



Biopolímeros utilizados en la encapsulación

A. García-Ceja* y A. López-Malo.

*Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Fundación Universidad de las Américas Puebla.
Exhacienda Sta. Catarina Mártir S/N, Cholula, Puebla. C.P.72810. México.*

Resumen

La encapsulación es definida como una tecnología de recubrimiento de materiales sólidos y líquidos. Las microcápsulas selladas pueden liberar los contenidos a velocidades controladas bajo condiciones específicas, y pueden proteger el producto encapsulado de la luz, oxígeno y pH. La encapsulación consiste en micropartículas conformadas por una membrana polimérica porosa conteniendo a una sustancia activa. Entre los materiales más utilizados para la encapsulación se encuentran goma arábiga, goma xantana, k-carragenina, quitosano, alginato, almidón, gelatina y otras proteínas. Las aplicaciones de la encapsulación van dirigidas a la industria química, alimenticia, y farmacéutica. Las sustancias que se encapsulan son: vitaminas, minerales, pigmentos, microorganismos, antioxidantes, aceites esenciales y enzimas, entre otros. El presente documento tiene por objetivo el papel protector que tiene los agentes encapsulantes para la formación de las matrices con los diversos componentes activos.

Palabras clave: encapsulación, biopolímeros, alginato, almidón, gelatina, goma arábiga, goma xantana, carragenina, proteínas, quitosano.

Abstract

Encapsulation is defined as a technology for covering solids and liquids. The sealed microcapsules can release their contents at controlled rates under specific conditions, and can protect the encapsulated product from light, oxygen and pH. Encapsulation is formed by a micro-porous polymeric membrane containing an active substance. The materials used for micro encapsulation can be arabic gum, xanthan gum, carrageenan, chitosan, alginate, starch, gelatin, and other proteins. Encapsulation applications are exploited in the chemical, food, and pharmaceutical industries. The substances that can be encapsulated are: vitamins, minerals, pigments, microorganisms, antioxidants, essential oils, enzymes, among others. This document aims to have the protective role encapsulating agents for the formation of arrays with different active components.

Keywords: encapsulation, biopolymers, alginate, starch, gelatin, gum arabic, gum xanthan, carrageenan, proteins, chitosan.

*Programa de Maestría en Ciencia de Alimentos
Tel.: +52 222 229 2126, fax: +52 222 229 2727
Dirección electrónica: adelfo.garciaca@udlap.mx

Introducción

La mayoría de los micronutrientes incluyendo las vitaminas y minerales son altamente inestables en la naturaleza; éstos pueden degradarse durante el procesamiento y almacenamiento, así como por el efecto de diferentes condiciones ambientales como la humedad relativa, el pH y la temperatura (Han *et al.*, 2008). La encapsulación es un proceso en el que películas delgadas de materiales poliméricos, se aplican a pequeñas partículas sólidas o gotas de líquido, que contienen materiales sensibles y bioactivos. Esta técnica se utiliza para atrapar componentes activos que se pueden liberar bajo condiciones controladas (Deladino *et al.*, 2008). Los sistemas de encapsulación son de gran utilidad para proteger micronutrientes o microorganismos probióticos porque reducen la interacción que tienen con el exterior, dándoles estabilidad a pH ácidos y condiciones extremas de humedad (Han *et al.*, 2008). Diversos compuestos han sido encapsulados en la industria alimentaria, tales como: aminoácidos, vitaminas, minerales, antioxidantes, enzimas, edulcorantes, colorantes y microorganismos probióticos (Deladino *et al.*, 2008). La encapsulación de probióticos ha sido un tema de investigación que busca mejorar su viabilidad en los alimentos y productos que los contienen, además de mantener su viabilidad durante el paso por el tracto gastrointestinal (Krasaekoop *et al.*, 2004). Es posible producir cápsulas y recubrimientos mediante la combinación de diferentes tipos de biopolímeros con el fin de aprovechar las ventajas de composición química de cada componente. Algunos estudios como el realizado por Arzate-Vázquez *et al.* (2012) han demostrado que mezclas de alginato y quitosano son biocompatibles por las relaciones electrostáticas que ocurren al formar una doble encapsulación. Sin embargo, hay pocos documentos que sinteticen la información existente en esta área. Es por ello que resulta interesante realizar una

investigación documental sobre la encapsulación y el papel protector que tiene los agentes encapsulantes para la formación de las matrices con los diversos componentes activos.

Revisión bibliográfica

1. Encapsulación

La encapsulación es una tecnología que permite atrapar componentes sensibles en una matriz homogénea o heterogénea para su protección (Lian *et al.*, 2003; Deladino *et al.*, 2008; da Acosta *et al.*, 2011; Nazzaro *et al.*, 2011). En este proceso se forman películas delgadas o membranas semipermeables, utilizando diversos materiales como los biopolímeros (Yua *et al.*, 2010). El desarrollo exitoso de estos sistemas de encapsulación se basa, en el conocimiento sobre la estabilidad del componente que se desea proteger (microorganismos, aceites esenciales, enzimas y antioxidantes, etc.), las propiedades de los materiales para la encapsulación (matriz), el método para la formación de la cápsulas y el alimento al cual se desea incorporar (Nazzaro *et al.*, 2011).

La encapsulación ofrece numerosos beneficios a los consumidores. Ya que añade un valor agregado al alimento, una mayor estabilidad entre los diferentes componentes, así como la protección del componente activo contra la humedad, la temperatura, el daño mecánico, la permeabilidad y la reactividad (al pH y/o a la presencia de sales) que pueden deteriorarlo (Wang *et al.*, 2004; Kashappa *et al.*, 2005). Por otra parte también la encapsulación ayuda a que los componentes activos resistan las condiciones de procesamiento y empacado. En algunos casos el alimento no sufre alteración en sus atributos sensoriales (sabor, aroma y apariencia) y nutricionales por la presencia de las

microcápsulas (Parra, 2010; Sohail *et al.*, 2011). Otro de los beneficios de la encapsulación es que los componentes se liberan de forma controlada por difusión, disolución, disociación y/o fracturación (Krasaekoort *et al.*, 2004; Kashappa *et al.*, 2005); la cual es importante cuando los agentes activos deben ser liberados en un tiempo apropiado y/o bajo ciertas condiciones (Yuliani *et al.*, 2004).

Existen diversos métodos de encapsulación los cuales se dividen en dos grupos: procesos

químicos y mecánicos (Yañez *et al.*, 2002). En los procesos químicos se encuentran los métodos de coacervación y gelificación iónica; mientras que en los procesos mecánicos están los métodos de secado por aspersión, liofilización, por congelamiento o enfriamiento, extrusión, emulsión y recubrimiento en lecho fluidizado (Li *et al.*, 2009; Favaro-Trindade *et al.*, 2010; Nazzaro *et al.*, 2011). Los métodos y su aplicación con los diferentes biopolímeros se presentan en la Tabla I.

Tabla I. Métodos utilizados para la encapsulación, biopolímeros y componentes activos.

Técnicas de encapsulación	Biopolímeros	Componentes activos
Secado por aspersión	Maltodextrina, goma arábica, diferentes aislados de proteínas, caseinato de sodio, polisacárido de soya soluble, β -ciclodextrina, goma de mezquite	Aceite de naranja, acetato de linalol, cardamomo, d-limoneno
Inclusión molecular	β -ciclodextrina	Linalol, aceite de cáscara de naranja, d-limoneno, aceite de limón, sabor café natural y sintético
Coacervación	Gelatina, polifosfato de sodio, goma arábica	Aceite de romero, aceite de menta, teobromina
Extrusión	Maltodextrina, azúcar simple o almidón modificado	Sabores, vitamina C, colorantes
Secado por enfriamiento/congelamiento	Aceites vegetales hidrogenados o aceites vegetales de bajo punto de fusión	Aditivos alimentarios sólidos, sabores sólidos
Recubrimiento en lecho fluidizado	Hidrocoloides, polímeros solubles en disolvente, carbohidratos simples	Sólidos, por lo general productos farmacéuticos

Adaptada de Kashappa *et al.* (2005)

Actualmente se utilizan una gran variedad de biopolímeros para formar encapsulaciones sencillas y múltiples, la selección se basa en sus características y propiedades, así como la compatibilidad que se puedan tener entre si cada uno de ellos, para realizar dicha interacción y formar más de una capa. Es necesario tener dos tipos de materiales, uno que provenga del grupo de biopolímeros cargados negativamente como la goma arábiga, goma gellan, pectina, alginato, carboximetil celulosa y el otro del grupo de biopolímeros con carga positiva como la gelatina (cuando se ajusta el pH por debajo del punto isoeléctrico la carga neta en la gelatina es positiva) o el quitosano (único material que tiene carga positiva) (Saravanan y Rao, 2010; Burgain *et al.*, 2011).

La técnica más común para realizar encapsulación múltiple es la emulsión, encapsulando vitaminas. En el área de los fármacos se utiliza el método de coacervación, para los medicamentos. Esta misma técnica se utiliza también para encapsular aceites esenciales como el de romero, y algunos lípidos (omega 3), también sabores como el del café y la β -lactoglobulina (Yuliani *et al.*, 2004; Xie *et al.*, 2006; Given, 2009; Saravanan y Roa, 2010; Jones *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2010). Otra técnica es la gelificación iónica, en la cual se encapsulan agentes activos como vitaminas, antioxidantes y hierro, y una gran gama de probióticos (Zhou *et al.*, 1998; Lakkis, 2007; Han *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2008; Arzate-Vázquez *et al.*, 2012). En cualquiera de los casos se forma la primera capa con alguno de los biopolímeros para inmovilizar al agente activo y después se cubre a las microcápsulas con el segundo material. Este proceso de encapsulación múltiple protege aun más al compuesto activo.

2. Biopolímeros utilizados en la encapsulación

Los biopolímeros son utilizados en diferentes áreas como la biomedicina, alimentaria y farmacéutica para formar, proteger y transportar los compuestos activos que van dirigidos a diferentes funciones específicas (Chen *et al.*, 2006; Niebla, 2009). Los biopolímeros se clasifican de acuerdo a su origen en naturales y sintéticos. Los de origen natural provienen de cuatro grandes fuentes: origen animal (colágeno/gelatina), origen marino (algas/quitosano), origen vegetal (lípidos, hidrocoloides, proteínas y polisacáridos) y origen microbiano (ácido poliláctico y polihidroxialcanoatos) (Tharanathan, 2003; Yuliani *et al.*, 2004; Ghodke, 2009; Tiwari *et al.*, 2010; da Acosta *et al.*, 2011). La mayoría de estos biopolímeros en estado vítreo, son solubles en agua y tienen una alta estabilidad física y química (Yuliani *et al.*, 2004). Los usos más frecuentes son el mejoramiento de las características reológicas y de textura en los alimentos a los que se incorporan, así como ser agentes de revestimiento de medicamentos y agentes de encapsulación para la protección de microorganismos (Ruiz *et al.*, 2009; Tiwari *et al.*, 2010). Por otra parte se encuentran los biopolímeros sintéticos, que a pesar de su éxito como sistemas encapsulantes, no pueden ser utilizados para su aplicación en alimentos, a menos que sean reconocidos generalmente como seguros, por su siglas en inglés GRAS (da Acosta *et al.*, 2011).

2.1. Alginato

Es un polímero natural derivado de algas marinas (Prakash y Soe-Lin, 2004). Este polisacárido natural está constituido por unidades de ácidos D-manurónico y L-

gulurónico unidos linealmente por enlaces (1-4)-glucosídico (Mokarram *et al.*, 2009; Katouzi *et al.*, 2011; Burgain *et al.*, 2011; Sohail *et al.*, 2011). Los alginatos con alto contenido de ácidos gulurónico tienden a formar geles más rígidos y de mayor porosidad, al contrario de alginatos ricos en ácido manurónico. Este ajuste estructural es un resultado directo del Ca^{+2} que tiene una mayor afinidad por el ácido gulurónico (Penichea, 2004; Prakash y Soe-Lin, 2004; Kailasapathy *et al.*, 2006; Anal y Singh, 2007; Sohail *et al.*, 2011). Éste biopolímero es el más utilizado para la formación de matrices en la industria de alimentos, debido a su facilidad de uso, biocompatibilidad, seguridad y bajo costo (Sohail *et al.*, 2011; Brusch y Záchia, 2011; Burgain *et al.*, 2011). Rodrigues *et al.* (2011) utilizaron seis biopolímeros (alginato, quitosano, goma xantana, proteína aislada de leche, carragenina y acetato ftalato de celulosa) a dos concentraciones (2 y 4%) evaluando la viabilidad, inmovilización y compatibilidad de estos biopolímeros con *Lactobacillus acidophilus* Ki, *L. acidophilus* La-5, *L. casei* 01, *Bifidobacterium animalis* BB-12 y *B. lactis* durante un periodo de 3 h a 37 °C en agua estéril, mostrando que las matrices de alginato son las que poseen una alta biocompatibilidad, inmovilización y viabilidad de los 5 probióticos durante el tiempo de estudio. En otro estudio utilizaron diferentes mezclas de alginato-pectina, alginato-β-ciclodextrina y alginato-trehalosa para encapsular a la invertasa (enzima) por tres métodos de secado (aspersión, enfriamiento al vacío y liofilización) para establecer la enzima en el menor tiempo posible. Se mostró que el método de secado por enfriamiento a vacío es el más adecuado para las tres mezclas, ya que presentó un tiempo de liberación de la enzima de 2 h en una solución de acetato de sodio, a diferencia de los otros métodos que se liberó a las 4 h, esto es debido a que el tamaño del poro formado fue mayor en este método (Santagapita *et al.*, 2011). Otros investigadores estudiaron una inmovilización de *Bacillus*

licheniformis y *Saccharomyces cerevisiae* a diferentes proporciones de alginato (1.4, 2.0, 2.5, 3.0 y 3.2%) para evaluar su viabilidad, obtuvieron que 3.2 y 2.5% (p/v) fueron las proporciones que presentaron mayor efectividad en la inmovilización y teniendo una mayor población de *B. licheniformis* y *S. cerevisiae* (2.6×10^7 UFC/g y 1.0×10^8 UFC/g respectivamente) en las cápsulas. Parra (2010) encapsuló *L. acidophilus* en una mezcla de alginato-inulina-goma-xantana logrando mantener la viabilidad del probiótico en jugo de zanahoria durante 8 semanas de almacenamiento a 4 °C y además de mantener la viabilidad del microorganismos cuando se simula su paso por el tracto gastrointestinal.

2.2. Quitosano

Es un polisacárido natural de alto peso molecular, se encuentra en el exo-esqueleto de los crustáceos y las paredes celulares de algunos hongos (Krasaekoopt *et al.*, 2005; Burgain *et al.*, 2011; Arzate-Vázquez *et al.*, 2012). Este biopolímero natural, obtenido por desacetilación de la quitina (N-acetilglucosamina), posee una alta biocompatibilidad con otros componentes, es biodegradable, no tóxico, insoluble en agua pero soluble en soluciones ácidas, comportándose en este medio como un polielectrolito catiónico (fácil de adherirse a superficies cargadas negativamente) lo que lo hace tener la capacidad de actuar como floculante, humectante y quelante (Gebelein y Carraher, 1994; Krasaekoopt *et al.*, 2004; Anal y Singh, 2007; Li *et al.*, 2009; Harris *et al.*, 2011; Arzate-Vázquez *et al.*, 2012). El quitosano ha sido utilizado ampliamente en diferentes áreas, una de ellas es la encapsulación de probióticos, mezclándose con otros polisacáridos para la formación de cápsulas. Estudios han demostrado que al utilizar una mezcla de alginato-quitosano para encapsular *Escherichia coli* DH5, se obtiene una estabilidad mecánica y química de las cápsulas, durante la simulación de su paso por

el tracto gastrointestinal en un periodo de 250 min, ya que esta bacteria se usa para tratamientos terapéuticos de enfermedades del sistema digestivo (Lin *et al.*, 2008). Por otro lado, Brusch y Záchia (2011) realizaron una serie de mezclas con diferentes biopolímeros destacando la mezcla de alginato-quitosano para encapsular *Lactobacillus plantarum* BL011; mostrando que ésta provee una mayor estabilidad en la viabilidad del probiótico adicionado a yogur durante el almacenamiento en refrigeración (38 días), además de mejorar la supervivencia durante el paso por el tracto gastrointestinal en comparación con otras mezclas (alginato-pectina y alginato-caseína). Otros estudios demostraron que al utilizar quitosano como revestimiento en cápsulas (perlas) de alginato incrementaron significativamente el tiempo de supervivencia de *Lactobacillus rhamnosus* de 40 a 120 min y para *L. acidophilus* de 90 a 120 min en condiciones ácidas (Sohail *et al.*, 2011).

2.3. Gelatina

Es una proteína extraída del colágeno de los animales. La mayoría de la gelatina en el mundo se deriva de la piel del cerdo, huesos y cueros de los bovinos (Anal y Singh, 2007; Boran *et al.*, 2010; Pranoto *et al.*, 2011). La gelatina tiene diferentes propiedades, es el único hidrocoloide que es una proteína y que se funde de forma reversible por debajo de la temperatura corporal (Anal y Singh, 2007; Boran *et al.*, 2010). Es de los materiales más utilizados en la industria alimentaria, farmacéutica, médica, cosmética y de la fotografía. La gelatina es el material más usada para la formación de cápsulas para medicamentos (Anal y Singh, 2007; Wangtueai *et al.*, 2010). Igualmente se ha evaluado su uso para encapsular vitamina A y la efectividad que tiene, mediante el secado por aspersión en mezclas de gelatina-goma de durazno y gelatina-goma de melocotón, mostrando que la mejor mezcla fue la de gelatina-goma de melocotón obteniendo una

retención de vitamina del 97.4% a diferencia de la mezcla gelatina-goma de durazno que tuvo un 94.7% (Xie *et al.*, 2006). da Costa *et al.* (2011) evaluaron el efecto que tienen las matrices de gelatina-azúcar e inulina-harina de arroz para encapsular aceite esencial de orégano por el método de secado por aspersión y liofilización, observaron que la mezcla de gelatina-azúcar utilizando liofilización presentó una alta actividad antioxidante y antimicrobiana durante un periodo de 2 meses. Otro estudio utilizó a la gelatina como recubrimiento de microesferas de alginato para encapsular al probiótico *Bifidobacterium adolescentis* 15703T, con el objetivo de aumentar la supervivencia durante la simulación de su paso por el tracto gastrointestinal, demostrando que al recubrir las perlas de alginato con gelatina, favoreció la viabilidad y supervivencia del probiótico con una población de 7.6×10^{10} UFC/g a diferencia de las perlas de alginato sin recubrir, que tuvieron una población de 6.4×10^7 UFC/g (Annan *et al.*, 2008).

2.4. Almidón

Es un polisacárido que consiste en un gran número de unidades de glucosa unidas por enlaces glucosídicos. El almidón se compone principalmente de amilosa y amilopectina (Anal y Singh, 2007; Niebla, 2009). El almidón resistente es el que no es digerido por las enzimas pancreáticas (amilasas) en el intestino delgado y puede llegar al colon donde se fermenta; esta especificidad proporciona una buena característica de protección al utilizarse como material encapsulante y una mejor liberación de los probióticos o componentes activos en el intestino grueso (Anal y Singh, 2007; Niebla, 2009). Además, por su funcionalidad como agente prebiótico, el almidón resistente puede ser utilizado por los probióticos que se encuentran en el intestino grueso, por lo que es ideal para la encapsulación (Burgain *et al.*, 2011). Esta clase de almidones (nativos o

modificados) por su tipo y estructura, se utilizan para encapsular sabores (Niebla, 2009; Burgain *et al.*, 2011). El almidón de maíz liofilizado se ha sido utilizado como material de revestimiento de cápsulas de alginato, ya que mejora la resistencia de las cápsulas durante la simulación a la exposición de las enzimas pancreáticas (Mortazavian *et al.*, 2007).

2.5. Gomas

Las gomas son polisacáridos de alto peso molecular, son obtenidas de plantas o por microorganismos. Tiene características hidrofilicas o hidrofóbicas, usualmente, tienen propiedades coloidales, con capacidad de producir geles al combinarse con solventes apropiados, tienen la capacidad de dispersar en agua fría o caliente, producen soluciones o mezclas viscosas. Entre las gomas más utilizadas como material de encapsulación se encuentran la goma xantana, la goma arábiga y la *k*-carragenina (Pasquel, 2001).

2.5.1. Goma xantana

Es un hetero-polisacárido producido por la bacteria *Xanthomonas campestris* (Gebelein y Carraher, 1994). Es utilizada en numerosas aplicaciones en las industria alimentaria y química como un agente espesante, estabilizante y emulsionante (Ahmed *et al.*, 2005; Parra, 2010; Seyed *et al.*, 2011). Otra de sus aplicaciones es ser utilizado como agente de encapsulación para diferentes biocomponentes. McMaster *et al.* (2005) realizaron una microencapsulación de *Bifidobacterium lactis* con una mezcla de goma xantana-goma gellan, utilizando una técnica de ultrasonido; demostraron una alta supervivencia de *B. lactis* durante un periodo de 21 días, almacenadas a 4 y 22 °C con una población de 1.0×10^{10} UFC/g y 1.1×10^{11} UFC/g, respectivamente en un yogur. Por otro lado se han utilizado diferentes mezclas de gomas de origen microbiano (goma xantana,

gellan, pullulan y jamicán), para encapsular a *L. plantarum* CRL 1815 y *L. rhamnosus* ATCC 53103 y determinar la efectividad que tienen como agentes encapsulantes durante el paso por el tracto gastrointestinal; los resultados indicaron que la mezcla con xantana (1%) y gellan (0.75%) prolongan la viabilidad de *L. plantarum* CRL 1815 y *L. rhamnosus* ATCC 53103 por 6 h al exponerlas a sales biliares y pancreatina (Jiménez-Pranteda *et al.*, 2011). Otros investigadores estudiaron la resistencia de *L. acidophilus* LA14 y *B. lactis* BI07 en diferentes sistemas encapsulantes, utilizando alginato como base principal, goma xantana y acetato ftalato de celulosa en diferentes proporciones por los métodos de extrusión, liofilización y secado por aspersión, mostrando que al incorporar 0.5 ó 1.0% de xantana y 3% de acetato ftalato de celulosa en mezcla con alginato, aumentaron la supervivencia de los probióticos en condiciones ácidas en un 63, 71 y 91% respectivamente por cada método (Albertini *et al.*, 2010).

2.5.2. Goma arábiga

Es el exudado natural de la Acacia de Senegal, es un heteropolisacárido de alto peso molecular, está formado por una cadena lineal de moléculas de D-galactosa unidas por enlaces β -1,4 y β -1,6 (Ahmed *et al.*, 2005; Lopera *et al.*, 2009; Parra, 2010). La goma arábiga por sus características estructurales presenta un carácter anfifílico, lo que le permite absorber en superficies lipofílicas y actuar como coloide protector; como un buen agente formador de cápsulas y películas (Cubero *et al.*, 2002; Yuliani *et al.*, 2004; Lopera *et al.*, 2009). Rascon *et al.* (2011) utilizaron la goma arábiga para retener y estabilizar carotenoides de paprika, por el método de secado por aspersión, mostrando que un polvo con una a_w de 0.274 posee la máxima estabilidad al prevenir la oxidación de los carotenoides. Por otro lado Pitalua *et al.* (2010) encapsularon jugo de betabel con goma

árabiga, por el método de secado por aspersión a diferentes a_w (0.110, 0.326, 0.521, 0.748 y 0.898), para observar su actividad antioxidante, mostrando que los polvos con una a_w de 0.110, 0.326 y 0.521 no presentaron diferencia significativa entre ellas, sin embargo entre a_w 0.748 y 0.898 incrementa la actividad antioxidante y disminuye la concentración de las betalaínas, protegiendo al agente antioxidante por 8 semanas. En otro estudio se microencapsuló oleoresina de cardamomo utilizando mezclas binarias de goma arábiga (GA), maltodextrina (MD) y almidón modificado (AM), a diferentes proporciones (25:75 (GA:MD), 50:50 (GA:MD), 75:25 (GA:MD), 25:75 (GA:AM), 50:50 (GA:AM) y 75:25 (GA:AM)), por el método de secado por aspersión, para protegerla de la luz, la temperatura y el oxígeno; encontrado que las mezcla de 75:25 (GA:MD), 25:75 (GA:AM) y 25:75 (GA:MD), fueron las que presentaron una mejor estabilidad y protección del componente durante 6 semanas (Krishnan *et al.*, 2005). Chee-Teck (1998) utilizó la goma arábiga como material de revestimiento para encapsular aceite de naranja por el método de emulsión, demostrando que durante 90 días la emulsión fue estable en una solución de azúcar, por lo cual se puede utilizar como base para la preparación de bebidas no alcohólicas. Otros autores microencapsularon un derivado de la Zn-clorofila extraído de la hoja Pandan utilizado como colorante verde, con goma arábiga, maltodextrina y almidón modificado como agentes encapsulantes por el método de secado por aspersión, mostrando que el mejor encapsulante fue el almidón modificado ya que no presentó degradación del pigmento a diferencia de los demás agentes encapsulantes durante un periodo de almacenamiento de 16 semanas (Porrarud y Pranee, 2010). Por otro lado Li *et al.* (2011) formaron emulsiones múltiples con una mezcla de proteína de suero de leche y polisacáridos (goma arábiga y goma guar a diferentes proporciones 5:0.1, 5:0.2, 5:0.3, 5:0.4, 5:0.5), encapsulando vitaminas E

y B₂ para determinar la protección de las cápsulas a diferentes proporciones. Demostraron que al aumentar la concentración de la mezcla 0.1 a 0.5 de la goma guar incrementa la protección de la encapsulación de 73 a 88% de retención de las vitaminas E y B₂.

2.5.3. Carragenina

Es un polisacárido natural de alto peso molecular, se encuentra presente en la estructura de ciertas variedades de algas rojas, posee un contenido de éster sulfato del 15% al 40% formado por unidades alternadas de D-galactosa y 3,6-anhidro-galactosa, unidas por enlaces α -1,3 y β -1,4 (Gebelein y Carraher, 1994). La posición y el número de grupos de éster sulfato así como el contenido de 3,6-anhidro-galactosa determinan las diferencias primarias entre los tipos de carragenina kappa, iota y lambda (Anal y Singh, 2007; Nickerson *et al.*, 2010; Burgain *et al.*, 2011). De acuerdo al tipo de carragenina actúa como gelificante, retenedor de humedad, espesante, agente de suspensión y estabilizante (Anal y Singh, 2007; Nickerson *et al.*, 2010; Burgain *et al.*, 2011). Jones *et al.* (2010) utilizaron a la *k*-carragenina y pectina de alto y bajo metoxilo para encapsular a la β -lactoglobulina y determinar el efecto que pueden tener el agente encapsulante y el agente activo. Asimismo evaluaron el grado de desnaturización de la proteína mediante la aplicación de calor y de enzimas, demostrando que la *k*-carragenina en presencia del agente activo no presentó deterioro en ambas condiciones. Mientras que las cápsulas elaboradas con pectinas de alto y bajo metoxilo fueron degradadas por las enzimas evaluadas. Dinakar y Mistry (1994) reportaron que al encapsular *Bifidobacterium bifidum* ATCC 15696 con *k*-carragenina, las células permanecieron viables y no tuvieron efecto en el proceso de elaboración y de maduración del queso cheedar por un periodo de 24 semanas. Otros autores encapsularon *Streptococcus*

salivarius subsp. *thermophilus* y *L. casei* con una mezcla de *k*-carragenina-goma de algaborro, para determinar el comportamiento de la difusión de las perlas en una solución de lactosa y agua, así como la viabilidad después de la encapsulación, mostrando que las perlas presentaron una mayor difusión en agua que en una solución de lactosa, para los dos microorganismos y obteniendo una viabilidad de 5.0×10^9 UFC/g (*S. salivarius*) y 1.8×10^{11} UFC/g (*L. casei*) una vez encapsulados (Arnaud y Lacroix, 2004).

2.6. Pectina

Es un polisacárido de alto peso molecular que se encuentra en los tejidos vegetales, como los de las frutas. Está compuesto de polímeros de ácido D-galacturónico, es un complejo aniónico y se clasifican como pectinas de alto metoxilo (para formar el gel se necesita un pH bajo) y pectinas de bajo metoxilo (forman un gel en contacto con cationes divalentes tales como iones Ca^{2+}) (Villada *et al.*, 2002; Ramos-García *et al.*, 2010). Los recubrimientos hechos a base de pectinas han sido los más utilizados para recubrir frutos y otros componentes activos, y esto se debe a las propiedades mecánicas de adherencia y flexibilidad en la superficie (Villada *et al.*, 2002; Ramos-García *et al.*, 2010; Brusch y Záchia, 2011; Pliszczak *et al.*, 2011). Mendarha *et al.* (2009) microencapsularon un hidrolizado de caseína por el método de coacervación, utilizando como material encapsulante una mezcla de pectina-proteína aislada de soya, para enmascarar su sabor amargo así como protegerlo de la humedad, logrando atenuar el sabor y reducir su higroscopicidad al compararlo con el no encapsulado. Por otro lado Pozippe *et al.* (2011) encapsularon el extracto de propóleo por el método de coacervación, utilizando la mezcla de pectina-proteína aislada de soya, obteniendo un polvo con características antioxidantes y antimicrobianas contra *Staphylococcus aureus* en alimentos,

omitiendo así el uso de alcohol como agente solubilizante del propóleo. Otro estudio inmovilizó *L. casei* en perlas hechas a base de pectina de bajo metoxilo y alginato de sodio, a diferentes proporciones (2:1, 4:1 y 6:1), reportando la mayor supervivencia del probiótico a una proporción de 6:1 cuando fue adicionado a yogur y al simular su paso por el tracto gastrointestinal (Sandoval-Castilla, 2010). En la encapsulación de *L. casei* con una mezcla de pectina-caseína, con el método de coacervación, observaron una alta compatibilidad entre el probiótico y el material de revestimiento; sin embargo, no se logró proteger al probiótico cuando se colocó en un ambiente con pH similar al del estómago humano (Oliveira *et al.*, 2007).

2.7. Proteínas

Existen diferentes tipos de proteínas que se utilizan como agentes encapsulantes como son las lácteas y las de origen vegetal (Burgain *et al.*, 2011). Las proteínas lácteas son vehículos naturales debido a sus propiedades estructurales y fisicoquímicas, y se utilizan en una gran diversidad de productos (Tharanathan, 2003). Las proteínas de suero de leche forman películas transparentes, insípidas y flexibles, con una buena resistencia a la transferencia de oxígeno, aromas y lípidos (Ryu *et al.*, 2002; Villada *et al.*, 2002; Tharanathan, 2003; Wang *et al.*, 2004; Chen *et al.*, 2006; Sánchez *et al.*, 2007; Burgain *et al.*, 2011). Por otro lado se encapsuló aceite omega-3 de pescado con proteína de leche, logrando así estabilizarlo y evitar su oxidación al incorporarlo en un alimento (Torres-Giner *et al.*, 2010). Molina *et al.* (2009) encapsularon al hidrolizado de caseína, utilizando al aislado de proteína de soya como agente encapsulante, para enmascarar el sabor amargo del hidrolizado, lográndose dicho objetivo al evaluar sensorialmente las cápsulas con una prueba hedónica. Se encapsularon *Bifidobacterium breve* R070 y *Bifidobacterium longum* R023 con grasa de

leche y proteína de suero de leche utilizando el método de emulsión y/o secado por aspersión, mostrando que después de la segunda técnica la supervivencia fue de 1.7×10^9 UFC/g y 8.1×10^7 UFC/g para *B. breve* R070 y *B. longum* R023, respectivamente. Además se evaluó la viabilidad de estos microorganismos con y sin encapsulación en un yogur durante 28 días, observado que los encapsulados tuvieron una mayor viabilidad y supervivencia (Picot y Lacroix, 2004). Por otro lado el caseinato de sodio se utilizó como agente encapsulante para proteger aceites esenciales (canela y jengibre) del vapor de agua y la oxidación; sin embargo, no fue posible mejorar su estabilidad (Atarés *et al.*, 2010).

Conclusiones

La encapsulación es una técnica que permite la preservación o protección de un gran número de compuestos activos; tales como aceites esenciales, microorganismos probióticos, enzimas, pigmentos vegetales, minerales, vitaminas y aditivos alimenticios. Los principales agentes utilizados para encapsular son alginato, quitosano, gelatina, goma xantana, goma arábiga y proteínas (animal y vegetal). La encapsulación se lleva a cabo a través de procesos físicos o mecánicos; las técnicas más usadas son el secado por aspersión, extrusión y gelificación iónica. Existen pocos estudios sobre la encapsulación múltiple; así como los materiales compatibles para dicha encapsulación. Es de suma importancia el conocimiento de las propiedades y características de los materiales para la formación de las cápsulas así como de sus aplicaciones en la industria alimenticia.

Agradecimientos

A. García-Ceja agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y a la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP), por el apoyo y financiamiento para sus estudios de posgrado.

Referencias

Ahmed, J., Ramaswamy, H. S. y Ngadi, M. O, 2005. Rheological characteristics of arabic gum in combination with guar and xanthan gum using response surface methodology: effect of temperature and concentration. *International Journal of Food Properties.* (8): 179–192.

Albertini, B., Vitali, B., Passerini, N., Cruciani, F., Di Sabatino, M., Rodriguez *y* L., Brigidi P., 2010. Development of microparticulate systems for intestinal delivery of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium lactis*. *European Journal of Pharmaceutical Sciences.* 40) 359–366.

Anal, A. y Singh, H., 2007. Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery. *Food Science & Technology.* (18): 240-251.

Annan, N.T., Borza, A.D., y Truelstrup Hansen L., 2008. Encapsulation in alginate-coated gelatin microspheres improves survival of the probiotic *Bifidobacterium adolescentis* 15703T during exposure to simulated gastro-intestinal conditions. *Food Research International.* (41): 184–193.

Arnaud, J. P. y Lacroix, C., 2004. Diffusion of lactose in *k*-carrageenan/locust bean gum gel beads with or without entrapped growing lactic acid bacteria. *Biotechnology and Bioengineering.* 38 (9): 1041-1049.

Arzate-Vázquez I., Chanona-Pérez, J., Calderón-Domínguez, G., Terres-Rojas, E., Garibay-Febles, V., Martínez-Rivas, A. y Gutiérrez-López., G., 2012. Microstructural characterization of chitosan and alginate films by microscopy techniques and texture image analysis. *Carbohydrate Polymers.* (142): 185-189.

Atarés, L., Bonilla, J. y Chiralt, A., 2010. Characterization of sodium caseinate-based edible films incorporated with cinnamon or ginger essential oils. *Journal of Food Engineering*. (100): 678-687.

Boran, G. G., Lawless, H. T. y Jones J. M., 2010. Regenstein effects of extraction conditions on the sensory and instrumental characteristics of fish gelatin. *Journal of Food Science*. (75): 9-15.

Brusch, G. B. y Záchia, A. M. A., 2011. Effect of microencapsulation on survival of *Lactobacillus plantarum* in simulated gastrointestinal conditions, refrigeration and yogurt. *Journal of Food Engineering*. (103): 123-128.

Burgain, J., Gaiani, C., Linder, M. y Scher, J., 2011. Encapsulation of probiotic living cells: from laboratory scale to industrial applications. *Journal of Food Engineering*. (104): 467-483.

Chee-Teck, T., 1998. Beverage flavor emulsion - a form of emulsion liquid membrane microencapsulation. *International Flavors & Fragrances*. (1): 29-42.

Chen, L., Remondetto, G. E. y Subirade, M., 2006. Food protein-based materials as nutraceutical delivery systems. *Trends in Food Science & Technology*. (17): 272-283.

Cubero, N., Monferrer, A. y Villalta, J., 2002. Aditivos alimentarios. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España, 242 p.

da Costa, S. B., Duarte, C., Bourbon, A. I., Pinheiro, A. C., Serra, A.T., Martins M. M., Nunes, J. M. I., Vicente, A. A., Delgadillo, I., Duarte, C. y da Costa, M. L. B., 2011. Effect of the matrix system in the delivery and in vitro bioactivity of microencapsulated oregano essential oil. *Journal of Food Engineering*, doi:10.1016/j.jfoodeng.2011.05.043.

Deladino L., Anbinder, P. S., Navarro A. S. y Martino M. N., 2008. Encapsulation of natural antioxidants extracted from (*Ilex paraguariensis*). *Carbohydrate Polymers*. (71): 126-134.

Dinakar, P. y Mistry, V.V., 1994. Growth and viability of *Bifidobacterium bifidum* in cheddar cheese. *Journal of Dairy Science*. 77 (10): 2854-2864.

Favarro-Trindade C.S., Santana, A.S., Monterrey-Quintero E.S., Trindade, M.A. y Netto, F.M., 2010. The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate. *Food Hydrocolloids*. (24): 336-340.

Gebelein, C. G. y Carraher, C. E. Jr. 1994. *Biotechnology and bioactive polymers*. First edition. Plenum Press. Florida, EE.UU, 342 p.

Ghodke S. K., 2009. Effect of guar gum on dough stickiness and staling in chapatti- an Indian unleavened flat bread. *International Journal of Food Engineering*. 5 (3): 7-15.

Given, P. S. J., 2009. Encapsulation of flavors in emulsions for beverages. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. (14): 43-47.

Han, J., Guenier, A., Salmieri, S. y Lacroix, M., 2008. Alginate and chitosan functionalization for micronutrient encapsulation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. (56): 2528-2535.

Harris, R., Lecumberri, E., Mateos-Aparicio, I., Mengíbar, M. y Heras, A., 2011. Chitosan nanoparticles and microspheres for the encapsulation of natural antioxidants extracted from *Ilex paraguariensis*. *Carbohydrate Polymers*. (84): 803-806.

Jiménez-Pranteda, M. L., Poncelet, D., Náder-Macías, M. E, Arcos, A., Aguilera, M., Monteoliva-Sánchez, M. y Ramos-Cormenzana, A., 2011. Stability of lactobacilli encapsulated in various microbial polymers. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. doi:10.1016/j.jbiosc.2011.10.010.

Jones, O., Decker, E. A. y McClements, D. J., 2010. Thermal analysis of b-lactoglobulin complexes with pectins or carrageenan for production of stable biopolymer particles. *Food Hydrocolloids*. (24): 239-248.

Kailasapathy, K., Perera, C., y Phillips, M. 2006. Evaluation of alginate-starch polymers for preparation of enzyme microcapsules. *International Journal of Food Engineering*. 2 (2): 1-13.

Kashappa, G., Desai, H., Park y H. J., 2005. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Drying Technology*. (23): 1361-1394.

Katouzi, S., Majd, A., Fallahian, F. y Bernard, F., 2011. Encapsulation of shoot tips in alginate beads containing salicylic acid for cold preservation and plant regeneration in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Australian Journal Of Crop Science*. 5 (11): 1469-1474.

Krasaekoopt, W., Bhandari, B. y Deeth, H. C., 2004. The influence of coating materials on some properties of alginate beads and survivability of microencapsulated probiotic bacteria. *International Dairy Journal*. (14): 737-743.

Krasaekoopt, W., Bhandari, B. y Deeth, H. C., 2005. Survival of probiotics encapsulated in chitosan-coated alginate beads in yoghurt from UHT- and conventionally treated milk during storage. *LWT*. (39): 177-183.

Krishnan, S., Bhosale, R. y Singhal, R. S., 2005. Microencapsulation of cardamom oleoresin: evaluation of blends of gum arabic, maltodextrin and a modified starch as wall materials. *Carbohydrate Polymers*. (61): 95-102.

Lakkis, J., 2007. *Encapsulation and controlled release technologies in food systems*. First edition. Blackwell Publishing. New York, EE.UU, 239 p.

Li, B. G., Zhang, Y. . Zhang, W. J. y Hua, Z., 2008. Supercritical CO₂ spray drying of ethyl cellulose (EC) for preparing microparticles. *Drying Technology*. (26): 464-469.

Li, B., Jiang, Y., Liu, F., Chai, Z., Li, Y. y Leng, X., 2011. Study of the encapsulation efficiency and controlled release property of whey protein isolate—polysaccharide complexes in w1/o/w2 double emulsions. *International Journal of Food Engineering*. 7 (3): 14-20.

Li, X. Y., Jin, L. J., Uzonna, J. E., Li, S.Y., Liu, J. J., Li, H. Q., Lu, Y. N., Zhen, Y. H. y Xu Y. P., 2009. Chitosan-alginate microcapsules for oral delivery of egg yolk immunoglobulin (IgY): In vivo evaluation in a pig model of *Enteric colibacillosis*. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 4 (129): 132-136.

Li, Y., Hu, M., Xiao H., Dua, Y., Decker, E. A. y McClements, D. J., 2010. Controlling the functional performance of emulsion-based delivery systems using multi-component biopolymer coatings. *European Journal of Pharmaceutics*. (76): 152-162.

Lian, W.C., Hsiao, H. C. y Chou, C. C., 2003. Viability of microencapsulated *Bifidobacteria* in simulated gastric juice and bile solution. *International Journal of Food Microbiology*. 86 (3): 293-301.

Lin, J., Yu, W., Liu, X., Xie, H., Wang, W. y Ma, X., 2008. In vitro and in vivo characterization of alginate-chitosan-alginate artificial microcapsules for therapeutic oral delivery of live bacterial cells. *Journal of Bio Science and Bioengineering*. 105 (6): 660-665.

Lopera, C. M. S., Guzmán O. C., Cataño R. C. y Gallardo C. C., 2009. Desarrollo y caracterización de micropartículas de ácido fólico formadas por secado por aspersión, utilizando goma arábica y maltodextrina como materiales de pared. *Vitae*. 16 (1): 55-65.

McMaster, L. D., Kokottl, S. A., y Slatter, P., 2005. Micro-encapsulation of *Bifidobacterium lactis* for incorporation into soft foods. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*. (21): 723-728.

Mendanha, D. V., Molina, O. S. E., Favaro-Trindade, C.S., Mauri, A., Monterrey-Quintero, E. S. y Thomazini, M., 2009. Microencapsulation of casein hydrolysate by complex coacervation with spi/pectin. *Food Research International*. (42): 1099-1104.

Mokarram, R. R., Mortazavi, S. A., Najafi, M. B. H. y Shahidi, F., 2009. The influence of multi stage alginate coating on survivability of potential probiotic bacteria in simulated gastric and intestinal juice. *Food Research International*. (42): 1040-1045.

Molina, O. S. E., Mauri, A. Monterrey-Quintero, E.S., Trindade M. A. Santana A.S., Favaro-Trindade C. S., 2009. Production and properties of casein hydrolysate microencapsulated by spray drying with soybean protein isolate. *Food Science and Technology*. (42): 919-923.

Mortazavian, A., Hadi Razavi, Mohammad S., Ehsani, R. y Sohrabvandi, S. 2007. Principles and methods of microencapsulation of probiotic microorganisms. *Iranian Journal of Biotechnology*. 5 (1): 154-165.

Nazzaro, F., Orlando, P., Fratianni, F. y Coppola, R., 2011. Microencapsulation in food science and biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology*. (23): 1-5.

Nickerson, M. T., Darvesh, R. y Paulson A. T., 2010. Formation of calcium-mediated junction zones at the onset of the sol-gel transition of commercial κ-carrageenan solutions. *Journal of Food Science*. 75 (3): 156-163.

Niebla, B. L., 2009. Evaluación de encapsulamiento de compuestos de sabor en matrices de almidón. Tesis de maestría, *Instituto Politécnico Nacional*, México. 97 p.

Oliveira, A. C., Moretti, T. S., Boschini, C., Baliero, J. C. C., Freitas, L. A. P. Freitas, O. y Favaro-Trindade, C. S., 2007. Microencapsulation of *B. lactis* (BI 01) and *L. acidophilus* (LAC 4) by complex coacervation followed by spouted-bed drying. *Drying Technology*. (25): 1687-1693.

Parra, H. R.A., 2010. Food Microencapsulation: Review. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*. 63 (2): 5669-5684.

Pasquel, A., 2001. Gomas: una aproximación a la industria de alimentos *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*. 1 (1): 1-8.

Penichea, C., Howlandb, I., Carrilloc, O., Zaldi'varc, C. y Arguelles-Monald, W., 2004. Formation and stability of shark liver oil loaded chitosan/calcium

alginate capsules. *Food Hydrocolloids.* (18): 865-871.

Picot, A. y Lacroix, C., 2004. Encapsulation of bifidobacteria in whey protein-based microcapsules and survival in simulated gastrointestinal conditions and in yoghurt. *International Dairy Journal.* (14): 505-515.

Pitalua E., Jimenez, M. O., Vernon-Carter, E. J. y Beristain, C. A., 2010. Antioxidative activity of microcapsules with beetroot juice using gum arabic as wall material. *Food and Bioproducts Processing*. 8 (8): 253-258.

Pliszczak, D., Bourgeois, S., Bordes, C., Valour, J. P., Mazoyer, M. A., Orecchioni, A.M., Nakache. E. y Lantéri, P., 2011. Improvement of an encapsulation process for the preparation of pro-prebiotics-loaded and bioadhesive microparticles by using experimental design. *European Journal of Pharmaceutical Sciences.* (44): 83-92.

Porrarud, S. y Pranee, A., 2010. Microencapsulation of Zn-chlorophyll pigment from pandan leaf by spray drying and its characteristic. *International Food Research Journal.* (17): 1031-1042.

Pozippe, N. M., Favaro-Trindade , C. S., Matias de Alencar, S., Thomazini, M., de Camargo, B. J. C. y Contreras Castillo. C. J., 2011. Microencapsulation of propolis extract by complex coacervation. *Food Science and Technology.* (44): 429-435.

Prakash, S. y Soe-Lin, H., 2004. Strategy for cell therapy: polymers for live cell encapsulation and delivery. *Trends Biomater. Artif. Organs.* 18 (1): 24-35.

Pranoto, Y., Marseno, D. W. y Rahmawati, H., 2011. Characteristics of gelatins extracted from fresh and sun-dried seawater fish skins in Indonesia. *International Food Research Journal.* 18 (4): 1335-1341.

Ramos-García, M. L., Bautista-Baños, S., Barrera-Necha, L. L., Bosquez-Molina, E., Alia-Tejacal, I. y Estrada-Carrillo, M., 2010. Compuestos antimicrobianos adicionados en recubrimientos comestibles para uso en productos hortofrutícolas. *Revista Mexicana de Fitopatología.* 28 (1): 44-57.

Rascón, M. P., Beristain, C. I., García, H. S. y Salgado, M. A., 2011. Carotenoid retention and storage stability of spray-dried encapsulated paprika oleoresin using gum arabic and soy protein isolate as wall materials. *Food Science and Technology.* (44): 549-557.

Rodrigues, D., Rocha-Santos, T., Sousa, S., Gomes, A., Pintado, M. M., Malcata, F. X., Sousa, L. J. M., Silva, J. P., Paulo Costa, Amaral M. H. y Freitas, A. C., 2011. On the viability of five probiotic strains when immobilized on various polymers. *International Journal of Dairy Technology.* 64: (1) 156-159.

Ruiz, M. A., Martín V. M. J., Morales H. M. E., Gallardo, L. V., 2009. Técnicas de microencapsulación: una propuesta para microencapsular probióticos. *Ars pharmaceutica.* 50 (1): 43-50.

Ryu, S., Rhim, J., Roh, H. y Kim, S. 2002. Preparation and physical properties of zein-coated high-amylose corn starch film. *Food Science and Technology.* (35): 680-686.

Sánchez, A., Sibaja, M., Vega-Baudrit, J. y Madrigal S., 2007. Síntesis y caracterización de hidrogeles de quitosano obtenido a partir del camarón langostino (*Pleuroncodes planipes*) con potenciales aplicaciones biomédicas. *Revista Iberoamericana de Polímeros.* 8 (4): 1568-1572.

Sandoval-Castilla, O., Lobato-Calleros, C., García-Galindo, H.S., Alvarez-Ramírez, J. y Vernon-Carter, E. J., 2010. Textural properties of alginate-pectin beads and survivability of entrapped *Lb. casei* in simulated gastrointestinal conditions and in yoghurt. *Food Research International.* (43): 111-117.

Santagapita, R. P., Mazzobre, M. F. y Buera M. P., 2011. Formulation and drying of alginate beads for controlled release and stabilization of invertase. *Biomacromolecules.* (12): 3147-3155.

Saravanan, M. y Rao, K. P., 2010. Pectin-gelatin and alginate-gelatin complex coacervation for controlled drug delivery: Influence of anionic polysaccharides and drugs being encapsulated on physicochemical properties of microcapsules. *Carbohydrate Polymers.* (80): 808-816.

Seyed M.A., Razavi, T. y Moghaddam, M., 2011. Influence of different substitution levels of *Lallemandia royleana* seed gum on textural characteristics of selected hydrocolloids. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry.* 10 (8): 2676-2688.

Sohail, A., Turner, M. S., Coombes, A., Bostrom, T. y Bhandari, B., 2011. Survivability of probiotics encapsulated in alginate gel microbeads using a novel impinging aerosols method. *International Journal of Food Microbiology.* (145): 162-168.

Sossa-Urrego, D., Navarro-Acevedo, M. A., Matiz Villamil, A. M. Mercado-Reyes, B. Quevedo-Hidalgo1, A. y Pedroza-Rodríguez, M., 2008. Immobilization of *bacillus licheniformis* and

saccharomyces cerevisiae for ethanol production from potato starch. *Universitas Scientiarum*. 13(2): 149-161.

Tharanathan, R., 2003. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Critical Review in Food Science and Technology*. (14): 71-78.

Tiwaril, B. K., Muthukumarappan, K., O'Donnell1, C.P. y Cullen, P. J., 2010. Rheological properties of sonicated guar, xanthan and pectin dispersions. *International Journal of Food Properties*. (13): 223-233.

Torres-Giner, S., Martinez-Abad, A., Ocio, M. J. y Lagaron J. M., 2010. Stabilization of a nutraceutical omega-3 fatty acid by encapsulation in ultrathin electrosprayed zein prolamine. *Journal of Food Science*. 75 (6): 69-79.

Villada, H. S., Acosta, H. A. y Velasco, J. R., 2002. Biopolymers naturals used in biodegradable packaging. *Revista Temas Agrarios*. 12 (2): 5-13.

Wang, Y., Dave, R. N. y Pfeffer, R., 2004. Polymer coating/encapsulation of nanoparticles using a supercritical anti-solvent process. *Journal of Supercritical Fluids*. (28): 85-99.

Wangtueai, S., Noomhorm, A. y Regenstein, J. M., 2010. Effect of microbial transglutaminase on gel properties and film characteristics of gelatin from lizardfish (*Saurida spp.*) scales. *Journal of Food Science*. 75 (9): 101-109.

Xie, Y. L., Zhou, H. M. y Qian H. F., 2006. Effect of addition of peach gum on physicochemical properties of gelatin-based microcapsule. *Journal of Food Biochemistry*. (30): 302-312.

Yañez, J., Salazar, J., Chaires, L., Jimenez, J., Marquez, M. y Ramos, E., 2002. Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación. *Revista Avance y Perspectiva*. (21): 313-319.

Yua, W., Lina, J., Liub, X., Xiea, H., Zhaoa, W. y Maa, X., 2010. Quantitative characterization of membrane formation process of alginate-chitosan microcapsules by gpc. *Journal of Membrane Science*. (346): 296-301.

Yuliani, S., Bhandari, B., Rutgers, R. y D'Arcy, B., 2004. Application of microencapsulated flavor to extrusion product. *Food Reviews International*. 20 (2): 163-185.

Zhou, Y., Martins, E., Groboillot, A., Champagne, C. P. y Neufeld, R. J., 1998. Spectrophotometric quantification of lactic bacteria in alginate and control of cell release with chitosan coating. *Journal of Applied Microbiology*. (84): 42-348.