of petrochemical polymers and increase their biodegradability rate. Consequently, the focus of this review is in high potential biopolymers used as food packaging; as well as, in the biopolymer-petrochemical polymer blending.

Keywords: biopolymers, biodegradable packaging, bioplastic



Programa de Maestría
en Ciencia de Alimentos
Tel.: +52 222 229 2126
Fax: +52 222 229 2727
Dirección electrónica:
russell.cruzmn@udlap.mx

Introducción

Un empaque es aquel material que cubre todas las funciones que corresponden a envolver, contener y proteger los productos para su transporte, venta y consumo. Los materiales que se utilizan tradicionalmente como empaques de alimentos son plásticos sintetizados a partir de hidrocarburos. Los plásticos sintéticos ofrecen buena protección contra el deterioro y tienen facilidad para integrarse entre ellos, no son susceptibles a la fragmentación y permiten obtener diferentes estructuras y diseños con costos accesibles. Los empaques usualmente están compuestos de varias capas: la primera capa o externa, proporciona el soporte estructural; la segunda capa, y una de las más importantes, proporciona la barrera y evita que sustancias extrañas, gases, olores o productos químicos entren o salgan del envase final; finalmente la capa de sellado o interna, proporciona la propiedad de termosellado al empaque. Sin embargo, la mayoría de estos materiales son de difícil degradación orgánica y su uso masivo como empaques está causando serios problemas ambientales.

La necesidad de reducir el uso de materiales sintéticos no renovables ha impulsado la investigación sobre empaques con un menor impacto ambiental. Aun así, los empaques deben de proporcionar las propiedades físicas y mecánicas necesarias para la conservación de alimentos. Para lograr este objetivo, se ha reportado que los materiales prometedores para fabricación de empaques provenientes de fuentes renovables son los biopolímeros (Avérous y Poller, 2012).

Los biopolímeros se generan por sistemas biológicos, o pueden ser sintetizados químicamente a partir de materiales de origen renovable; por lo que una característica fundamental de los biopolímeros es que su degradación se presenta en lapsos de tiempo cortos, desde semanas a pocos meses (Shimao, 2001).

Últimamente un gran número de polímeros de origen natural biodegradables han sido desarrollados para su posible utilización como empaques. Sin embargo, según Luckachan y Pillai (2011) los biopolímeros presentan problemas inherentes a su naturaleza, como son las deficiencias mecánicas y/o físicas respecto a los empaques convencionales. Además, es necesario encontrar aplicaciones que utilicen polímeros biodegradables para tener una reducción en sus costos, y permitir que sean competitivos en el mercado (Mohanty, Misra y Hinrichsen, 2000). Es por ello que, hasta que se encuentre una solución científica y tecnológica para el desarrollo de empaques biodegradables competitivos, es necesario proponer alternativas que minimicen el impacto ambiental y además

satisfagan los requerimientos de conservación de la industria alimentaria.

La integración de polímeros sintéticos no renovables con biopolímeros plantea una opción para elaborar películas con las características de barrera y mecánicas requeridas, utilizando una menor cantidad de material sintético. Además del beneficio ambiental, los empaques híbridos resultantes proveen un amplio rango de propiedades físicas y químicas para el desarrollo de empaques funcionales (Azadehsadat, Mirzadeh e Imani, 2012).

Este trabajo es una revisión enfocada en investigaciones publicadas de biopolímeros utilizados como empaques de alimentos. Asimismo, la revisión se extenderá a los trabajos orientados a la elaboración de películas para empaques a partir de mezclas de polímeros naturales, y a su integración con polímeros derivados del petróleo.

Revisión bibliográfica

Las principales razones que han detonado el interés en los materiales biodegradables son el creciente problema de residuos y la necesidad del uso responsable de los recursos ambientales. Los biopolímeros tienen limitaciones y desventajas respecto a los polímeros sintéticos, esencialmente en su rendimiento y en el alto costo que representa su producción. Lo anterior, ha limitado la aplicación de este tipo de materiales en sectores industriales de baja envergadura; por esta razón, el desarrollo de materiales biodegradables se ha convertido en un reto en el campo de la investigación.

1. Materiales biodegradables para empaques en alimentos

Los biopolímeros, que también son llamados polímeros renovables, se pueden clasificar en dos tipos: los provenientes directamente de organismos vivos y los que requieren ser sintetizados pero su procedencia es de un recurso renovable (Tang, Kumar, Alavi y Sande, 2012). El primer tipo incluye a proteínas (colágeno, queratina, gelatina, gluten de maíz o de trigo, proteínas de leche o de soya), polisacáridos (almidón, derivados de celulosa, quitosano, alginatos, carragenatos y pectinas), lípidos (ceras, ácidos grasos y monoglicéridos). En el segundo grupo se encuentra el ácido poliláctico (PLA), así como algunos poliésteres producto del metabolismo de bacterias (polihidroxialcanoatos o PHA). El PLA es un biopolímero sintetizado a partir de productos agrícolas con un alto contenido en

almidón. Para evitar confusión entre los polímeros derivados de petróleo, como el polietileno (PE) o el polipropileno (PO), y los polímeros de fuentes renovables, a estos últimos se los denominará bioplásticos sintéticos.

1.1 Biopolímeros naturales

La formulación de un empaque biodegradable implica el uso de al menos un material capaz de formar una matriz con suficiente continuidad y cohesión para poder envolver a un producto, es decir, debe formar una película. Además, es necesario que esta matriz cumpla con propiedades como permeabilidad al oxígeno y tasa de transmisión de vapor de agua (wvTR, por sus siglas en inglés), además de las mecánicas como fuerza de tensión (T_s , por sus siglas en inglés), y alargamiento antes de ruptura o elongación (ϵ). Dependiendo de su tipo y procedencia, los biopolímeros forman estructuras continuas que pueden ser cristalinas o amorfas, y éstas actúan a manera de barrera frente a distintas sustancias que se desea evitar que interactúen con el alimento durante su almacenamiento y comercialización. La característica más importante e innovadora de los biopolímeros es su capacidad de servir de empaque para la conservación de alimentos, siendo al mismo tiempo amigables con el medio ambiente. Para lograr los requerimientos de la industria alimentaria muchas veces se añaden agentes plastificantes, que incrementan la flexibilidad y la durabilidad a través de la disminución de la temperatura de transición vítrea (T_g) del biopolímero. Entre los polímeros de origen agrícola los polisacáridos, proteínas y poliésteres presentan propiedades adecuadas para la formación de películas (Guilbert y Gontard, 2005).

1.1.1 Películas a base de polisacáridos

Las películas a base de almidón exhiben propiedades físicas similares a las películas de polímeros sintéticos; son transparentes, no tienen olor ni sabor, son semipermeables al óxido de carbono y resistentes a la transmisión de oxígeno. Además, son biodegradables, con una buena disponibilidad y bajo costo (Stagner, Dias Alves y Narayan, 2012). A pesar de ello, por sí solas no presentan las propiedades físicas que la industria de empaques requiere.

El almidón puede ser plastificado, es decir, ser sometido a un proceso para desestructurar los gránulos que lo forman naturalmente. El almidón termoplástico (ATP) fluye a altas temperaturas y presiones y puede ser extruido para formar películas. Mościcki *et al.* (2012) describen el proceso y comprueban que la cantidad de plastificante (glicerol) es determinante en los resultados de elongación y tensión de películas extruidas

de ATP proveniente de papa. Sin embargo, las películas de ATP presentan valores bajos de las propiedades de barrera a humedades altas y se vuelven frágiles al deshidratarse. Las propiedades del ATP pueden mejorar significativamente al mezclarse con otros biopolímeros como celulosa, zeína y ácido poliláctico (Gotro, 2013).

El biopolímero más abundante en la naturaleza es la celulosa, que es un polímero lineal de glucosa anhidra. La celulosa tiene una capacidad limitada de formar películas por ser un polímero altamente cristalino, fibroso e insoluble en agua. Sin embargo, se pueden producir películas a partir de celulosa, las cuales se conocen con el nombre de celofán. Las películas de celofán tienen buenas propiedades mecánicas, pero son sensibles a la humedad. A menudo el celofán se recubre con cera de nitrocelulosa o de cloruro de polivinilideno para mejorar sus propiedades de barrera a la humedad. El celofán recubierto se utiliza para productos de panadería, productos frescos, carnes frías, quesos y dulces (Tang *et al.*, 2012).

La quitina es el segundo polisacárido natural más abundante. Las principales fuentes de este biopolímero son las microfibrillas en el exoesqueleto de muchos crustáceos. La quitina mediante un proceso de desacetilación química o enzimática se convierte en quitosano. En los últimos años el quitosano se ha convertido en el aditivo de alimentos de origen biológico preferido, debido a sus propiedades antimicrobianas y a su capacidad para formar películas. Las películas elaboradas con quitosano tienen propiedades ópticas, mecánicas y de barrera al oxígeno superiores a las películas de otros polisacáridos, mas no en términos de barrera al vapor de agua. Aun así, se han aplicado películas de quitosano en muchos productos, principalmente frutas y hortalizas tales como fresas, pimientos, pepinos, manzanas, peras, duraznos y ciruelas (Avérous y Poller, 2012).

Los alginatos son polisacáridos obtenidos de algas, principalmente de *Macrocystis pyrifera*. Presentan la propiedad de formar películas y recubrimientos para alimentos cuando se le adicionan iones de calcio. Sus aplicaciones son variadas, ya que poseen buenas propiedades de barrera frente a lípidos y al oxígeno, una de las más destacadas es en productos cárnicos frescos o congelados para evitar su deshidratación superficial (Tang *et al.*, 2012).

La pectina se encuentra clasificada como parte de la familia de los polisacáridos ramificados presentes en la naturaleza. Se ha demostrado que la pectina se puede modificar, a través de una desmetilación, para formar películas en la presencia de iones de calcio (Tang *et al.*, 2012).

Mikkonen y Tenkanen (2012) explican que los xilanos y los mananos son polisacáridos complejos encontrados en las paredes celulares de plantas. El xilano es considerado una hemicelulosa y puede ser recuperado de los desechos de la industria forestal o agrícola. La capacidad de formar películas de estos dos polisacáridos, así como su biodegradabilidad hacen de ellos una alternativa interesante para sustituir a los empaques convencionales de alimentos basados en hidrocarburos. Las películas de xilanos y mananos muestran una baja permeabilidad al oxígeno, a los lípidos, a los compuestos responsables de los aromas, y en algunos casos presentan una alta fuerza de tensión, aunque su flexibilidad es considerablemente menor que la de los empaques convencionales. Para mejorar las características mecánicas y de barrera de las películas de xilanos y mananos Mikkonen y Tenkanen (2012) mencionan que se pueden utilizar materiales, como celulosa, con un tamaño de partícula en el orden de nanómetros.

1.1.2 Películas a base de proteínas

La investigación sobre películas basadas en proteínas se ha visto impulsada debido a sus propiedades para formar películas de bajo costo y ser biodegradables. Las películas de proteína se han desarrollado a partir de proteínas de origen vegetal como gluten de trigo o proteína de soya y de origen animal como gelatina, caseína, queratina y proteína de suero de leche; también se han investigado algunas de origen bacteriano como quimotripsina y fumarasa (Avérous y Poller, 2012).

Las películas de caseinato presentan resistencia a la desnaturización térmica y a la coagulación, lo que significa que la película de proteína se mantiene estable en un amplio intervalo de valores de pH, temperaturas y concentraciones de sal. Estas películas presentan una baja permeabilidad al oxígeno comparadas con las elaboradas a partir de polisacáridos. Esto se debe a la estructura compacta que es conferida a través de la alta energía cohesiva dada por la naturaleza polar de las moléculas, así como a su estructura lineal. Sin embargo, debido a su carácter hidrófilo proporcionan una resistencia limitada a la transmisión de la humedad (Juvonen *et al.*, 2011).

Por otro lado, Sommer y Kunz (2012) aseguran que aunque las películas de colágeno han sido utilizadas exitosamente como empaque en la industria cárnica, su potencial como remplazo de empaques a partir de polímeros sintéticos en otras industrias es limitado, debido a su baja resistencia al vapor de agua. Es por ello que su estudio se centra en la influencia de diferentes métodos de reticulación del colágeno para mejorar la resistencia de éste a la humedad. Como hallazgos, estos auto-

res encontraron que la reticulación química con glutaraldehído, gioxal o formaldehído a una concentración de 10% (p/p en base seca), muestra mejores resultados sobre la barrera al agua que la reticulación térmica.

Las películas formadas con el gluten de trigo son una alternativa muy interesante para los plásticos sintéticos en cuanto al envasado de alimentos, debido a sus propiedades de alta barrera a los gases y la naturaleza relativamente hidrófoba en comparación con otros polímeros naturales (Pallos, Robertson, Pavlath y Orts, 2006; Olabarrieta, Gallstedt, Ispizua, Sarasua y Hedenqvist, 2006).

Las películas de gelatina podrían formarse a partir de 20-30% de gelatina, 10-30% de plastificante (glicerol o sorbitol) y 40-70% de agua; sin embargo, sus pobres propiedades mecánicas limitan su aplicación como material de empaque. Se han investigado diversas técnicas tales como la reticulación, orientación y el uso de cargas para reforzar estas propiedades, pero la fuerza requerida aún no es lo suficientemente alta en estado húmedo; es por ello que las principales aplicaciones de estas películas se han limitado a recubrimientos comestibles (Bourtoom, 2008).

1.2 Bioplásticos sintéticos

1.2.1 Ácido poliláctico (PLA)

El ácido poliláctico es actualmente considerado como líder en cuanto a biopolímeros utilizados en el envasado de alimentos. El interés en este bioplástico respecto a su posible aplicación se fundamenta en que además de ser termoplástico, biodegradable y compostable, es producido a partir de recursos renovables. Además, el PLA muestra un comportamiento en propiedades mecánicas, térmicas y de barrera comparable al de los polímeros sintéticos más utilizados como el poliestireno (PS) y el polietileno tereftalato (PET) (Siracusa *et al.*, 2012).

El PLA puede ser utilizado en una variedad de aplicaciones y se puede formular para ser rígido o flexible. Se considera que sus propiedades de barrera son similares a las del PET y sus principales limitaciones son su poca resistencia a altas temperaturas, falta de fuerza y translucidez en comparación con algunos otros plásticos. Sin embargo, la principal desventaja sigue siendo el costo de producción, que se considera aproximadamente 20% mayor que el de los plásticos convencionales (New directions for bioplastic packaging, 2011).

El PLA soporta los procesos térmicos de extrusión y formado mejor que los polímeros convencionales como PET y PS; esta propiedad está altamente relacionada con el cociente en-

tre sus mesoformas D y L, en especial la mesoforma L-PLA que presenta mayor cristalinidad y que puede conducir a temperaturas de fusión más altas. El PLA ha mostrado valores de permeabilidad al dióxido de carbono y al oxígeno más bajos que los presentados por los polímeros sintéticos, y muestra propiedades comparables con las del PS, reconocido por ser de los polímeros sintéticos con una baja permeabilidad; a pesar de ello, cuando se combina con otros biopolímeros o polímeros sintéticos puede aumentar su permeabilidad a los gases (Jacobsen y Fritz, 1999; Tang *et al.*, 2012). El PLA se utiliza actualmente en empaques como películas, contenedores termoforados y moldeado por soplado para empaques de alimentos y medicamentos (Gross y Kalra, 2002).

1.2.2 Polihidroxialcanoatos

Los polihidroxialcanoatos (PHA) son polímeros producidos de forma natural en algunas células microbianas. Uno de los más conocidos es el poli-3-hidroxibutirato, producido por una variedad de especies bacterianas, tal como *Bacillus megaterium*, pero hay muchos otros polímeros en el grupo, incluyendo al poli 3-hidroxivalerato (Du, Chen, Yu y Lun, 2001).

Los biopolímeros formados con PHA son los bioplásticos más versátiles, completamente biodegradables y con propiedades similares a las de plásticos convencionales de origen no renovable (Du *et al.*, 2001).

Estos biopolímeros pueden ser extruidos en forma de películas, moldeados o revestidos sobre otros sustratos, usando equipo de procesamiento convencional para el procesamiento de polímeros. Además, el PHA se puede preparar ya sea en una forma fluida o como polvos secos. Los productos típicos de PHA pueden tener aplicaciones en artículos de uso diario, tales como materiales de empaque, bolsas, pañales desechables, artículos de servicio, así como materiales de alto rendimiento. El principal inconveniente físico de los PHA como materiales de envasado es que sus propiedades mecánicas no cumplen con los requerimientos de algunos productos de la industria alimentaria (Flieger, Kantorová, Prell, Řezanka, y Votruba, 2003; New directions for bioplastic packaging, 2011; Tang *et al.*, 2012).

Otra desventaja de este tipo de biopolímeros es su elevado costo de producción. Para reducir estos costos se han desarrollado diversos procesos a partir de fuentes de carbono baratas, como la modificación genética de las bacterias para hacer que el proceso de producción sea más eficiente, así como la modificación de las plantas para producir PHA y otros materiales directamente en la propia planta. Esto podría significar que los

PHA podrían ser extraídos y refinados a partir de los cultivos, prescindiendo de la etapa de fermentación microbiana. Con ello, estos materiales podrían ser considerados como bioplásticos más competitivos que los plásticos convencionales (New directions for bioplastic packaging, 2011; Tang *et al.*, 2012).

1.3 Propiedades físicas y mecánicas de los biopolímeros

Las propiedades de las películas hechas a base de biopolímeros dependen especialmente de sus características estructurales de cohesión. La cohesión depende de la estructura del polímero, su longitud molecular, la geometría y distribución de peso molecular, así como del tipo y posición de sus grupos laterales. Las propiedades de la película también están vinculadas a las condiciones de su formación. Las propiedades de los materiales amorfos o semi-cristalinos son modificadas en función de la temperatura de transición vítrea (T_g). Generalmente, sus propiedades están limitadas por el hecho de que la T_g de un polímero se ve afectada por la humedad relativa. Por debajo de la T_g el material es rígido, y por encima de la T_g se convierte en visco-elástico o incluso líquido (Guilbert y Gontard, 2005).

En cuanto a las propiedades mecánicas éstas dependen del tipo de polímero y aditivos que sean usados para su elaboración. Para los poliésteres, la fuerza de tensión es muy similar a la del PE, pero la propiedad de elongación es mucho más baja, sin la adición de ningún aditivo o plastificante. Por otra parte, las películas a base de hidrocoloides que generalmente requieren de un agente plastificante muestran una menor TS, pero la E depende principalmente del contenido de plastificante (Guilbert y Gontard, 2005).

Los materiales sintéticos tienen una TS similar a la de los poliésteres biodegradables (PHA y PLA), mientras que los biopolímeros provenientes de recursos agrícolas (agro-polímeros) son altamente deformables o muy resistentes con un alto porcentaje de elongación, pero ninguno de los dos grupos presenta ambas propiedades simultáneamente.

Los agro-polímeros se caracterizan por tener barreras inefficientes al vapor de agua, por lo que su uso como barreras de protección para limitar la migración de humedad se limita a un espectro bajo de aplicaciones. Los polisacáridos pueden ser de considerable interés para aplicaciones donde se requieren productos de muy alta permeabilidad al vapor de agua, como en el caso de envasado en atmósfera modificada de alimentos frescos y mínimamente procesados o fermentados. Los poliésteres biodegradables muestran mejor barrera al paso de vapor de agua en comparación con las películas a base de almidón o de materiales basados en proteínas, pero sus propiedades

presentan valores bajos en comparación con los de las propiedades de los polímeros sintéticos (Guilbert y Gontard, 2005).

Los agro-polímeros tienen excelentes propiedades de barrera a los gases en condiciones secas, especialmente contra el oxígeno, pero el aumento de la actividad de agua promueve tanto la difusividad de los gases como su solubilidad, y esto conduce a un fuerte aumento en la permeabilidad a los gases. Aunado a esto, el coeficiente de selectividad de estos materiales, entre el dióxido de carbono y el oxígeno es muy sensible a la humedad y la temperatura, mientras que el para polímeros sintéticos permanece relativamente constante (Guilbert y Gontard, 2005).

2. Integración de biopolímeros y polímeros sintéticos

La importancia de las mezclas entre biopolímeros radica en que ninguno por sí mismo genera películas con las propiedades que se requieren para la conservación de alimentos. Es por ello que, dependiendo de la necesidad específica, se pueden seleccionar las películas con las características deseadas, para luego mezclarlas y obtener mejores resultados; generando empaques con propiedades a la medida.

Asimismo, el rendimiento y algunas propiedades requeridas para los empaques de alimentos no se logran alcanzar únicamente con biopolímeros. Es por ello que el reemplazo total de materiales sintéticos aún no es factible. Además, el alto costo de los biopolímeros continúa limitando su viabilidad en la industria. La incorporación de biopolímeros naturales en polímeros sintéticos biodegradables proporciona una manera de reducir el costo global del material y ofrece un método para modificar sus propiedades y reducir su tiempo de biodegradación (Tang *et al.*, 2012).

En muchos casos, la mejor combinación de atributos en empaques al menor costo se alcanza usando combinaciones de materiales. Es por ello que se han explorado diferentes técnicas para lograr la integración de biopolímeros y de éstos con películas sintetizadas de hidrocarburos. Los procesos más utilizados son: integración de matrices y posterior vertido, recubrimiento, laminación o coextrusión.

2.1 Integración de matrices

La integración de matrices se refiere a la formación de una película conformada por dos o más materiales mezclados de forma homogénea a lo largo de toda la estructura del material resultante. En esta forma de integración un material puede estar contenido dentro de la matriz de otro o si son compatibles la mezcla de materiales formará una matriz nueva. Una técnica

sencilla para lograr la integración de matrices de biopolímeros es la homogenización de soluciones con biopolímeros dispersos. Posteriormente, las soluciones se vierten en moldes, donde se elimina el solvente, y se obtiene una película.

El almidón es utilizado para hacer diferentes clases de mezclas, debido a su bajo costo y a que la WVTR de sus películas es alta, por lo que se requiere combinar con diferentes biopolímeros para mejorar su desempeño. Salleh, Muhamad y Khairuddin (2009) investigaron las propiedades físicas y estructurales de películas constituidas de mezclas de almidón y quitosano; llegaron a la conclusión que ambos biopolímeros pueden formar películas exitosamente a través de la técnica de vertido. Estos polímeros exhiben propiedades diferentes cuando están mezclados que cuando se utilizan de manera individual. La apariencia física, la transmitancia, la barrera a gases y al vapor de agua son las propiedades que mejoran cuando estos polímeros se encuentran mezclados en proporciones iguales (50% p/p base seca).

El PLA a menudo es mezclado con almidón para aumentar la biodegradabilidad y reducir los costos. Algunos autores como Kim, Chin, Yoon, Kim, y Jung (1998), Park *et al.* (1999) y Ke y Sun (2000) han preparado mezclas de PLA y almidón de maíz en diferentes proporciones y con almidón de diferente contenido de amilosa. Ellos encontraron que la resistencia a la tracción y el alargamiento antes de la ruptura de las mezclas decrecieron conforme el contenido de almidón aumentaba. Aunque, reportaron que por arriba de 60% de almidón la película aumentaba rápidamente su capacidad de absorber agua. Éstas son aportaciones importantes debido a que el PLA al combinarse con almidón puede desarrollar un empaque con menor costo y mantenerse biodegradable (Tang *et al.*, 2012).

Las películas de quitosano exhiben pobres propiedades mecánicas, es por ello que se ha estudiado la mezcla de este polisacárido con diferentes biopolímeros para mejorar su desempeño. Xu, Kim, Hanna y Nag (2005) comprobaron que la formación de películas a partir de materiales compuestos biodegradables, quitosano con otros biopolímeros hidrófilos, es una alternativa interesante y que podría mejorar las propiedades de las películas. Estos autores prepararon películas de quitosano con una mezcla de dos almidones de maíz térmicamente gelatinizados. Los resultados muestran que tanto la TS como la E de las películas presentan un óptimo a una proporción de 0.5:1 de almidón:quitosano.

La mezcla por el método de homogenización no es común entre biopolímeros y polímeros sintéticos, debido a que éstos últimos no son usualmente solubles en agua, mientras que las propiedades de los biopolímeros se ven comprometidas se-

riamente con la utilización de solventes diferentes al agua. A pesar de ello, Luo, Lia y Lin (2012) se enfocaron en mezclas de polivinil alcohol (PVA), que es un polímero sintético soluble en agua, con almidón gelatinizado y sin gelatinizar. El objetivo de la investigación fue lograr la completa homogenización de los dos componentes en una solución con agua para un posterior vertido y obtención de una película por secado. Los autores identificaron las cantidades de aditivos (glicerol y urea) necesarios para lograr películas con matrices continuas y homogéneas. Es necesario resaltar que en este estudio no se determinaron las propiedades de barrera y mecánicas, por lo que son necesarias investigaciones posteriores con estas mezclas. Kuchaiyaphum, Punyodom, Watanesk y Watanesk (2013) formaron películas a través de la técnica de vertido con PVA mezclado con almidón de arroz y fibroína de seda. Se determinó que tanto la secuencia de mezclado como las proporciones de los componentes tienen un efecto sobre la transparencia, las propiedades mecánicas, la solubilidad, la WVTR y permeabilidad al oxígeno de las películas. Las condiciones óptimas de preparación para obtener la menor permeabilidad al oxígeno, fueron PVA y almidón en una proporción de 60:40 (p:p) con la adición posterior de 2% (p/v) de fibroína de seda. También, se comprobó que las películas preparadas con esta proporción tuvieron un porcentaje de degradación de 50% en un tiempo de tres meses.

2.2 Recubrimiento

El recubrimiento es el método utilizado para añadir una capa extremadamente delgada de un material, en la superficie de otro material. El recubrimiento se puede llevar a cabo mediante la adición de una solución sobre la superficie de algún material y posterior secado, o por espreado. La principal razón para utilizar esta técnica es mejorar la protección contra la humedad y las propiedades de barrera a los gases. Una ventaja de esta técnica es que utiliza poco material para el recubrimiento (Lagarón, 2011).

Duan, Wang, Wang y Xiong (2012) trabajaron con películas de quitosano recubiertas con celulosa. La interacción entre estos dos componentes es buena, ya que los análisis realizados a estas películas indican que existe una fuerte interacción entre el recubrimiento de celulosa y el quitosano y, por lo tanto, la mezcla muestra una mejor resistencia mecánica y una mayor resistencia a los ácidos.

Otros autores como Alouia, Khwaldiaa, Ben Slamab y Hamdib (2011) realizaron recubrimientos sobre papel de diferentes biopolímeros, como caseinato de sodio, alginato de sodio y quitosano. Estos autores determinaron que mientras mayor

sea la cantidad de biopolímero utilizado en el recubrimiento, menor será la WVTR y mayor será la TS; la concentración de plastificante (glicerol) tiene un efecto positivo en el porcentaje de elongación, mas tiene uno negativo en la TS en papel recubierto con caseinato y alginato. Así mismo, observaron que el mejor desempeño lo tenían las películas de papel recubiertas con caseinato de sodio, con un rango óptimo en concentración de glicerol de 18.72 a 26.11%.

Carneiro-da-Cunha *et al.* (2010) realizaron nanorecubrimientos múltiples de dos polisacáridos con cargas opuestas (alginato de sodio y quitosano), depositados sobre la superficie de PET sometido a un tratamiento superficial. Los valores de WVTR que se obtuvieron de estas películas fueron inferiores a los mostrados por películas formadas sólo de alginato, quitosano o PET; los autores atribuyen este resultado al incremento de la tortuosidad de las matrices, lo que ocasiona una menor transferencia de humedad.

2.3 Laminación

La laminación es el proceso de adherir dos matrices sólidas de películas diferentes. Es comúnmente utilizada para combinar películas sintéticas con películas de otros materiales. Existe una variedad amplia de métodos que laminan diferentes materiales. Cuando una película es laminada usualmente se debe de utilizar un sustrato o un adhesivo para garantizar la permanencia de la unión entre las películas (Lagarón, 2011).

Rhim, Mohanty, Singh y Ng (2006) elaboraron una película de múltiples capas, compuesta por un aislado proteico de soya en la capa interior y las capas exteriores de PLA. Observaron que las propiedades mecánicas de la película de aislado mejoraron a través de la laminación con capas de PLA; además, su comportamiento en barrera a la transmisión de agua y a los gases fue comparables al de los polietilenos de baja y alta densidad. La WVTR del biopolímero multicapa resultante disminuyó 40 veces en comparación con la de la película de aislado proteico y la permeabilidad al oxígeno disminuyó más de 26 veces en comparación con la película de PLA.

En otro estudio, Ghanbarzadeh y Oromiehi (2009) laminaron películas de proteína de suero de leche con películas de zeína. Los plastificantes que se utilizaron fueron glicerol para las películas de suero de leche y aceite de oliva para las de zeína. Como resultado, las películas laminadas presentaron valores de TS y propiedades de barrera 200 y 1800%, respectivamente, superiores, comparadas con películas de proteína de suero de leche puras. Por su parte, Cho, Lee y Rhee (2010) evaluaron las propiedades físicas, mecánicas y de barrera de películas de zeína de maíz y proteína aislada de soya, elabo-

rando películas de dos capas; evaluaron además la estabilidad oxidativa del aceite de oliva al empacarse en bolsas elaboradas con la película, durante el almacenamiento (humedad relativa 50% a 25°C). Estos autores llegaron a la conclusión de que bajo condiciones de humedad baja e intermedia, un empaque de proteína aislada de soya puede extender la vida en anaquel del aceite de oliva a través de la prevención de la rancidez oxidativa. Asimismo, encontraron que la capacidad de sellado térmico se mejora mediante la laminación de la película con una capa adicional a partir de zeína de maíz.

Por otro lado, Bélard, Dole y Avérous (2009) exponen que la intercalación entre compuestos hidrófilos, tales como polisacáridos con proteínas, en estructuras de múltiples capas, proporciona una barrera que impide al almidón absorber agua y conservar sus propiedades mecánicas. Por otra parte, la mezcla de polímeros naturales hidrofílicos y poliésteres alifáticos es de gran interés, ya que podría dar lugar al desarrollo de una nueva gama de matrices poliméricas biodegradables. Sin embargo, los poliésteres alifáticos y los polímeros naturales hidrofílicos son termodinámicamente inmiscibles, lo que lleva a una mala adherencia entre los dos componentes, por lo que varios compatibilizadores y aditivos deberán ser desarrollados para mejorar la adherencia interfacial entre ellos (Fabra, Busollo, López-Rubio y Lagarón, 2013).

2.4 Coextrusión

Coextrusión es el proceso por el cual se elabora una película multicapa simultánea, sin el requerimiento inicial de producción de ambas por separado. Los materiales son alimentados simultáneamente en un solo proceso, dando como resultado una película con dos capas. La ventaja de este proceso sobre el laminado, es que se pueden incorporar capas muy delgadas de un material de alto costo (Lagarón, 2011).

Los procesos de coextrusión son los más utilizados para la aplicación de empaques de alimentos, ya que combinan las propiedades de dos o más materiales en una estructura de múltiples capas, y tienen un grado de sofisticación tecnológica que los hace flexibles para procesar varios tipos de materiales (Wang, Shogren y Carriere, 2000).

Tradicionalmente, los empaques para alimentos multicapas son coextruidos y se componen de una capa exterior que consiste en polímeros de barrera al vapor de agua de bajo costo y con buenas propiedades mecánicas, tales como poliolefinas, polietileno o poliestireno. La capa que proporciona la barrera al oxígeno consiste en materiales más caros, tales como tereftalato de polietileno, copolímeros de etilen-vinil alcohol, alcohol de polivinilo, poliamidas o cloruro de polivinilideno.

Estos plásticos no son renovables y están asociados a problemas de residuos sólidos. Es por ello que existe hoy en día una demanda creciente de nuevos polímeros completamente biodegradables y renovables, principalmente para aplicaciones en empaques de alimentos (Fabra *et al.*, 2013).

Fabra *et al.* (2013) mencionan que un elemento clave para la formación de películas extruidas multicapa es la adherencia entre ellas. La policrolactona muestra valores de adherencia media a PLA y PHA que son poliésteres naturales con matrices incompatibles con las de diferentes polímeros sintéticos. Se observó la misma tendencia en la magnitud de la fuerza de adherencia entre capas múltiples coextruidas y prensadas en caliente. Se llegó a la conclusión de que era posible aumentar las propiedades de adhesión en un 50% de una películas hecha mediante la introducción de mezclas de poliéster en la capa externa o de mezclas de almidón de trigo con poliésteres plastificados en la capa interna (Fang *et al.*, 2005).

Martin, Schwach, Avérous y Couturier (2001) obtuvieron películas multicapa a base de almidón de trigo y varios poliésteres alifáticos biodegradables como PLA, poliésteramida (PEA), y polibuteno sicianato adipato (PBSA). Las películas se hicieron a través de un moldeo por coextrusión. Se encontraron diferentes niveles de fuerza de coextrusión, dependiendo de la compatibilidad del almidón con los respectivos poliésteres. La poliésteramida presentó la mejor adherencia a la capa de almidón de trigo plastificado, probablemente debido a sus grupos amidas polares.

Existen algunos trabajos en dónde se han hecho pruebas de combinación entre biopolímeros y polímeros sintéticos; entre ellos es posible mencionar a Wang *et al.* (2000) que reportaron el efecto de la extrusión y la formulación en la estructura y las propiedades de almidón/PET laminados, adicionados con glicerol y sorbitol para aumentar la flexibilidad. Las laminaciones obtenidas fueron uniformes y se encontró una relación directa entre la fuerza de desprendimiento de las diferentes capas y la textura áspera en la película; además, se obtuvieron buenos resultados en cuanto a la WVTR, aunque únicamente por períodos cortos de tiempo (horas).

Holton, Asp y Zottola (1994) evaluaron una película coextruida de polietileno y almidón de maíz para el envasado de brócoli, pan y carne molida de res. El tipo de envase aparentemente no tuvo efecto en los parámetros de calidad evaluados, es decir, el envejecimiento del pan, el color del brócoli, o la oxidación lipídica de la carne molida de res. Sin embargo, se observó una pérdida significativa de la elongación de la lámina que podría ser debida a las interacciones entre la lámina de almidón y los radicales libres desarrollados durante la oxida-

ción de los lípidos en la carne molida de res durante el almacenamiento.

Rogovina, Aleksanyan, Prut y Gorenberg (2013) lograron producir un polvo hecho a base de celulosa y polietileno de baja densidad; la integración se llevó a cabo con diferentes proporciones y fue realizada en un rotor de esfuerzo deformante a altas temperaturas. Los polvos que se obtuvieron eran homogéneos y su grado de biodegradación, así como sus propiedades mecánicas, están en función de la concentración del biopolímero. Para aumentar el grado de biodegradabilidad del polvo formado, se añadió un tercer componente: quitosano. La adición de quitosano tuvo un impacto insignificante en los parámetros mecánicos, aunque sí afectó la estabilidad térmica del material. Aun así, este método de integración en fase sólida de polímeros permite producir un material con potencial para extruir películas naturales/sintéticas en un proceso.

Conclusiones y comentarios finales

Los biopolímeros tienen un alto potencial para reemplazar como materiales de empaque de alimentos a los polímeros derivados de hidrocarburos. No obstante, su uso a escala industrial no es viable debido limitaciones en sus propiedades mecánicas, de barrera y su alto precio de comercialización. Para contrarrestar lo anterior, varias investigaciones han demostrado la factibilidad de la integración entre polímeros sintéticos y naturales.

Las perspectivas de las películas híbridas son importantes, y la investigación acerca de estos sistemas irá en aumento, ya que aún existen muchos problemas inherentes a la mezcla de estos polímeros. Aun así, las películas híbridas, además de plantear soluciones a los problemas ambientales y de costos, también abren la posibilidad de diseñar empaques para satisfacer necesidades específicas de los alimentos.

Agradecimientos

R. Cruz-Morfin agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Universidad de las Américas Puebla, por el financiamiento de sus estudios de posgrado.

REFERENCIAS

- Alouia, H., Khwaldiaa, K., Ben Slamab, M. y Hamdib, M. (2011). Effect of glycerol and coating weight on functional properties of biopolymer-coated paper. *Carbohydrate Polymers*, 86, 1063-1072.
- Avérous, L. y Poller, E. (2012). Biodegradable polymers. In *Environmental Silicate Nano-Biocomposites* (pág. 13-39). Nueva York: Springer.
- Azadehsadat, H. D., Mirzadeh, H. e Imani, M. (2012). Miscibility study of chitosan/polyethylene glycol fumarate blends in dilute solutions. *Journal of Applied Polymer Science*, 127(5), 3514-3521.
- Bélard, L., Dole, P. y Avérous, L. (2009). Study of pseudo-multilayer structures based on starch-polycaprolactone extruded blends. *Polymer Engineering and Science*, 49(6), 1177-1186.
- Bourtoom, T. (2008). Edible films and coatings: characteristics and properties. *International Food Research Journal*, 15(3), 1-12.
- Carneiro-da-Cunha, M. G., Cerqueira, M. A., Souza, B. W., Carvalho, S., Quintas, T. M., y Vicente, A. (2010). Physical and thermal properties of a chitosan/alginate nanolayered PET film. *Carbohydrate Polymers*, 82, 153-159.
- Cho, S. Y., Lee, S. Y. y Rhee, C. (2010). Edible oxygen barrier bilayer film pouches from corn zein and soy protein isolate for olive oil packaging. *LWT e Food Science and Technology*, 43(8), 1234-1239.
- Du, G., Chen, J., Yu, J. y Lun, S. (2001). Continuous production of poly- β -hydroxybutyrate by *Ralstonia eutropha* in a two-stage culture system. *Journal of Biotechnology*, 88, 59-65.
- Duan, J., Wang, Y., Wang, Y. y Xiong, X. (2012). Preparation and characterization of cellulose-coated chitosan beads with improved strength and acid resistivity. *Journal of Applied Polymer Science*, 126(S1), E173-E179.
- Fabra, M., Busolo, M., López-Rubio, A. y Lagarón, J. (2013). Nanostructured biolayers in food packaging. *Trends in Food Science and Technology*, 31, 79-87.
- Fang, J. M., Fowler, P. A., Escrig, C., Gonzalez, R., Costa, J. A. y Chamudis, L. (2005). Development of biodegradable laminate films derived from naturally occurring carbohydrate polymers. *Carbohydrate Polymers*, 60, 39-42.
- Flieger, M., Kantorová, M., Prell, A., Řezanka, T. y Votruba, J. (2003). Biodegradable plastics from renewable sources. *Folia Microbiologica*, 48(1), 27-44.

- Ghanbarzadeh, B. y Oromiehi, A. R. (2009). Thermal and mechanical behavior of laminated protein films. *Journal of Food Engineering*, 90(4), 517- 524.
- Gotro, J. (4 de marzo de 2013). *Polymer Innovation*. Recuperado el 6 de septiembre de 2013, de Thermoplastic Starch: A Renewable, Biodegradable Bioplastic: <http://polymer-innovationblog.com/thermoplastic-starch-a-renewable-biodegradable-bioplastic/>
- Gross, R. y Kalra, B. (2002). Biodegradable polymers for the environment. *Green Chemistry*, 297, 803-807.
- Guilbert, S. y Gontard, N. (2005). Agro-polymers for edible and biodegradable films: review of agricultural polymeric materials, physical and mechanical characteristics. En *Innovations in Food Packaging* (págs. 263-276). Oxford: Elsevier Academic.
- Holton, E., Asp, E. y Zottola, E. (1994). Corn-starch-containing polyethylene film used as food packaging. *Cereal Foods World*, 39, 237-241.
- Jacobsen, S. y Fritz, H. G. (1999). Plasticizing polylactide: The effect of different plasticizers on the mechanical properties. *Polymer Engineering and Science*, 39(7), 1303-1310.
- Juvonen, H., Smolander, M., Boer, H., Pere, J., Buchert, J. y Peltonen, J. (2011). Film formation and surface properties of enzymatically crosslinked casein films. *Journal of Applied Polymer Science*, 119, 2205-2213.
- Ke, T. y Sun, X. (2000). Physical properties of poly(lactic acid) and starch composites with various blending ratios. *Cereal Chemistry*, 77(6), 761-768.
- Kim, S., Chin, I., Yoon, J., Kim, S. y Jung, J. (1998). Mechanical properties of biodegradable blends of poly (L-lactic acid) and starch . *Korea Polymery Journal*, 6, 422-427.
- Kuchaiyaphum, P., Punyodom, W., Watanesk, S. y Watanesk, R. (2013). Composition optimization of polyvinyl alcohol/rice starch/silk fibroin-blended films for improving its eco-friendly packaging properties. *Journal of Applied Polimer Science*, 129(5), 2614-2620.
- Lagarón, J.-M. (2011). *Multifunctional and nanoreinforced polymers for food packaging*. Cambridge, Reino Unido: Woodhead Publishing.
- Luckachan, G. y Pillai, C. (2011). Biodegradable polymers. A review on recent trends and emerging perspectives. *Journal of Polymers and the Environment*, 19, 637-676.
- Luo, X., Lia, J. y Lin, X. (2012). Effect of gelatinization and additives on morphology and thermal behavior of corn starch/PVA blend films. *Carbohydrate Polymers*, 90, 1595-1600.
- Martin, O., Schwach, E., Avérous, L. y Couturier, Y. (2001). Polymer blends and composites from renewable resources. *Starch*, 53, 372- 380.
- Mikkonen, K. S. y Tenkanen, M. (2012). Sustainable food- packaging materials based on future biorefinery products: Xylans and mannans. *Trends in Food Science & Technology*, 28, 90-102.
- Mohanty, A., Misra, M. y Hinrichsen, G. (2000). Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: An overview. *Macromolecular Materials and Engineering*, 276(1), 1-24.
- Mościcki, L., Mitrus, M., Wójtowicz, A., Oniszczuk, T., Rejak, A. y Janssen, L. (2012). Application of extrusion-cooking for processing of thermoplastic starch (TPS). *Food Research International*, 47, 291-299.
- New directions for bioplastic packaging. (Sep/Oct de 2011). *Food Engineering and Ingredients*, 36, págs. 38-41.
- Olabarrieta, I., Gallstedt, M., Ispizua, I., Sarasua, J. y Hedenqvist, M. (2006). Properties of aged montmorillonite-wheat gluten composite films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 1283-1288.
- Pallos, F., Robertson, G., Pavlath, A. y Orts, W. (2006). Thermo-formed wheat gluten biopolymers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 349-352.
- Park, J., Lee, D., Yoo, E., Im, S., Kim, S. y Kim, Y. (1999). Biodegradable polymer blends of poly(lactic acid) and starch. *Korea Polymery Journal*, 7, 93-101.
- Rhim, J. W., Mohanty, K. A., Singh, S. P. y Ng, P. K. (2006). Preparation and properties of biodegradable multilayer films based on soy protein isolate and poly(lactide). *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 45, 3059-3066.
- Rogovina, S., Aleksanyan, K., Prut, E. y Gorenberg, A. (2013). Biodegradable blends of cellulose with synthetic polymers and some other polysaccharides. *European Polymer Journal*, 49, 194-202.
- Salleh, E., Muhamad, I. y Khairuddin, N. (2009). Structural characterization and physical properties of starch-based film. *Engineering and Technology*, 55(1), 432-440.
- Shimao, M. (2001). Biodegradation of plastics. *Environmental biotechnology*, 12, 242-247.
- Siracusa, V., Blanco, I., Romani, S., Tylewicz, U., Rocculi, P. y Dalla Rosa, M. (2012). Poly (lactic acid)-modified films for food packaging application: physical, mechanical, and barrier behavior. *Journal of Applied Polymer Science*, 125, E390-E401.

- Sommer, I. y Kunz, P. M. (2012). Improving the water resistance of biodegradable collagen films. *Journal of Applied Polymer Science*, 125, E27-E41.
- Stagner, J. A., Dias Alves, V. y Narayan, R. (2012). Application and performance of maleated thermoplastic starch-poly(butylene adipate-co-terephthalate) blends for films. *Journal of Applied Polymer Science*, 126, E135-E142.
- Tang, X. Z., Kumar, P., Alavi, S. y Sande, K. P. (2012). Recent advances in biopolymers and biopolymer-based nanocomposites for food packaging materials. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52, 426-442.
- Wang, L., Shogren, R. y Carriere, C. (2000). Preparation and properties of thermoplastic starch-polyester laminate sheets by coextrusion. *Polymer Engineering and Science*, 40(2), 499-506.
- Xu, Y. X., Kim, Y. X., Hanna, K. M. y Nag, D. (2005). Chitosan-starch composite film: preparation and characterization. *Industrial Crops and Products*, 21, 185-192.

El agave y sus productos

A.S. Castro-Díaz* y J.A. Guerrero-Beltrán

Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla.

Ex hacienda Sta. Catarina Mártir S/N, San Andrés, Cholula, Puebla. C.P.72810. México.

RESUMEN

El agave es una planta nativa de México, monocárpica, ya que florece una vez en su vida y posteriormente muere. El agave, comúnmente conocido como maguey, ha brindado innumerables beneficios y productos al hombre. Uno de ellos es el tequila, el cual es una bebida alcohólica que se obtiene por fermentación y destilación de los azúcares reductores (agavinas) del *Agave tequilana* Weber variedad azul, cuyo proceso de elaboración tiene Denominación de Origen “Tequila” (DOT), y es conocido tanto en el mercado nacional como en el internacional. El pulque, producto de la fermentación a temperatura ambiente del aguamiel, fue la primera bebida de baja graduación alcohólica conocida en México; no es tan popular como lo fue en otra época, pero actualmente trata de recuperar el mercado como producto envasado en lata. El mezcal y los llamados “gusanos de maguey” también se obtienen de esta planta y estos últimos son muy cotizados en gastronomía. El objetivo de este artículo es mostrar la importancia del agave, así como la de los productos que a partir de él se obtienen, algunos de los cuales son reconocidos internacionalmente.

Palabras clave: agave, tequila, mezcal, aguamiel, pulque.

ABSTRACT

The agave is a native plant of Mexico, is monocarpic because it blooms once in its life cycle. The agave is commonly known as maguey and has provided countless benefits and products to man, one of them is Tequila, an alcoholic beverage obtained by fermentation and distillation of *Agave tequilana* Weber variedad azul sugars (agavinas) and whose manufacturing process is Origin Designation “Tequila” (DOT), and is well known both nationally and internationally. The pulque fermentation product of mead, at room temperature, was the first low alcohol drink in Mexico, it is not as popular as it was in another time, but nowadays efforts have been done to recover the market as a can product. Mezcal and larvae are also obtained from this plant and the latter are highly prized in gastronomy. The aim of this article is to show the importance of the agave, as well as products from it are obtained, some of which are internationally recognized.

Keywords: agave, tequila, mead, pulque.

* Programa de Maestría
en Ciencia de Alimentos
Tel.: +52 222 229 2126
Fax: +52 222 229 2727
Dirección electrónica:
alfredo.castrodz@udlap.mx

Introducción

México es un lugar que por sus características climáticas cuenta con una gran variedad de agaves, particularmente en la Meseta Central, y muchas de ellas son endémicas. Hay 26 estados de la República Mexicana en los que actualmente se cultiva agave. Éste se utiliza principalmente para la producción de tequila (*A. tequilana* Weber variedad azul), mezcal (*Agave salmiana*), pulque (principalmente de *Salmiana*), y para la obtención de larvas (conocidas como gusanos de maguey); éstas últimas son muy apreciadas en gastronomía.

Cabe señalar que el pulque es una bebida que se obtiene por fermentación del aguamiel del maguey, que tuvo auge comercial durante las épocas prehispánica y colonial de México, por ser un producto rentable; sin embargo, es muy poco conocido por las actuales generaciones. Hoy en día, para hacer al pulque más agradable, debido a que tiene un sabor y olor *sui generis*, se mezcla con frutas o vegetales, regulando su dulzor.

El objetivo de este artículo es mostrar la importancia del agave, así como la de los productos que de él se obtienen, algunos de los cuales son reconocidos internacionalmente.

gares planos. Los climas que más le favorecen son el árido y el semiárido; es característico encontrar agaves en estas zonas. Debido a que los agaves están expuestos a cambios ambientales adversos, han desarrollado mecanismos bioquímicos y biofísicos a nivel celular y estructural para poder sobrevivir.

En los agaves, la membrana cuticular es el mecanismo de protección más importante por funcionar como una interface con el exterior (Bernardino-Nicanor, Mora-Escobedo, Montañez-Soto, Filardo-Kerstup y González, Cruz, 2012). También estas plantas poseen mecanismos que les permiten adaptarse al frío o la sequía; en este último caso hay una mayor eficiencia en la utilización del agua para las funciones vitales. En cuanto al suelo, se encuentra en condiciones de pH neutro a ligeramente alcalino (García-Herrera *et al.*, 2010). Estas condiciones parecen dar al agave las características idóneas para sus funciones vitales. La reproducción de los agaves cultivados es principalmente asexual (García-Herrera *et al.*, 2010), por medio de hijos del rizoma de la planta, y sexual en el caso de los que crecen de manera silvestre, ya que sus flores son polinizadas por los insectos; este tipo de reproducción da mayor resistencia genética a la planta.

La domesticación de las especies de agave ha contribuido a la evolución de estas plantas, dándoles variaciones fisiológicas y morfológicas a nivel local, nacional e internacional. Prueba de esto se puede observar en la sección *Salmiana* del género *Agave* (Mora-López, Reyes-Aguirre, Flores-Flores, Peña-Valdivia y Aguirre-Rivera, 2011) que es una de las que más cambios ha registrado, ya que ha desarrollado mayor tamaño en la roseta y ha reducido sus estructuras de protección mecánica. La especie con mayor grado de domesticación fue la encontrada en linderos de cultivos agrícolas, el *A. mapisaga*, con dientes pequeños y rosetas grandes. La menos domesticada, como el *A. macroculturis*, se caracteriza por tener plantas pequeñas con espinas y dientes grandes.

Los estados de la República Mexicana en los que se cultiva el agave son: Aguascalientes, Baja California Norte, Baja California Sur, Coahuila, Colima, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz, Yucatán y Zacatecas (SIAP, 2013). El total de hectáreas sembradas de agave en México en el año 2012 fue de 137,625.27, las cuales muestran una reducción gradual del 24.21% con respecto al año 2008, en el cual hubo 181,575.15 hectáreas. También cabe destacar que para el año 2012 hubo más hectáreas cosechadas de agave (19,876.09) que en 2008 (19,032.14) pero con una reducción del 6.06% de toneladas en la producción en ese año (Tabla I).

Revisión bibliográfica

1. El agave

El agave, mejor conocido como maguey (Lappe-Oliveras, Moreno-Terrazas, Arrison-Gabiño y Herrera-Suarez, 2008), es originario de México; se encuentra desde 34° latitud norte, hasta 60° latitud sur (García-Herrera, Méndez-Gallegos y Talavera-Magaña, 2010). Esto hace que en México se encuentre el 75% de las especies de agave que crecen en el continente americano, un 55% de las cuales son endémicas (García-Herrera *et al.*, 2010; Gentry, 1982) hace un resumen de taxones del agave, en el cual se encuentran dos géneros *Littaea* y *Agave*, el primero con 54 especies y el segundo con 82. A su vez, al subgénero agave lo integran 12 secciones, 82 especies, 21 subespecies y 23 variedades, dando un total de 197 taxones.

El maguey es una planta monocárпica, ya que florece solamente una vez en su vida y posteriormente muere. La forma que adquiere con sus hojas (pencas) es como una roseta; sus pencas son verdes, gruesas y carnosas, y terminan con una punta afilada. Debido a su estructura e interacción con el medio, esta planta puede adaptarse a condiciones muy adversas como cerros pedregosos y laderas o montañas de gran altitud (García-Herrera *et al.*, 2010), así como también a llanos y lu-

Tabla I. Superficie sembrada, producción y precio de agave

Año	Superficie sembrada (Ha)	Superficie cosechada (Ha)	Producción (ton)	Rendimiento (ton/Ha)	Precio medio rural (\$/ton)
2008	181,575.15	19,032.14	1,795,078.20	94.32	1,476.05
2009	165,475.10	15,321.47	1,197,943.03	78.19	1,086.32
2010	162,388.89	15,880.20	1,246,790.13	78.51	1,013.21
2011	165,310.38	19,731.10	1,703,852.61	86.35	1,132.30
2012	137,625.27	19,876.07	1,686,337.41	84.84	1,258.54

Fuente: SIAP (2013).

Tabla II. Superficie sembrada (Ha) de *Agave tequilana* Weber variedad azul en México

Año	2008	2009	2010	2011	2012
Jalisco	121,146.25	107,700.12	100,316.30	94,086.09	82,775.95
Nayarit	9,745.03	9,215.03	7,840.03	12,401.56	7,549.13
Guanajuato	6,506.99	7,633.99	15,419.99	14,324.99	13,784.00
Tamaulipas	9,934.43	9,921.42	9,872.42	12,586.16	9,057.31
Michoacán	8,363.11	7,083.37	7,277.01	6,298.13	5,028.20

Fuente: SIAP (2013).

2. Productos del agave

2.1 Tequila

El tequila es una bebida alcohólica regional, obtenida por destilación de mostos de *Agave tequilana* Weber variedad azul. Los mostos pueden ser enriquecidos con otros azúcares en una proporción no mayor de 49% de azúcares reductores totales. El tequila se debe procesar en las instalaciones de la fábrica de un productor autorizado, la cual debe estar ubicada en el territorio comprendido en La Declaración General de Protección a la Denominación de Origen “Tequila” (DOT). El proceso se rige por la Norma Oficial Mexicana 006 SCFI-2012 Bebidas alcohólicas-Tequila-Especificaciones.

El 13 de abril de 1978 se otorgó el certificado de origen del tequila, en el *Registre International des appellations D'origen* de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual en Génova, Suiza. La Denominación de Origen “Tequila” (DOT) comprende 181 municipios de cinco estados de la República Mexicana los cuales son: Jalisco con sus 125 municipios, Nayarit con 8, Guanajuato con 7, Tamaulipas con 11 y Michoacán con 30 (Consejo Regulador del Tequila, 2013). Solamente en estos 181 municipios se puede utilizar como materia prima el *Agave tequilana* Weber variedad azul, para producir tequila (Mellado-Mójica y López-Pérez, 2013).

Según el SIAP (2013), el estado de Jalisco es el que ha tenido más hectáreas sembradas de *A. tequilana* (Tabla II), lo cual representa un promedio de 72.51% del total nacional en los últimos 5 años, muy por arriba de los cuatro estados restantes. En 2012, Guanajuato le siguió a Jalisco con tan sólo 11.66%, que representó la mayor producción de agave para este estado. Cabe señalar que en el año 2008, Guanajuato era el estado con menor número de hectáreas sembradas de *A. tequilana* (solamente el 4.18% del total).

México tiene el uso exclusivo de la palabra “tequila”, la cual se utiliza para nombrar a las bebidas alcohólicas que se producen con *A. tequilana* Weber variedad azul, creciendo exclusivamente en la demarcación que se rige bajo la normatividad vigente. Esta especie de agave, es de hojas de forma lanceolada, largas y fibrosas, de color azul debido a la cantidad de ceras que contiene (Academia Mexicana del Tequila, 2000).

La piña del agave tequilero es la materia prima para la elaboración de tequila. Cada piña tiene un peso de entre 30 y 70 kg, pero se pueden encontrar hasta de 150 kg. La concentración de azúcares de la piña se encuentra entre el 16% y el 28%, a diferencia de la de las hojas que está entre el 3.3% y 16.1% en peso fresco, dependiendo de la edad de la planta y el tamaño de la hoja (Montañez-Soto, Venegas-González y Vivar-Vera, 2011). Las piñas y las hojas del *A. tequilana* Weber

Tabla III. Categoría, clase y maduración del tequila.

Categoría	Porcentaje	Clase para cada categoría	Maduración
Tequila	100% de azúcares	Blanco plata	Menor a dos meses
100% de agave ⁽¹⁾	de <i>A. tequilana</i>		
	Weber variedad azul	Joven u oro ⁽²⁾	Al menos dos meses
Tequila	51% de azúcares de <i>A. tequilana</i> y hasta 49% de otros azúcares reductores	Reposado Añejo Extra añejo	Mayor a tres meses Mayor a tres años

1: Tambien conocido como. “100% de agave”, “100% puro de agave”, “100% agave”, o “100% puro agave”, al final de las cuales se puede añadir la palabra “azul”.

2: Mezcla de tequila blanco con tequila reposado y/o añejo y/o extra añejo.

Adaptado de: NOM-006-SCFI-2012

variedad azul, tienen carbohidratos de reserva que de no ser extraídos, son utilizados por la planta para la salida del escape floral. Las piñas de esta variedad de agave tienen un alto contenido de fructanos, los cuales son estructuras complejas que se sintetizan a partir de sacarosa y se clasifican en inulinas y levanas, también conocidas como agavinas (Montañez-Soto et al., 2011).

El tequila se obtiene utilizando una planta de agave madura de 10 años, edad a la cual tiene el mayor porcentaje de azúcares. Para el Consejo Regulador del Tequila, las operaciones unitarias para la producción de esta bebida son las siguientes: la planta se jima eliminando todas las pencas de la piña; se cuece en autoclaves durante 12 horas y si es en horno de mampostería, el cocimiento puede durar hasta 48 horas, para convertir la inulina en azúcares como fructosa y sacarosa, que son fácilmente fermentables. Posteriormente, la piña ya cocida se muele y para extraer la mayor cantidad de azúcares de la fibra, se aplica agua a presión. En la fermentación las mieles de agave deben estar en un mínimo de 51% y dependiendo del tipo de tequila, se podrán adicionar hasta el 49% de mieles de azúcar estándar, piloncillo, melaza, glucosa o fructosa. La fermentación se realiza a temperatura ambiente (en invierno puede durar 24 h) hasta que el mosto ya no tiene movimiento. Posteriormente se destila, obteniéndose el tequila y vinazas (desecho). La destilación se realiza en dos etapas, una llamada destrozamiento y la otra rectificación; en esta última se obtiene un producto de mayor pureza (Consejo Regulador del Tequila, 2013)

De acuerdo al porcentaje de azúcares que se adicionaron para la fermentación, el tequila se puede clasificar en dos

categorías: 100% de agave, que es producto del proceso de fermentación y destilación de mieles de *A. tequilana* Weber variedad azul, producido y embotellado por un productor autorizado dentro de la demarcación de origen, y tequila producto de la fermentación y destilado de mieles de *A. tequilana* Weber variedad azul, al que en el mosto previo a la fermentación se adicionó otro tipo de azúcares en una proporción no mayor al 49% (NOM-006-SCFI-2012).

El tequila también se clasifica dependiendo de las características adquiridas en la destilación y el tiempo de maduración (Tabla III). Cabe señalar que el sabor del tequila puede ser suavizado (abocado), agregando un porcentaje no mayor al 1% de uno o más de los siguientes ingredientes: color caramelo, extracto de roble o encino natural, glicerina y jarabe a base de azúcar, exceptuando el tequila blanco plata. La NOM-006-SCFI-2012 también establece que no se permiten las mezclas en frío y para ajustar al contenido alcohólico comercial, se debe utilizar agua de dilución, la cual puede ser potable, destilada o desmineralizada (NOM-006-SCFI-2012)

2.2 Mezcal

El mezcal es una bebida tradicional de México, alcohólica, de origen mexicano, producto de la fermentación de los azúcares extraídos de la piña cocinada de diferentes agaves como el *A. salmiana* (Verdugo et al., 2011) y *A. angustifolia*, *A. esperimma*, *A. weberi* y *A. potatorum* entre otros (Molina-Guerrero et al., 2007). La planta, para poder ser utilizada en la producción de mezcal, debe tener una madurez fisiológica de entre 7 y 12 años (García-Herrera et al., 2010).

El proceso para la elaboración del mezcal es artesanal y es

muy similar al del tequila, con la diferencia de que no es tecnificado y se pueden utilizar varias especies de agave para su elaboración. Las operaciones unitarias se resumen en: recolección de la materia prima, cocimiento de la piña, molienda de la piña cocida, doble fermentación, destilación en alambiques de cobre, y maduración en algunos casos. El cocimiento de las piñas del agave tiene la función de hidrolizar a los fructanos, obteniendo azúcares simples como fructosa. Estos azúcares son fermentados de manera natural, en períodos que van de 1 a 2 días. Las levaduras que fermentan los azúcares son de diferentes géneros. Verdugo *et al.* (2012) encontraron en el *Agave salmiana* 192 colonias de levaduras, de las que identificaron: *Saccharomyces cerevisiae*, *Kluyveromyces marxianus*, *Clavispora lusitaniae*, *Saccharomyces exiguum*, *Torulaspora delbrueckii*, *Zygosaccharomyces bailii*, *Pichia kluyveri* y *Candida ethanolica*, entre otras. Estas levaduras convierten los azúcares a etanol en una proporción de 0.39 g/g en la primera fermentación y un valor similar en la segunda. Para Molina-Guerrero *et al.* (2007), la destilación se realiza cuando el mosto contiene de 3 a 6% v/v de etanol, obteniendo mezcal blanco o joven.

Cabe señalar que una característica de esta bebida es que su sabor y olor los adquiere en el cocinado de la piña, la fermentación de azúcares y el destilado, considerando que algunos otros sabores y olores los tiene de manera natural el agave. Molina-Guerrero *et al.* (2007) encontraron 85 componentes que se agruparon por su naturaleza química en acetales, ácidos orgánicos, alcoholes, cetonas, aldehídos, ésteres, fenoles y terpenos, siendo los más abundantes los alcoholes, ésteres y ácidos. Vera, López y Chávez-Servia, (2012) encontraron, en la elaboración de mezcal a partir de *A. angustifolia* Haw, compuestos volátiles como acetato de etilo, etanol, metanol, 3-metil-1-butanol, propanol, 2-metil-1-propanol y ácido acético, con diferencias de una estación a otra. Con respecto a la adición de sulfato de amonio para reducir el tiempo de fermentación, se afecta la producción de etanol, propanol y butanol, pero disminuye la cantidad de metanol, acetato de etilo y la producción de ácido acético, por lo que es más recomendable adicionar sulfato de amonio en otoño que en primavera (Vera *et al.*, 2012).

2.3 Pulque

El pulque es una bebida ancestral, blanca, lechosa y viscosa, con sabor y olor fuerte a maguey, de baja graduación alcohólica, menor al 6% (Lappe-Oliveras *et al.*, 2008), que se obtiene por lotes, la cual tuvo gran auge y control por los aztecas en el siglo XIII (Chellapandian, Larios, Sánchez, González y

López-Munguía, 1998). Los aztecas distinguían diferentes tipos de pulque: "metoctlí" o vino de agave, "itzacoctlí" o vino blanco, y "teotctlí" o ceremonial o vino dios. Para Lappe-Oliveras *et al.* (2008) la palabra "pulque" se deriva de la palabra "poliuh-quioctlí", con la cual se designaba al pulque descompuesto de sabor y olor desagradable. Los españoles utilizaban la palabra "pulque" para designar a esta bebida recién elaborada. Con la caída del imperio azteca el pulque perdió su importancia religiosa, pero se siguió consumiendo por su importancia nutricional, inclusive como sustituto de agua.

Hoy en día se consume escasamente, pero se hacen esfuerzos por revivir si no su auge, sí su consumo. De su venta en pulquerías que eran antihigiénicas y malolientes, pasó a ser consumido en restaurantes, donde es considerado una bebida gourmet. Inclusive desde 2009, la empresa "Productos Naturales de Agave, S. A. de C. V.", en Nanacamilpa, Tlaxcala, exporta pulque natural y de sabores en latas a Estados Unidos y Alemania (Servín, 2009).

2.3.1 Agave pulquero

Según el SIAP (2013), los estados de México que cultivan agave pulquero son: Coahuila, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Puebla, San Luis Potosí, Tlaxcala y Veracruz. Jalisco no solamente produce agave para la elaboración de tequila sino que también produce agave pulquero. Michoacán también es un estado que produce agave para pulque, ya que de sus 112 municipios, solamente 30 pertenecen al DOT.

La savia (aguamiel) que se obtiene de varias especies de agave, se utiliza para la elaboración de pulque. Para Mora-López *et al.* (2011) los siguientes taxones de la sección Salmiana son utilizados principalmente para producir aguamiel: *Agave macroculmis*, *A. mapisaga*, *A. mapisaga* var. *lisa*, *A. salmiana*, *A. angustifolia*, *A. ferox*, *A. salmiana* subsp. *crassispira* y *A. tecta*. Ramírez-Higuera. (2010), incluye otras variedades para la producción de aguamiel como: *A. atrovirens* Karw., *A. hookeri*, *A. americana*. Así como también para el Estado de México incluye: *A. teometl* Zucc., *A. weberi* Cels., *A. altissima* Jacobi., *A. compliala* Trel., *A. gracillispina* Englem., *A. malliflua* Trel. y *A. mapisaga* Trel.

Cabe resaltar que el *Agave salmiana* var. *salmiana* le da un sabor fuerte al pulque obtenido, lo cual agrada a los consumidores (Mora-López *et al.*, 2011).

2.3.2 Preparación del agave

El proceso para la obtención del aguamiel comienza con la preparación del agave, el cual debe ser un maguey adulto (8 a 10 años). Al agave se le realiza el "capado o capazón", que consis-

te en cortar todas las pencas tiernas del centro (cogollo), para evitar la floración y que el escapo floral aproveche los azúcares de la planta. De dos a tres meses después (añejado del agave) se realiza la “picazón”, que consiste en formar un cajete en la base de la piña, y finalmente en las dos semanas subsecuentes el cajete se raspa (ruptura de vasos capilares) nuevamente, hasta formar un cuenco más profundo para que se acumule por exudación la savia del maguey. El cambio de coloración de rojo a amarillo oscuro de las bases de las pencas del agave indica que la producción de aguamiel se ha iniciado. En el proceso de maduración el contenido de azúcares en la savia (aguamiel) aumenta de 7 a 14% (Lappe-Oliveras *et al.*, 2008).

2.3.3 “Tlachicado”

El aguamiel (savia) obtenido del agave, es un líquido translúcido, amarillento (o turbio), ácido, ligeramente espeso con olor a hierba (fresco). Está constituido principalmente por agua y azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa), proteínas, gomas y sales minerales (Lappe-Oliveras *et al.*, 2008). La normatividad mexicana (NMX-V-022-1972 SECOFI-1972) distingue dos tipos de aguamiel. El Tipo I corresponde al de mejor calidad por estar más claro y con un contenido de azúcares más alto y el Tipo II que incluye a los demás tipos de aguamiel.

“Tlachicar” es el proceso mediante el cual se recoge el aguamiel por succión con un “acocote”, el cual es un calabazo alargado que se utiliza para extraer el aguamiel del agave. También se utiliza un instrumento que tiene la misma función o una taza cafetera, dependiendo de qué tan alto o pequeño sea el agave. El volumen de aguamiel en el cajete aumenta paulatinamente con respecto al tiempo. Ortiz-Basurto *et al.* (2008) encontraron que se puede recoger al inicio de la producción de aguamiel desde 0.4 litros por planta por día y aumentar a 4 o 6 litros por planta por día los primeros dos meses y luego va disminuyendo hasta obtener 0.4 litros por planta por día hacia el final de la producción, la cual puede durar de 4 a 6 meses. La recolección de aguamiel se realiza dos veces al día, tapando el cajete con las mismas hojas del maguey. Cada agave tiene una producción total de 500 a 1000 litros. Gentry, 1982; Tovar, Olivos y Gutiérrez, 2008 reportan para el *A. atrovirens* y el *A. salmiana*, hasta 1,500 litros durante su periodo de producción. El aguamiel se almacena en recipientes como castañas de madera u odres, los cuales se transportan hasta los tinacales de fermentación.

Debido a que el aguamiel utilizado para la obtención del pulque es rico en factores de crecimiento en un medio acuoso, representa un sustrato favorable para diferentes microorga-

nismos que pueden proceder del agave, del acocote, de insectos y del polvo, ya que el agave se encuentra a la intemperie. Esta población heterogénea de microorganismos es la que da inicio a una serie de fermentaciones consecutivas que son: láctica, alcohólica y acética (Lappe-Oliveras *et al.*, 2008).

2.3.4 Obtención del pulque

El pulque resulta de la fermentación del aguamiel con microorganismos autóctonos, de los cuales se han identificado más de 50 géneros dependiendo del tipo de agave utilizado (Cervantes-Contreras y Pedrosa-Rodríguez, 2007). Para la producción del pulque, la fermentación de aguamiel se inicia en el maguey, continuando su proceso natural en los tinacales (tinas de fermentación).

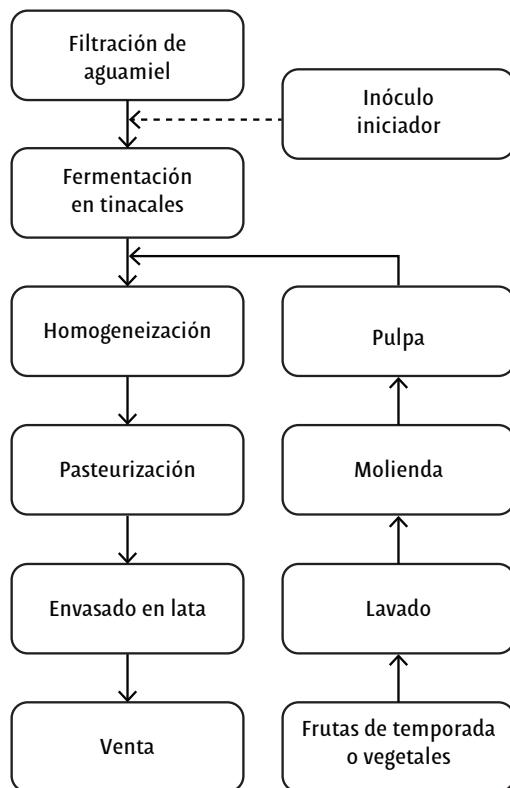
Debido a la transformación bioquímica por la acción microbiana que sufre la savia, ésta se vuelve un medio propicio para el crecimiento de diferentes microorganismos como bacterias productoras de ácido láctico (*Leuconostoc*, especies de *Lactobacillus* homo y heterofermentativas), levaduras (*Saccharomyces* y otras) y *Zymomonas mobilis* subsp. *Mobilis*, que convierten los azúcares en alcohol y otros productos. La savia también contiene bacterias productoras de dextranos (*Leuconostoc* subsp.), bacterias productoras de ácido acético (*Acetobacter* subsp.) y microorganismos corruptores.

Para una fermentación más rápida del aguamiel, se puede acelerar el proceso adicionando una cantidad variable de pulque ya fermentado (semilla), que corresponde al pulque Tipo I, al igual que las primeras fermentaciones, ya que aquí se establece un equilibrio bioquímico entre sustrato fermentable y microorganismos básicos.

El tiempo de fermentación para obtener pulque es variable, ya que se puede producir dulce o fuerte, dependiendo del tiempo de fermentación, el cual puede ser de 12 a 48 horas a 25 °C (Cervantes-Contreras y Pedrosa-Rodríguez, 2007) o a temperatura ambiente, que es como se produce en el medio rural. Este proceso es muy delicado, ya que de no tener cuidado con la inocuidad en las diferentes fases, se puede inhibir a los microorganismos mesófilos.

El pulque después de adquirir sus características (grado alcohólico, viscosidad ideal, sabor y olor), debe ser comercializado, ya que es un producto perecedero con vida de anaquel de 1 a 3 días (Lappe-Oliveras *et al.*, 2008). También se puede resaltar su sabor agregando frutas o vegetales y envasarlo en lata, que es como se comercializa a otros países. En la figura 1 se presenta un diagrama sobre el proceso de elaboración del pulque curado.

Fig. 1. Diagrama de bloques del proceso de producción de pulque curado



3. Otros productos del agave

3.1 Gusano rojo (*Hypopta agavis* B)

El *Agave salmiana* está relacionado al gusano rojo, llamado “chinicuil”, “tecol” o simplemente gusano rojo de maguey, el cual es una plaga de éste, ya que se alimenta de los tejidos de las diferentes partes del maguey. Este gusano es larva de la palomilla *Comadia redtenbacheri* Hammerschmidt (Lepidoptera: cossidae) y vive como huésped en el maguey, hasta completar su ciclo de vida que es de ocho meses a un año (Lladeral-Cázares, De los Santos-Posadas, Almanza-Valenzuela, Nieto-Hernández y Castillejos-Cruz, 2010) o de cinco meses si el agave está en invernadero. Sus siete estadios larvales los pasa en el cuello o raíz de la piña del maguey, la cual puede contener de 15 a 30 larvas (García-Herrera *et al.*, 2010). La colecta de los gusanos se realiza a mano, principalmente en el mes de septiembre. Cabe resaltar que los adultos permanecen con vida solamente de 3 a 5 días, por tener un aparato bucal no evo-

lucionado que no les permite alimentarse fuera de la planta.

Las larvas del agave se han comido siempre, pero últimamente han adquirido auge en la gastronomía mexicana. El gusano rojo contiene siete aminoácidos esenciales y un valor energético de 607.9 kcal/100 g (Lladeral-Cázares *et al.*, 2010), el cual es uno de los más elevados para insectos comestibles. El “chinicuil” se encuentra y comercializa en los estados de la Mesa Central, Oaxaca, San Luis Potosí y Chiapas.

3.2 Gusano blanco (*Acentrocneme hesperiarius*)

El gusano blanco de maguey es un insecto con un alto valor alimenticio que se encuentra en las pencas, las cuales al contenerlo tienden a marchitarse. En México, como en Estados Unidos de América y Europa, es muy apreciado. Los estados en los cuales se encuentra y comercializa son Durango, Zacatecas, Aguascalientes y los de la Mesa Central de México (García-Herrera *et al.*, 2010). Su recolección es en los meses de mayo a junio. Se pueden conservar en refrigeración por varios meses.

3.3 Mixiote

El mixiote es un platillo de origen prehispánico que para su elaboración utiliza la membrana cuticular de la hoja del agave, la cual es el medio de protección y defensa más importante para la planta. Cabe mencionar que los agaves producen en las hojas tres formas de cristales de oxalato de calcio (drusas, estiloides y rafidios), los cuales se detectan principalmente en las primeras etapas del desarrollo de las plantas jóvenes (sexto año), ya que posteriormente sólo se encuentran las drusas en la membrana cuticular. Los cristales de oxalato de calcio actúan como mecanismos de protección contra insectos y animales forrajeros (Bernardino-Nicanor *et al.*, 2012); en el ser humano causan dermatitis. La función biológica de los cristales en la planta es dar alta turgencia y ser una forma de almacenamiento de calcio y ácido oxálico.

Es importante considerar que el retiro de la cutícula del agave es destructiva para la planta, ya que le ocasiona la muerte por deshidratación y pérdida de superficie para realizar procesos fotosintéticos (José y García, 2000). El estado de Hidalgo es el único reportado por el SIAP (2013) como productor de mixiote (23 Ha sembradas). La actividad debe ser realizada en cultivos controlados ya que de no ser así, se propiciaría la extinción del maguey.

3.4 Jarabe de agave

Según la Norma Mexicana NMX-FF- 110- SCFI-2008, el jarabe de agave es la sustancia dulce proveniente de la hidrólisis de los oligosacáridos del agave, a la cual se le puede añadir color y sabor, pero no almidones, melazas, glucosa, dextrosa, fructosa u otros azúcares de origen diferente al agave. La normatividad describe tres tipos de jarabe que son: jarabe de agave, jarabe de agave 100% (o jarabe 100% de agave), el cual no debe tener mezclas de diferentes tipos de agaves, y el jarabe “orgánico”, que debe cumplir con los requisitos establecidos en la Ley de Productos Orgánicos (2006), en la cual se establece que sólo los productos que cumplan con esta ley podrán ser identificados con el término “orgánico”, prohibiendo la utilización de productos de síntesis química.

Mellado-Mójica y López Pérez (2013) observaron que el jarabe de *A. tequilana* Weber variedad azul presenta una gran gama de tonalidades (0.017 - 0.961 a 560 nm), por lo que la tonalidad no es una variable adecuada para identificarlo. Los jarabes de *A. tequilana* contienen abundancia de fructosa (mayor a 500 mg/g) y ausencia de sacarosa. Algunos dependiendo de la región de procedencia, contienen trazas de fructooligosacáridos (cetosa y nistosa) formados en la hidrólisis de los fructanos al elaborar el jarabe.

Conclusiones

El agave es una planta nativa de México que ha brindado innumerables beneficios al hombre como ninguna otra planta. Muchos productos que a partir de ella se obtienen, están posicionados a nivel mundial como el tequila, cuyo proceso de elaboración ha adquirido Denominación de Origen Tequila (DOT) reconociendo la identidad y calidad de este producto mexicano. El mezcal y el pulque son bebidas ancestrales que se siguen elaborando de manera tradicional, éste último tratando de recuperar el auge de otro tiempo. Esta planta también sirve de hospedero para larvas que son muy apreciadas tanto en la gastronomía nacional como en la internacional. Por lo tanto el agave es una planta de gran importancia socioeconómica para México.

Agradecimiento

Alfredo Salvador Castro-Díaz agradece al Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) y a la Universidad Tecnológica de Tecamachalco (UTT), por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo en los estudios de posgrado.

REFERENCIAS

- Academia Mexicana del Tequila A. C. (2000). Información obtenida el 9 de noviembre de 2013 de <http://www.acamextequila.com.mx/amt3/elagave.html>.
- Bernardino-Nicanor, A., Mora-Escobedo, R., Montañez-Soto, J., Filardo-Kerstupp, S. y González-Cruz, L. (2012). Microstructural differences in *Agave atrovirens* karw leaves and pine by age effect. *African Journal of Agricultural Research*, 7(24), 3550-3559.
- Cervantes-Contreras M. y Pedrosa-Rodríguez A. M. (2007). El pulque: características microbiológicas y contenido alcohólico mediante espectroscopía raman. *Nova Publicación Científica en Ciencias Biomédicas*, 5, 101-212.
- Chellapandian, M., Larios C., Sánchez-González, M. y López-Munguía, A. (1998). Production and properties of a dextran sucrose from *Leuconostoc mesenteroides* IBT-PG isolated from pulque a tradicional Aztec alcoholic beverage. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 21, 51-56.
- Consejo Regulador del Tequila. (2013). Información obtenida el 10 de noviembre de 2013 de <http://www.crt.org.mx/EstadisticasCRTweb/>.

- García-Herrera, E., Méndez-Gallegos, S. y Talavera-Magaña, D. (2010). El género *Agave*spp. En México principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. *RESPYN*. Edición especial. 5, 109-127.
- Gentry, H. S. (1982). *Agaves of continental North America*, Tucson Arizona, U.S.A. The University of Arizona press.
- José, R. y García E. (2000). Remoción cuticular ("mixiote") y desarrollo foliar en los agaves pulqueros (*Agave salmiana* y *A. mapisaga*). *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 66, 73-79.
- Lappe-Oliveras, P., Moreno-Terrazas, R., Arrison-Gabiño, J. y Herrera-Suárez, T. (2008). Yeasts associated with the production of mexican alcoholic non distilled and distilled agave beverages. *FEMS Yeast Research*, 8(7), 1035-52.
- Ley de productos orgánicos. (2006). Información obtenida el 9 de noviembre de 2012, en <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LPO.pdf>
- Llandleral-Cazares, C., De los Santos-Posadas, H. M., Almanza-Valenzuela I., Nieto-Hernández, R. y Castillejos-Cruz, C. (2010). Establecimiento del gusano rojo en plantas de maguey en invernadero. *Acta Zoológica Mexicana*, 26(1), 25-31.
- Mellado-Mójica, E. y López-Pérez, M. (2013). Análisis comparativo entre jarabe de agave azul (*Agave tequilana* Weber bar. Azul) y otros jarbes naturales. *Agrociencia*, 47, 233-244.
- Molina-Guerrero, J., Botello-Álvarez, J., Estrada-Baltazar, A., Navarrete-Bolaños, J., Jiménez-Islas, H., Cárdenas-Manríquez, M. y Rico-Martínez, R. (2007). Compuestos volátiles en el mezcal. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 6(1), 41-50.
- Montañez-Soto, J., Venegas-González, J. y Vivar-Vera, M. (2011). Extracción, caracterización y cuantificación de los fructanos contenidos en la cabeza y en las hojas del *Agave tequilana* Weber azul. *Bioagro*, 23(3), 199-206.
- Mora-López, J., Reyes-Aguirre A., Flores-Flores, J., Peña-Valdivia, B. y Aguirre-Rivera, R. (2011). Variación morfológica y humanización de la sección Salmiana del género *Agave*. *Agrociencia*, 45, 465-477.
- Norma Mexicana NMX-V-022-1972 "aguamiel" "hidromiel". Información obtenida el 10 de noviembre de 2013 de <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-V-022-1972.PDF>.
- Norma Mexicana NMX-FF-110-SCFI-2008 Alimentos jarabe de agave 100% - especificaciones y métodos de prueba. Información obtenida el 10 de noviembre de 2013 de <http://200.77.231.100/work/normas/nmx/2007/proy-nmx-ff-110-scfi-2008.pdf>.
- Norma Oficial Mexicana NOM-006-SCFI-2012. Bebidas alcohólicas tequila-especificaciones. Diario Oficial. Información obtenida el 10 de noviembre de 2013 de http://www.diario-o.com/dof/2012/12/13/seeco_13dic12.pdf.
- Ortíz-Basurto, R., Pourcelly, G., Doco, T., Williams, P., Dornier, M. y Pierre Belleville, M.-P. (2008). Analysis of the main components of the aguamiel produced by the maguey-pulquero (*Agave mapisaga*) throughout the harvest period. *Agricultural and Food Chemistry*, 56, 3682-3687.
- Ramírez-Higuera, A. (2010). Evaluación del efecto prebiótico del aguamiel de maguey (*Agave salmiana*) en *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Tesis de maestría no publicada. Instituto Politécnico Nacional. México. D.F.
- Servín, J. (2009). Puro corazón de maguey. El Universal. Información obtenida el 10 de noviembre de 2013, de <http://www.eluniversal.com.mx/articulos/56568.html>.
- SIAP. 2013. Anuario estadístico de la producción agrícola. 350 Información obtenida el 16 de octubre de 2013 de http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350
- Tovar, R., Olivos, M. y Gutierrez M. (2008). Pulque and alcoholic drink from rural Mexico contains Phytase. It's in vitro effects on corn tortilla. *Plant Foods Human Nutrition*, 63(4), 189-192.
- Vera, A., López, M. y Chávez-Servia, J. (2012). Chemical composition and volatile compounds in the artisanal fermentation of mezcal in Oaxaca, México. *Biotechnology*, 11(78), 14344-14353.
- Verdugo, A., Segura, L., Kirchmayr, M., Ramírez, A., González, A., Coria, R. y Gschaeidler, A. (2011). Yeast communities associated with artisanal mezcal fermentation from *Agave salmiana*. *Antonie van Leeuwenhoek*, 100(4), 497-506.

Recubrimientos de frutas con biopelículas

M.C. Vázquez-Briones y J. A. Guerrero-Beltrán

**Condiciones gastrointestinales modelo
utilizadas para evaluar probióticos encapsulados**

A. R. Juárez-Roldán y M. T. Jiménez-Munguía

**Propiedades nutricionales y funcionales del garbanzo
(*Cicer arietinum L.*)**

V.G. Aguilar-Raymundo y J.F. Vélez-Ruiz

**Extractos y aceite esencial del clavo de olor
(*Syzygium aromaticum*) y su potencial aplicación
como agentes antimicrobianos en alimentos**

A. E. Aguilar-González y A. López-Malo

**Biopolímeros y su integración con polímeros
convencionales como alternativa de empaque de alimentos**

R. Cruz-Morfin, Y. Martínez-Tenorio y A. López-Malo Vigil

El agave y sus productos

A.S. Castro-Díaz y J.A. Guerrero-Beltrán

UDLAP®

Departamento de Ingeniería
Química, Alimentos y Ambiental
Universidad de las Américas Puebla