

Revisión: Microencapsulación de Alimentos

Food Microencapsulation: A Review

Ricardo Adolfo Parra Huertas¹

Resumen. La microencapsulación es definida como una tecnología de empaquetamiento de materiales sólidos, líquidos o gaseosos. Las microcápsulas selladas puede liberar sus contenidos a velocidades controladas bajo condiciones específicas, y pueden proteger el producto encapsulado de la luz y el oxígeno. La microencapsulación consiste en micropartículas conformadas por una membrana polimérica porosa contenedora de una sustancia activa. El material o mezclas de materiales a encapsular puede ser cubierto o atrapado dentro de otro material o sistema. Una microcápsula consiste de una membrana semi-permeable, esférica, delgada y fuerte alrededor de un centro solido/líquido. Los materiales que se utilizan para el encapsulamiento pueden ser gelatina, grasas, aceites, goma arábica, alginato de calcio, ceras, almidón de trigo, maíz, arroz, papa, nylon, ciclodextrina, maltodextrina, caseinato de sodio, proteína de lactosuero o proteína de soya. Las aplicaciones de la microencapsulación se dirigen a la industria, se da a la industria textil, metalúrgica, química, alimenticia, cosméticos, farmacéutica y medicina. Dentro de las técnicas utilizadas para microencapsular se encuentran el secado por aspersión, secado por enfriamiento, secado por congelamiento, coacervación y extrusión. Las sustancias que se microencapsulan pueden ser vitaminas, minerales, colorantes, prebióticos, probióticos, sabores nutraceúticos, antioxidantes, olores, aceites, enzimas, bacterias, perfumes, drogas e incluso fertilizantes.

Palabras clave: Técnicas de encapsulación en alimentos, teoría de encapsulación.

Abstract. Microencapsulation is defined as a technology of packaging solids, liquids or gases. The microcapsules can release their contents sealed at controlled rates under specific conditions, and can protect the encapsulated product of light and oxygen. Microencapsulation is formed by a micro-porous polymeric membrane of an active substance container. The material or mixture of encapsulating materials can be coated or entrapped within another material or system. A microcapsule consist of a semi-permeable membrane, spherical, thin and strong center around a solid / liquid. The materials used for micro encapsulation can be gelatin, fats, oils, arabic gum, calcium alginate, waxes, wheat starch, corn, rice, potato, nylon, cyclodextrin, maltodextrin, sodium caseinate, whey protein or soy protein. Microencapsulation applications are aimed at textile industry, metallurgical, chemical, food, cosmetics, pharmaceuticals and medicine. Among the techniques used for microencapsulation are spray drying, drying, chilling, freeze drying, coacervation and extrusion. The substances that can be microencapsulated are vitamins, minerals, dyes, prebiotics, probiotics, flavors, nutraceuticals, antioxidants, odors, oils, enzymes, bacteria, perfumes, drugs and even fertilizers.

Key words: Encapsulation techniques in food, encapsulation theory.

El objetivo de este trabajo fue realizar una revisión de la importancia de la microencapsulación en alimentos, explicar los agentes encapsulantes empleados como polisacáridos dentro los cuales se destacan almidón, maltodextrina, jarabe de maíz, goma arábica, agar, fibras y carbometilcelulosa; lípidos como ácido esteárico, mono y diglicéridos y lecitinas y proteínas como la gelatina, caseína, lactosuero, soya, trigo; y detallar los principales métodos empleados para encapsular: liposomas, coacervación, co-cristalización, secado por aspersión, extrusión, emulsión, aspersión por enfriamiento o congelamiento e inclusión de complejos.

La encapsulación se puede definir como una técnica por la cual gotas líquidas, partículas sólidas o gaseosas, son cubiertas con una película polimérica

porosa conteniendo una sustancia activa (Araneda y Valenzuela, 2009), esta membrana, barrera o película está generalmente hecha de componentes con cadenas para crear una red con propiedades hidrofóbicas y/o hidrofílicas (Fuchs *et al.*, 2006). Se utiliza de igual manera el término de microencapsulación en la industria alimentaria, cuando se encapsulan sustancias de bajo peso molecular o en pequeñas cantidades, aunque los dos términos, encapsulación y microencapsulación, se emplean indistintamente (Yañez *et al.*, 2002).

Entre las primeras aplicaciones prácticas de la microencapsulación se destaca la industria farmacéutica, médica, textil, alimentos (Dutta *et al.*, 2009; Rai *et al.*, 2009), pesticida (Araneda y Valenzuela, 2009; Li *et al.*, 2009), cosmética, química (Fuchs *et al.*, 2006),

¹ Profesor Asistente. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad de Ciencias Básicas. Avenida Central del Norte. Tunja, Colombia. <rparrahuertas@hotmail.com>

Recibido: Abril 27 de 2010; Aceptado: Febrero 9 de 2011.

de imprenta (Madene, Scher y Desobry, 2006) agroquímica (Villamizar y Martínez, 2008) fragancias, tintes, agentes antimicrobianos (Zong *et al.*, 2009) biomédica (Champagne y Fustier, 2007; Luo y Pozrikidis, 2009) y de plásticos (Dutta *et al.*, 2009).

Respecto al área de alimentos, las aplicaciones de esta técnica se han ido incrementando debido a la protección de los materiales encapsulados de factores como calor y humedad, permitiendo mantener su estabilidad y viabilidad. Las microcápsulas, ayudan a que los materiales alimenticios empleados resistan las condiciones de procesamiento y empaque mejorando sabor, aroma, estabilidad, valor nutritivo y apariencia de sus productos (Yañez *et al.*, 2002; Montes, De Paula y Ortega, 2007). Una aplicación especialmente importante en alimentos es la nanoencapsulación que involucra la incorporación, absorción o dispersión, de componentes bioactivos en pequeñas vesículas con diámetro nano (o submicrón) (Bouwmeester *et al.*, 2009), estas nanopartículas encapsuladas en la interfase de gotas de emulsión pueden mejorar la estabilidad y controlar las gotas (Prestidge y Simovic, 2006); y ser utilizadas como transportadores comestibles para componentes de sabor-aroma o para encapsulación o nutraceuticos, así como para mejorar la elasticidad de plásticos y paquetes de alimentos bioactivos (Sozer y Kokini, 2009).

La estructura formada por el agente microencapsulante alrededor de la sustancia microencapsulada (núcleo) es llamada pared, esta protege el núcleo contra el deterioro y liberación bajo condiciones deseadas (Young, Sarda y Rosenberg, 1992; Madene, Scher y Desobry, 2006).

La técnica de microencapsulación ha permitido solucionar algunos problemas limitando las aplicaciones de ingredientes y aditivos alimenticios, puesto que puede controlar la eliminación de saborizantes, así como reducir volatilidad, higroscopicidad y reactividad incrementando la estabilidad de productos bajo condiciones ambientales adversas (Favaro *et al.*, 2010).

Los procesos de encapsulación se pueden dividir en dos: procesos químicos y procesos mecánicos. Los procesos químicos se dividen en las técnicas de coacervación, co-cristalización, polimerización interfacial, gelificación iónica, incompatibilidad polimérica, atrapamiento por liposomas e inclusión molecular; dentro de los procesos mecánicos están las técnicas de secado por aspersión, secado por congelamiento/enfriamiento y extrusión (Madene, Scher y Desobry, 2006; Yañez *et al.*, 2002).

Sustancias que se encapsulan. Los procesos de encapsulación fueron desarrollados entre los años 1930 y 1940 por la National Cash Register para la aplicación comercial de un tinte a partir de gelatina como agente encapsulante (Yañez *et al.*, 2002); su comienzo en los productos de microencapsulación se inició en 1950 en las investigaciones dentro de la presión-sensitiva de cubierta para la elaboración de papel destinado a copias (Madene, Scher y Desobry, 2006).

Hoy en día muchas sustancias pueden ser encapsuladas en partículas en polvo sólidas o ellas pueden ser microencapsuladas en emulsiones estructuradas (Palzer, 2009). A continuación se presentan algunas de ellas: perfumes, fertilizantes, precursores en impresión (Madene, Scher y Desobry, 2006), aceite de limón, fármacos (Muthuselvi y Dhathathreyan, 2006), lípidos, sabores volátiles (Fuchs *et al.*, 2006; Murúa, Beristain y Martínez, 2009), conservación de tejidos (Rai *et al.*, 2009), probióticos (Champagne y Fustier, 2007), prebióticos, nutraceuticos (Ferreira, Rocha y Coelho, 2007; Sozer y Kokini, 2009; Sultana *et al.*, 2003; Bastos, Araujo y Leao, 2009), semillas de frutas como banano, uvas, guayaba, papaya, manzana, mora, granadilla y semillas de cítricos también han sido encapsuladas entre otras sustancias (Rai *et al.*, 2009). Al respecto, la encapsulación ofrece grandes alcances para la conservación, germinación e intercambio de varias especies frutales, resultando en técnica promisoría para la conservación, transporte de plantas transgénicas y plantas no productoras de semillas (Rai *et al.*, 2009), lactasa (Kwak, Ihm y Ahn, 2001), colorantes, enzimas, fitoesteroles, luteína, ácidos grasos, pigmentos vegetales, antioxidantes (Champagne y Fustier, 2007), componentes de aromas y oleorresinas, vitaminas, minerales (Young, Sarda y Rosenberg, 1992; Fuchs *et al.*, 2006).

La microencapsulación de aceites esenciales se constituye en una tecnología interesante utilizada en la industria de alimentos, al prevenir su volatilización y extender la vida útil de estos componentes biológicos (Gonzales *et al.*, 2010; Colin, Nolan y Holub, 2009). Dos experimentos de emulsificación, composición y condiciones de homogenización fueron optimizados para la preparación de una emulsión alimenticia para ser secada por aspersión. El tamaño medio de las gotas de aceite puede estar influenciado por la composición de la emulsión y por la presión de homogenización, pero no por el número de fases. Con un tamaño medio de las gotas de aceite por debajo de 2 μm

y una máxima viscosidad de 179 mPa, emulsiones apropiadas podrían ser producidas con un 50% de aceite y 2,2% de azúcar de remolacha. Parámetros físico-químicos como la morfología de la partícula, tamaño de la partícula y generalmente grasa extraíble, refleja una buena eficiencia en la microencapsulación e indica una buena estabilidad oxidativa (Drusch, 2007). Otro ejemplo de encapsulación es Omega-3 (Shahidi *et al.*, 2008; Kosaraju *et al.*, 2009; Drusch, 2007).

La microencapsulación ha sido exitosamente utilizada para mejorar la sobrevivencia de microorganismos en los productos lácteos protegiendo componentes sensibles en los alimentos (Adhikari *et al.*, 2000; Kailasapathy, 2006; Pimentel *et al.*, 2009) y algunos factores ambientales (Weinbreck, Bodnár y Marco, 2010), por ejemplo calor, oxígeno y humedad (Semyonov *et al.*, 2010), asegurándolos contra la pérdida nutricional e incorporando mecanismos dentro de la formulación (Adhikari *et al.*, 2000; Kailasapathy, 2006). Un ejemplo de lo anterior es el queso en polvo, que se puede utilizar en salsas, aliño, bizcochos, chips y directamente como saborizante en platos calientes como espaguetis y sopas; sin embargo, en la producción una cierta cantidad de aromas durante el secado es inevitable (Pisecky, 2005).

Los quesos madurados, requieren maduración prolongada para desarrollar características como el sabor, textura y aroma deseables; sin embargo, varios métodos como elevación de la temperatura de maduración, utilización de microorganismos iniciadores modificados, adición de cultivos adjuntos y de enzimas exógenas, pueden ser empleados para acelerar la maduración. La adición directa de enzimas a la leche durante la elaboración de quesos, es indeseable debido a la pérdida de enzimas en el lactosuero, distribución pobre, rendimiento reducido y mala calidad de queso. Para solucionar los problemas anteriores, la adición directa de enzimas encapsuladas pueden solucionarlos, esto es debido a que la enzima inmovilizada en microcápsulas es físicamente separada del sustrato de la leche y la mezcla de la cuajada, esto permite que durante la elaboración del queso la enzima sea liberada en la matriz del producto degradándose la cápsula durante la maduración. Un ejemplo de enzimas resaltadoras de sabor encapsuladas son: quimosina, proteinasas y lipasas en liposomas, carragenatos y grasa láctea (Anjani, Kailasapathy y Phillips, 2006).

La viabilidad de *Bifidobacterium bifidum* y *Lactobacillus acidophilus* por cualquier técnica de extrusión o emulsión ha sido monitoreada con éxito en quesos,

al mantener vivas el número de bacterias probióticas. Experimentalmente los quesos conteniendo probióticos microencapsulados no han tenido diferencias con el queso control, en términos de propiedades sensoriales. Se ha demostrado que colonias de *Lactobacillus ramosus* microencapsuladas en una matriz de alginato han mantenido su viabilidad arriba de 48 h a pH 2, caso contrario ocurrió cuando las células libres (sin encapsular) fueron inactivadas completamente bajo estas mismas condiciones (Ozer *et al.*, 2009).

Otro ejemplo relacionado con los productos lácteos es el yogurt, en el cual se microencapsulan bifidobacterias para incrementar la viabilidad en esta bebida fermentada (Adhikari *et al.*, 2000; Kailasapathy, 2006); en el caso del yogurt secado por aspersión después de 6 semanas de almacenamiento a 4 y 21 °C. Esto es debido a que la microencapsulación reduce el daño celular al retener células dentro de materiales encapsulantes (Ranadheera, Baines y Adams, 2010). La microencapsulación de *Bifidobacterium lactis* ha mostrado significativamente altas tasas de sobrevivencia en la presencia de jugos gástricos estimulados y viabilidad considerablemente más alta, durante la vida útil comparada con células libres (Ranadheera, Baines y Adams, 2010).

También el lactosuero, producto líquido obtenido durante la elaboración del queso (Parra, 2009) puede ser secado por aspersión para la producción de lactosuero en polvo y/o concentrados de proteína de lactosuero (Pisecky, 2005).

Recientemente ha surgido un gran interés en pigmentos naturales debido principalmente, a la demanda por productos alimenticios saludables y oportunidades para la innovación en el sector (Parize *et al.*, 2008; Ge *et al.*, 2009). El uso de estos pigmentos requiere de conocimientos químicos de sus moléculas y de su estabilidad, además para adaptarse a las condiciones de utilización durante el procesamiento, empaque y distribución. La industria requiere de tecnologías que protejan los pigmentos naturales del ambiente, debido a su inestabilidad en la presencia de luz, aire, humedad y altas temperaturas. Actualmente, una alternativa es la tecnología de la microencapsulación (Parize *et al.*, 2008).

Carotenoides son utilizados como colorantes en alimentos, bebidas, cosméticos y alimentación animal, principalmente aves de corral y pescado. Durante el procesamiento y almacenamiento, los carotenoides pueden fácilmente reordenarse en diferentes isómeros

geométricos y oxidarse, esto trae como consecuencia la disminución o pérdida del colorante y de sus propiedades biológicas. Las principales alternativas de aplicaciones para incrementar la estabilidad de carotenoides y así permitir su incorporación en ambientes hidrofílicos, es la técnica de microencapsulación a través del método de secado por aspersión denominada secado por aspersión (Larroza y Zerlotti, 2007; Fabra *et al.*, 2009).

Para encapsular el licopeno por desecación o atomización aspersión, se toman 60 g de goma arábica, y sacarosa, se solubilizan en 200 mL de agua a 45 °C manteniendo agitación hasta que alcance una temperatura de 30 °C. Las microcápsulas son preparadas al disolver cristales de licopeno (15 mg) en 20 mL de diclorometano, los cuales son añadidos a la solución de polisacáridos y vigorosamente homogenizado a 7000 rpm por 30 min a temperatura ambiente. Agua destilada (80 mL) se añade hasta alcanzar una solución de sólidos solubles de 20% (p/v) y se mantiene bajo condiciones de agitación durante el proceso. El secador por aspersión es operado a velocidad de flujo de aire de 30 mL/min, entrada y salida de temperaturas de aire de 170 y 113 °C respectivamente y presión de aire de 5 kgf/cm². Las microcápsulas son inmediatamente almacenadas, bajo N₂ en botellas de vidrio a -20 °C (Larroza y Zerlotti, 2007).

Cristales de licopeno son elaborados a partir de tomates (*Lycopersicon esculentum*) frescos, la metodología para la elaboración de estos cristales consiste de 4 pasos: eliminación previa del agua durante 30 min de extracción y 30 mL de etanol comercial. El segundo paso 120 min de extracción con etil acetato. El tercer paso es evaporación completa del solvente en un roto evaporador y la última etapa es la cristalización (Ge *et al.*, 2009).

Reciente interés en el empleo potencial de los pigmentos de las flores de rosas (*Rosa rugosa* Thunb) ha llamado la atención para desarrollar métodos para la extracción y encapsulación de estos pigmentos (Ge *et al.*, 2009).

El método de microencapsulación del pigmento urucú (*Bixa orellana*) puede realizarse utilizando como agente encapsulante quitosano empleando soluciones de 50 mg del pigmento urucú (*Bixa orellana*) y 3 g de quitosano; a la mezcla anterior, se añaden ácido acético 5%, ácido láctico 5% y ácido cítrico 5%, a continuación se homogeniza y seca por aspersión,

a una temperatura de entrada de aire 180 °C y temperatura de salida de aire de 100 °C. La morfología, porosidad y tamaño promedio se analiza con un microscopio electrónico de barrido; para la calificación de color un sistema Lab Hunter es utilizado, consiste de un sistema de coordenadas rectangulares para la definición de color en términos de luminosidad (L*), rojo versus verde y amarillo versus azul (b*) (Parize *et al.*, 2008).

Pigmentos como luteína-enocianina se encapsulan por secado por aspersión, la metodología para encapsular la luteína y enocianina consiste en solubilizar en agua destilada con agitación magnética; se agrega luteína disuelta también en agua destilada con agitación constante, se adiciona NaOH 0,1N hasta pH 10, maltodextrina (10%) y aislado proteico de soja (2%), se homogeniza a través de agitación para posteriormente pasar por el secado por aspersión. La temperatura de entrada puede ser 117 °C y temperatura de salida 75 °C, un flujo de aire de 600 L/h, con una velocidad de alimentación de 5 mL/min y una presión de atomización de 20 psi (Escalona, 2004).

Los pigmentos de nopal (*Opuntia* spp) se pueden encapsular con maltodextrina o inulina, a continuación se describe la metodología: se mezclan 30 g de pigmento de cactus con 15 g de etanol y maltodextrina (6-30%) o inulina (3-15%) con agitación constante; la maltodextrina previamente se hincha en agua destilada por 12 h. En el caso de inulina, esta podría ser calentada a 60 °C, previo a la adición de la pulpa o extracto; la mezcla se homogeniza y se somete al secado por aspersión operado a una temperatura de entrada de rango entre 140-160 °C a 120-160 °C para la maltodextrina y la inulina respectivamente. El flujo de aire, velocidad de alimentación y presión de atomización fue 60 L/h, 10 mL/min y 20 psi, respectivamente, para ambos agentes encapsulantes. Al final se obtiene un polvo que es almacenado en viales o frascos de vidrio limpio y excluido de la luz (Saenz *et al.*, 2009).

Astaxantina, es uno de los varios pigmentos xantofílicos carotenoides encontrados en animales acuáticos como camarón, cangrejo, salmón y algunos otros organismos. La utilidad de la astaxantina es como fuente de pigmentación en la industria de la acuicultura; recientemente, la aplicación de este pigmento ha sido como nutraceutico e ingrediente medicinal para la prevención y tratamiento de varias enfermedades como

cáncer, inflamaciones, infecciones producidas por *Helicobacter pylori* y estrés oxidativo cardiovascular. Investigaciones han demostrado que la astaxantina es significativamente más efectiva que el caroteno y luteína al prevenir la foto-oxidación de la luz ultravioleta de los lípidos, teniendo entre 10 y 100 veces más actividad antioxidante que la vitamina E y caroteno respectivamente. Este pigmento ha sido encapsulado en nanoesferas de etilcelulosa, PCPLC (Poli(etileno oxido)-4-metoxicinamolalatoquitosano), PB4 poli(óxido etileno)-4- metoxicimamo, encontrándose que PCPLC ha tenido buenas características de encapsulación con una eficiencia de 98 %, mientras que con etil-celulosa el rendimiento fue pobre; con PCPLC la astaxantina mostró mínima degradación al calor en contraste con el pigmento sin encapsular el cual fue completamente destruido (Tachaprutinuna *et al.*, 2009).

Las antocianinas son sustancias altamente coloreadas encontradas en las plantas; son utilizadas en preparaciones alimenticias, nutraceúticas y farmacéuticas por tener principalmente los colores rojo, violeta y azul. Los factores que afectan el color y la estabilidad de antocianinas incluyen estructura y concentración, pH, temperatura, luz, presencia de co-pigmentos, enzimas, oxígeno, ácido ascórbico, azúcar y sus productos de degradación, proteínas y dióxido de sulfuro. La microencapsulación al utilizar secado por aspersión, es un método económico para la preservación de colorantes naturales (Ersus y Yurdagel, 2007).

La microencapsulación de *Bifidobacterium lactis* se puede llevar a cabo utilizando gelana (0,1 g) y xantana (0,2 g) con 20 mL de agua destilada. La anterior solución se mezcla utilizando agitador magnético y calentado a 80 °C por 1 h. La mezcla de gel es colocada en autoclave a 121 °C por 15 min. Las células se recolectan por centrifugación a 8000 g por 10 min a 4 °C y el material sedimentado de células se lava tres veces por re-suspensión en alícuotas de 20 mL de agua destilada estéril, seguido por centrifugación. Finalmente, las células se suspenden en agua destilada estéril para obtener un volumen de 2,5 mL. Un mL de este concentrado se mezcla en 20 mL de goma xantana y gelana a 55 °C, pudiéndose estimar el tamaño de la microcápsula que contiene bacterias, por difracción láser (McMaster, Kokott y Mazutti, 2005).

Bacterias probióticas pueden ser también encapsuladas utilizando un polímero de alginato de calcio conteniendo

almidón de maíz como un material de relleno, posteriormente se preparan cápsulas asépticas empleando un método de emulsión para producir cápsulas. Las condiciones estándar utilizadas para la encapsulación fueron 18 g/L de alginato, cultivo bacteriano (aproximadamente 107 UFC/mL), 10 g/L de almidón de maíz, se mezclan los componentes y durante 30 min se compacta en 0,1 mol/L de solución de cloruro de calcio, para posteriormente ser liberadas las bacterias utilizando 0,1 m/L de buffer fosfato (Kailasapathy, 2006). Esta liberación de células probióticas activas en forma microencapsulada, ha recibido atención durante los últimos 10 años, esto reduce pérdida de bacterias sensitivas inducidas por factores externos detrimentales como estrés oxidativo o ácido durante almacenamiento y digestión (Heidebach, Forst y Kulozik, 2010).

Al respecto, también se ha encontrado que la encapsulación de *Bifidobacterium pseudolongum* con talato- acetato de celulosa ha incrementado la sobrevivencia de bacterias bajo condiciones simuladas de ácido gástrico, comparadas con las bacterias no encapsuladas (Sultana *et al.*, 2003). *Lactobacillus acidophilus* ha sido encapsulado en una mezcla de alginato-inulina-goma xantana logrando crecer en jugo de zanahoria y sobrevivir 8 semanas de almacenamiento a 4 °C con exposición a condiciones gastrointestinales. Esta técnica ha protegido a *Lactobacillus acidophilus* al someterlo a estas condiciones de tiempo y almacenamiento obteniéndose alteraciones menores en viabilidad (Ozer *et al.*, 2009).

Minerales como el hierro pueden ser encapsulados en liposomas de lecitina, un ejemplo puede ser la leche con sulfato de hierro encapsulado (Yañez *et al.*, 2002).

Las principales ventajas de la microencapsulación son:

- Proteger el material activo de la degradación producida por el medio ambiente (calor, aire, luz, humedad), etc.
- El compuesto encapsulado se libera gradualmente del compuesto que lo ha englobado o atrapado en un punto determinado.
- Las características físicas del material original pueden ser modificadas y hacer más fácil su manejo (un material líquido convertido a polvo), la higroscopia puede ser reducida, la densidad se modifica y el material

contenido puede ser distribuido más uniformemente en una muestra.

- El sabor y olor del material puede ser enmascarado.
- Puede ser empleado para separar componentes, con el fin de que estos no reaccionen.
- Estabilización de principios activos inestables.
- Transformación de líquidos en sólidos (Astray *et al.*, 2009).

Agentes utilizados para la microencapsulación.

El polivinil alcohol un polímero hidrofílico que puede ser empleado como material formador de pared en capsulas (Leiman *et al.*, 2009), también membranas de nylon han sido utilizadas para encapsular y atrapar enzimas como: la pepsina, pectina esterasa para la clarificación de jugos, la invertasa para la inversión de sacarosa. Otro agente utilizado en la microencapsulación es el quitosano, su uso es bastante amplio en la industria de alimentos, se destaca como antioxidante, antimicrobiano, recuperador de proteínas solubles a partir de residuos de surimi, cubiertas para alimentos comestibles (Klaypradit y Huang, 2008; Marcuzzo *et al.*, 2010; Desai, Liu y Park, 2006), renina para coagulación de leche y caseínas para formar cápsulas artificiales (Yañez *et al.*, 2002; Semo *et al.*, 2007).

El alginato es un polímero extraído a partir de algas y utilizado como un agente encapsulante; tiene como características: no tóxico, biocompatible, y facilidad de solubilización (por Ca^{++} secuestrante) (Nazzaro *et al.*, 2009). Un ejemplo de los alginatos, es el de calcio que ha sido ampliamente utilizado para la inmovilización de bacterias ácido lácticas (BAL), lo anterior debido a la facilidad de manejo, naturaleza no tóxica y bajo costo (Sultana *et al.*, 2003; Ko, Koo y Park, 2008; Bastos, Araujo y Leao, 2009). Estudios han mostrado que cultivos inmovilizados de alginato de calcio son los mejores protectores, esto ha sido evidente al incrementarse la sobrevivencia de bacterias bajo diferentes condiciones de ensayo que cuando las bacterias fueron probadas en el estado no encapsulado (Sozer y Kokini, 2009; Kailasapathy, 2006).

La inmovilización de bacterias en microcápsulas biodegradables genera un adecuado ambiente para su sobrevivencia, proporcionando temporalmente protección de la bacteria inmovilizada del ambiente,

suelo, competidores y depredadores (Takei *et al.*, 2008).

Para la preparación de micropartículas de alginatos, se utiliza agua destilada que contenga 1% (p/v) de alginato de sodio, 5% (v/v) glicerol, 0,15% (v/v) goma xantana y 0,1% (v/v) de Tween 80, la mezcla anterior se homogeniza a 4°C por un día. La sustancia a encapsular es mezclada con 500 mL de solución de alginato y rociado con 0,5 M de CaCl_2 , lo anterior permite formar camas utilizando un aparato atomizador de aire a una presión de 1,0 kg f/cm². Las micropartículas son llevadas a un soporte por 30 min para la gelificación y se lava 2 veces con agua destilada, las cápsulas son separadas por papel filtro y secadas por congelamiento (Ko, Koo y Park, 2008).

Los Eudragit son un grupo de polímeros derivados del ácido metacrílico que están disponibles en diferentes formas iónicas. Son altamente solubles debido a su valor de pH alcalino, y por la neutralización de los grupos carboxilo con la respectiva formación de la sal, y por lo tanto, exhibiendo el carácter de polielectrolito aniónico en solución. Diferentes tipos de Eudragit se han utilizado en la elaboración de micropartículas, permitiendo la liberación de principios activos a nivel intestinal, evitando la inactivación de fármacos en el estómago, por ejemplo, en la preparación de micropartículas que permiten la administración oral de péptidos y proteínas (Villamizar y Martínez, 2008).

Lípidos: dentro de los principales agentes encapsulantes de carácter lipídico están: grasa láctea, lecitinas, ceras, ácido esteárico, monoglicéridos, diglicéridos, parafinas, aceites hidrogenados como el aceite de palma, algodón y soya; son excelentes formadores de películas capaces de cubrir las partículas individuales, proporcionando una encapsulación uniforme (Yañez *et al.*, 2002).

Carbohidratos: son extensivamente empleados en la encapsulación, se utiliza la técnica de secado por aspersión para ingredientes alimenticios como soporte de encapsulamiento, dentro de este amplio grupo se encuentran los almidones, maltodextrinas y gomas (Madene, Scher y Desobry, 2006; Murúa, Beristain y Martínez, 2009).

Almidón: almidones basados en ingredientes (almidones modificados, maltodextrinas, β -ciclodextrinas) son muy utilizados en la industria alimenticia (Madene, Scher y Desobry, 2006; Murúa, Beristain y Martínez, 2009);

dentro de los almidones más importantes se destacan el de papa (*Solanum tuberosum*), maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum aestivum*), arroz (*Oryza sativa*), tapioca (*Manihot esculenta*) (Yañez *et al.*, 2002; Fuchs *et al.*, 2006; Loksuwan, 2007) e inulina (Sáenz *et al.*, 2009).

El almidón nativo y modificado de tapioca, y maltodextrina ha sido investigado por su habilidad de ser utilizado como material de pared para la encapsulación de β -caroteno. Tiene amplia distribución de tamaño, comparado con el almidón nativo y maltodextrina. (Loksuwan, 2007).

Maltodextrinas: se elaboran por métodos de hidrólisis ácida o enzimática de los almidones. En la selección de materiales de pared para encapsular, la maltodextrina es una buena solución entre el costo y la efectividad; tiene baja viscosidad a alta proporción de sólidos, son inodoras, incoloras y de baja viscosidad a altas concentraciones, además permiten la formación de polvos de libre flujo sin enmascarar el sabor original (García *et al.*, 2004), está disponible en diferentes pesos moleculares y son extensivamente utilizados en la industria de alimentos (Madene, Scher y Desobry, 2006; Sáenz *et al.*, 2009).

Gomas: son generalmente insípidas, pero pueden tener un efecto pronunciado en el gusto y sabor de alimentos, son solubles, de baja viscosidad, poseen características de emulsificación y es muy versátil para la mayoría de los métodos de encapsulación (Madene, Scher y Desobry, 2006; Murúa, Beristain y Martínez, 2009). Como ejemplos se tienen goma de algarrobo, guar, goma de tamarindo, goma gelana y xantana (Morkhade y Joshi, 2007); una aplicabilidad ha sido en inmovilización de células bacterianas, para lo cual se han utilizado alginatos y carragenina (McMaster, Kokott y Mazutti, 2005). La goma arábica, un polímero natural biodegradable ha sido utilizado como una matriz para encapsular enzimas como la endoglucanasa producida por la bacteria *Thermomonospora*. La endoglucanasa mostró un cambio en la temperatura óptima (50-55 °C) y un incremento considerable en el pH y estabilidad comparado con la enzima libre, además también protegió la actividad de la enzima en presencia de detergentes realzando la vida útil. Mezclas de goma arábica y maltodextrinas también han mostrado promesa como transportadores de sólidos, proporcionando viscosidad por ejemplo en la microencapsulación de aceite de cardamomo por secado por aspersión (Bertolini, Siani y Grosso *et al.*, 2001; McMaster, Kokott y Mazutti, 2005; Madene, Scher y Desobry, 2006).

Proteínas: alimentos hidocoloides son ampliamente utilizados como microencapsulantes, por ejemplo: proteínas alimenticias como caseinato de sodio, proteína de lactosuero, aislados de proteína de soya (Madene, Scher y Desobry, 2006; Murúa, Beristain y Martínez, 2009), ceras (Fuchs *et al.*, 2006), gluten, grenetina (Yañez *et al.*, 2002), caseína, soya, trigo (Sáenz *et al.*, 2009) y gelatina (Kwak, Ihm y Ahn, 2001), este último utilizado por sus buenas propiedades de emulsificación, formación de películas, solubilidad de agua y biodegradabilidad (Favaro *et al.*, 2010).

Antioxidantes: vitaminas liposolubles (por ejemplo, vitamina A, D, E, K y carotenos) y vitaminas hidrosolubles como vitamina C pueden ser encapsuladas utilizando varias tecnologías. Para la encapsulación de vitamina C, la aspersión por enfriamiento, por congelamiento o recubrimiento de lecho frío, pueden ser utilizada, para posteriormente ser añadida a alimentos sólidos, como barras de cereales, galletas o pan (Schrooyen, Meer y Kruif, 2001).

La vitamina E o tocoferol muestra buena estabilidad en la ausencia de oxígeno; en contraste, la velocidad de degradación de esta vitamina se incrementa en presencia de oxígeno molecular y puede ser especialmente rápida cuando radicales libres están presentes, para evitar esta degradación se puede encapsular el tocoferol protegiéndolo contra la pérdida por la oxidación durante almacenamiento a 35 °C por un periodo menor de 3 meses utilizando una matriz hidrofílica para obtener partículas hidrosolubles. Una vez encapsulado, la adición de α -tocoferol (100 ppm) retrasa la oxidación de aceite de pescado encapsulado en caseinato de sodio con carbohidratos (25-50% p/p de aceite) (Shantha, Weerakkody y Augustin, 2009); sin embargo, medidas adicionales (empaquetamiento, atmósferas neutras) son recomendadas (Fuchs *et al.*, 2006). Aparte del encapsulamiento de aceites, el tocoferol basado en microcápsulas de alginato de sodio, ha sido utilizado como material natural, resistente contra el fluido gástrico simulado (Li *et al.*, 2009).

Se han elaborado microencapsulados a partir de un gran número de frutas y verduras, por ejemplo: jugos de vegetales como tomate, pepino, zanahoria, lechuga, remolacha, espinaca, apio y perejil (García *et al.*, 2004). Sustancias volátiles como aceites de naranja, aldehídos cinámicos, etil butirato, etilpropionato, entre otras pueden ser encapsuladas utilizando goma arábica y maltodextrinas. Este procedimiento puede limitar la degradación de los compuestos mencionados, por pérdidas

durante el procesamiento y almacenamiento (Krasaekoopt, Bhandari y Deeth, 2003; Madene, Scher y Desobry, 2006).

Técnicas de encapsulación. Las técnicas de encapsulación pueden ser divididas en dos grupos: químicos y mecánicos (Madene, Scher y Desobry, 2006). En la Figura 1 se observan los principales métodos que se utilizan para encapsular sustancias.

Procesos químicos

Coacervación. Consiste en un soluto polimérico separado en forma de pequeñas gotas líquidas, que constituye el coacervado. La deposición de este coacervado alrededor de las partículas insolubles dispersas en un líquido forma cápsulas incipientes, que por una gelificación apropiada da las cápsulas finales (Madene, Scher y Desobry, 2006). Es un fenómeno que se presenta en soluciones coloidales y se considera como el método original de encapsulación.

Las estrategias para inducir la coacervación dependen principalmente de las características fisicoquímicas del polímero y del centro a recubrir. Durante la coacervación, la separación de fases es inducida por la adición lenta de un "no-solvente" sobre una solución del polímero formador de cubierta, conteniendo suspendido el material que va a encapsularse. Se entiende por "no-solvente" aquel disolvente que es miscible con el disolvente del polímero y en el cual el polímero es insoluble. A medida que se adiciona el no-solvente se provoca la insolubilización del polímero, el cual, a su vez se va depositando alrededor de las partículas presentes en suspensión. Al final del proceso, se añade un volumen elevado del no-solvente con la finalidad de endurecer las microcápsulas (Villamizar y Martínez, 2008).

Generalmente, el material central utilizado en la coacervación debe ser compatible con el polímero del recipiente y ser insoluble (o apenas insoluble) en el

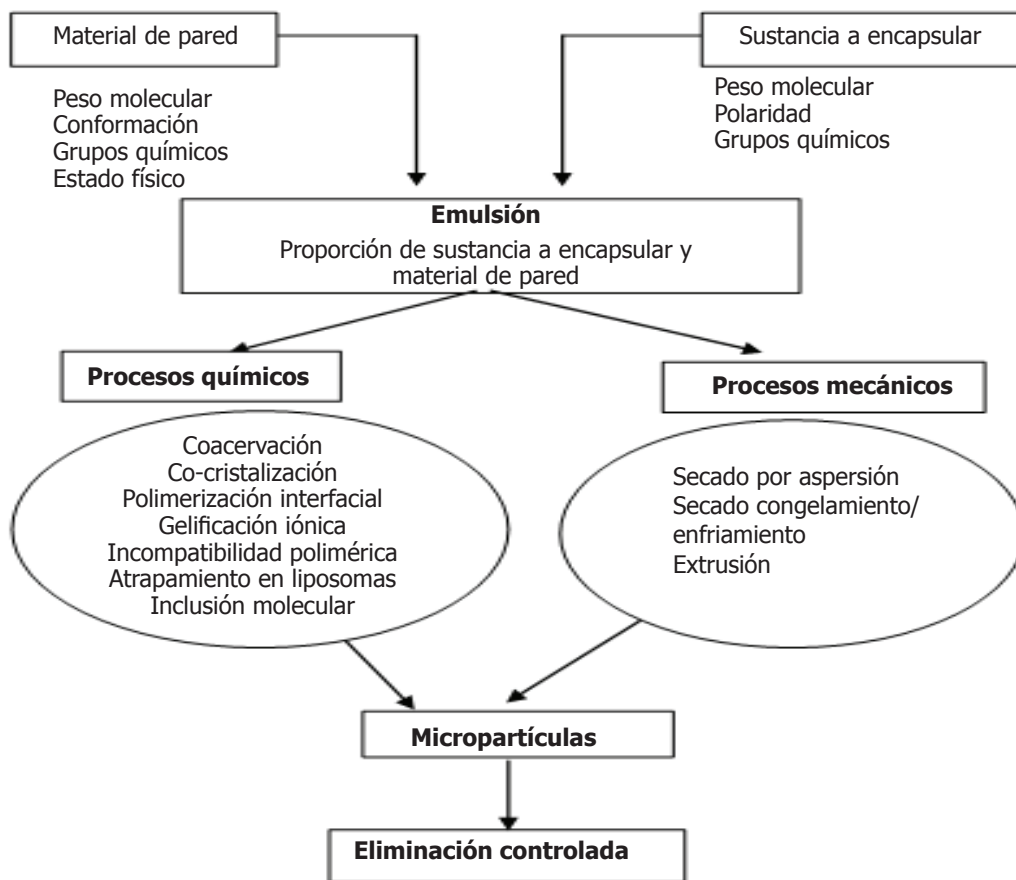


Figura 1. Ilustración esquemática de los diferentes procesos de microencapsulación (Madene, Scher y Desobry, 2006).

medio de coacervación. Esta técnica puede ser simple o compleja. La técnica simple involucra solamente un tipo de polímero con la adición de agentes fuertemente hidrofílicos a la solución coloidal. La compleja se caracteriza por ser altamente inestable a agentes químicos, como glutaraldehído (Madene, Scher y Desobry, 2006).

Para la encapsulación este proceso ha sido extensivamente utilizado para la producción de microcápsulas de alcohol polivinilo, gelatina-acacia y varios otros polímeros (Maji *et al.*, 2007).

Co-cristalización. Es un proceso de microencapsulación donde dos ingredientes son incorporados en un conglomerado poroso de microcristales de sacarosa formados por cristalización espontánea. Los procesos son llevados a cabo por concentración de jarabes de sacarosa hasta supersaturación. Lo anterior se logra con agitación constante del material a encapsular, esto permite una nucleación y aglomeración del producto (Astolfi *et al.*, 2005).

La co-cristalización es una alternativa flexible y económica por ser un procedimiento relativamente simple; numerosos productos pueden ser encapsulados como jugos de frutas, aceites esenciales, saborizantes, aromatizantes y azúcar morena (sacarosa) etc. La estructura del cristal de sacarosa puede ser modificada para formar agregados de cristales muy pequeños que incorporan los sabores, un ejemplo puede ser la cristalización espontánea del jarabe de sacarosa lograda a altas temperaturas (cerca de 120 °C). Durante el proceso, el líquido saborizado es transformado en gránulos secos y algunos compuestos termosensitivos pueden ser degradados. El aceite de la cáscara de naranja ha sido encapsulado utilizando procesos de co-cristalización, además de aceites vegetales. Un ejemplo de aplicación de esta técnica ha sido el encapsulamiento por cristalización de jugo de maracuyá (*Pasiflora edulis*) en sacarosa. El pH del jugo concentrado fue ajustado a 3,5, 4,5 y 5,5 y los porcentajes de jugo adicionado fueron 10, 15 y 20% p/p respectivamente. Los experimentos fueron realizados en un reactor por lotes con cantidades iniciales de 300 g de jarabe de sacarosa con concentración inicial de 70 °Brix. Los resultados mostraron que las condiciones óptimas para el encapsulamiento por co-cristalización de jugo de maracuyá fueron para el pH de los jugos concentrados de 4,5 y el porcentaje de jugo adicionado 15 % p/p (Montes, De Paula y Ortega, 2007).

Polimerización interfacial. En este proceso se produce la polimerización de un monómero en la interfase de dos

sustancias inmiscibles, formando una membrana, que dará lugar a la pared de la microcápsulas. Este proceso tiene lugar en tres pasos:

1. Dispersión de una solución acuosa de un reactante soluble en agua, en una fase orgánica para producir una emulsión de agua en aceite
2. Formación de una membrana polimérica en la superficie de las gotas de agua, iniciada por la adición de un complejo soluble en aceite a la emulsión anterior.
3. Separación de las microcápsulas de la fase orgánica y su transferencia en agua para dar una suspensión acuosa. La separación de las microcápsulas se puede llevar a cabo por centrifugación.

La selección del método de encapsulación está en función del: tamaño medio de la partícula requerida, de las propiedades físicas del agente encapsulante, de la sustancia a encapsular, de las aplicaciones del material encapsulado propuesto, del mecanismo de liberación deseado y del costo (Villena *et al.*, 2009).

Gelificación iónica. Existen dos técnicas de gelificación: Gelificación externa: En la gelificación externa, la sal de calcio soluble es agregada a una emulsión A/O. El tamaño de partícula no puede ser bien controlado y las partículas tienden a coagular en grandes masas antes de adquirir la consistencia apropiada. Además, el tamaño de partícula que se obtiene es grande entre 400 µm y 1 mm (Villena *et al.*, 2009).

Gelificación interna. La gelificación interna se basa en la liberación del ión calcio desde un complejo insoluble en una solución de alginato de sodio. Esto se lleva a cabo por acidificación de un sistema aceite-ácido soluble, con participación en la fase acuosa del alginato. Esta técnica permite obtener partículas de un tamaño de aproximadamente 50 µm. De acuerdo con esta técnica, a la fase acuosa, generalmente formada por alginato y carbonato cálcico, se le adiciona la fase oleosa (aceite vegetal, Span 80 y ácido acético) (Villena *et al.*, 2009).

Incompatibilidad polimérica. En este método se utiliza el fenómeno de separación de fases, en una mezcla de dos polímeros químicamente diferentes e incompatibles en un mismo solvente. El material a encapsular interaccionará solo con uno de los dos polímeros, el cual se adsorbe en la superficie del material a encapsular, formando una película que los engloba. De manera general, este proceso se lleva a cabo en

solventes orgánicos y cuando el material a encapsular es sólido (Villena *et al.*, 2009).

Atrapamiento en liposomas. Para la aplicación en sistemas alimenticios líquidos, la mejor forma para proteger ingredientes hidrosolubles es por encapsulación en liposomas. Son una única o multicapa de fosfolípidos conteniendo cualquier componente lipofílico. Puede describirse como vesículas que se forman cuando películas de fosfolípidos son dispersadas en un medio acuoso, son selectivamente permeables a iones y se pueden formar cuando una solución acuosa de sustancia activa, es mezclada con la película del lípido; su aplicación en alimentos es posible si solventes no orgánicos son utilizados, por ejemplo, empleando deshidratación (Schrooyen, Meer y Kruijff, 2001).

Materiales hidrofóbicos e hidrofílicos pueden ser atrapados en liposomas que también pueden ser utilizados para la liberación de vacunas, enzimas y vitaminas del cuerpo; estos materiales consisten de una o más capas de lípidos no tóxicos y aceptables en alimentos; sin embargo, la permeabilidad, estabilidad, actividad superficial y afinidad pueden variar con el tamaño y composición del lípido. La liberación del principio activo se realiza por difusión a través de la bicapa, por destrucción de la vesícula, por medio de una concentración crítica de iones de calcio o por un cambio de pH (Yañez *et al.*, 2002).

Inclusión molecular. Esta técnica es definida como el resultado de interacciones entre componentes en los cuales una pequeña molécula se ajusta dentro de otra y es rodeada por la forma circular de la otra molécula que es el agente encapsulante, en este caso es la ciclodextrina. A través de este proceso se pueden proteger sabores y otros ingredientes sensibles al calor que son adicionados en alimentos, aceite de ajo, cebolla y vitaminas A, E, K (Madene, Scher y Desobry, 2006).

Procesos mecánicos

Secado por aspersión. La microencapsulación por el método de secado por aspersión es el método más común de encapsulación de ingredientes alimenticios, como ejemplos se tienen: vitaminas (C, E), ácido fólico, aromas, orégano, citronela, aceite de cardamomo, bacterias probióticas, lípidos, ácido linoléico, aceites vegetales; minerales como hierro; pigmentos de antocianina y leche entre otros alimentos (Wandrey, Bartkowiak y Harding, 2010). Este método es el más utilizado en la industria alimenticia por ser el más económico que el anterior de co-

crystalización para, conservar los nutrientes (Young, Sarda y Rosenberg, 1992; García *et al.*, 2004; Murúa, Beristain y Martínez, 2009; Parize *et al.*, 2008; Semyonov *et al.*, 2010), disponibilidad fácil de equipamientos, costos de procesamiento bajo, buena estabilidad del producto final y flexible (Favaro *et al.*, 2010).

En comparación con otros métodos, el secado por aspersión proporciona una eficiencia de encapsulación relativamente alta. La mayor eficiencia de encapsulación que se alcanza con el secado por aspersión, se encuentra entre 96 y 100%, valores superiores en comparación con otros métodos (López y Gómez, 2008).

Dentro de los parámetros más importantes a controlar durante el secado por aspersión se encuentran: las temperaturas de entrada y salida del aire de secado, el flujo de alimentación del producto a secar, el tiempo de residencia y el acondicionamiento de la materia prima (García *et al.*, 2004).

Al respecto, el proceso de secado por aspersión involucra tres etapas: preparación de la dispersión o emulsión, homogenización y atomización (Parize *et al.*, 2008). Este proceso consiste en atomizar el material que se encuentra en estado líquido, ya sea como solución o como dispersión, formándose al final finas gotas sobre una corriente de gas calentado, cuando las pequeñas gotas del líquido toman contacto con el gas, y a una mayor temperatura, se produce una rápida evaporación del solvente formándose una fina película del material de recubrimiento que se encuentra (Gharsallaoui *et al.*, 2007). En este método el componente ó sustancia a encapsular es rodeado por una matriz protectora, normalmente un polímero como goma acacia, maltodextrina, almidón y carbometilcelulosa (Gharsallaoui *et al.*, 2007; Parize *et al.*, 2008).

Esta técnica se puede aplicar a materiales hidrosolubles (Favaro *et al.*, 2010), aceites de pescado fijado sobre una matriz sólida de carbohidratos (almidón modificado, maltodextrina, ciclodextrina), pigmentos naturales, almidón como material de soporte (Fuchs *et al.*, 2006), concentrado de células probióticas y leche en polvo (Heidebach, Forst y Kulozik, 2010). Para este último caso antes del secado por aspersión, la leche es usualmente calentada, evaporada y homogenizada, disminuyendo el tamaño del glóbulo graso e induciendo interacciones entre las proteínas y glóbulos grasos. Aunque varios tipos de atomizadores son utilizados en el secado por aspersión, los atomizadores de presión de boquilla y atomizadores de discos rotatorios son

exclusivamente utilizados para el secado de leche por aspersión (Ye, Anema y Singh, 2007).

Los méritos de este proceso son la disponibilidad de equipos, costo bajo de los procesos, buena retención de volátiles, buena estabilidad del producto final y producción a gran escala en modo continuo.

Aspersión por enfriamiento o congelamiento. Este método es considerado uno de los más adecuados para el secado de materiales biológicos y alimentos sensibles (Semyonov *et al.*, 2010).

La aspersión por enfriamiento y congelamiento involucran dispersión de ingredientes solubles en agua en una grasa fundida o cera; esta dispersión se realiza a través de inyectores con calefacción dentro de una cámara a temperatura ambiente o temperatura de refrigeración; si la cámara está a temperatura ambiente, el material de encapsulación tendría un punto de fusión entre 45 y 122 °C y si la cámara está fría, los materiales fundirían a 32-42 °C pudiendo ser utilizados. Las microcápsulas son insolubles en agua, es por ello que podría ser liberado su contenido cuando la temperatura del producto alimenticio aumenta por encima de la temperatura de fundición de la grasa o cera (Schrooyen, Meer y Kruij, 2001).

Una variante del secado por aspersión consiste en enfriamiento o congelamiento, donde el material a encapsular es mezclado con el acarreador y es atomizado por medio de aire frío. Las microcápsulas son producidas por nebulización de la emulsión o suspensión que contiene el material pared y la sustancia activa puede ser sólida o líquida. Las coberturas empleadas usualmente son aceites vegetales, de esta manera se pueden encapsular líquidos sensibles al calor y materiales que no son solubles en disolventes convencionales. La reducción de la temperatura produce una solidificación del lípido pared y el atrapamiento de la sustancia activa en el centro de la cápsula. La aspersión por enfriamiento es usualmente empleada para encapsular compuestos químicos como sulfato ferroso, vitaminas, minerales, acidulantes, sabores y aromas, productos de panadería, sopas en polvo y alimentos conteniendo un alto nivel de grasa (Madene, Scher y Desobry, 2006).

La selección del proceso de encapsulación para una aplicación considera el tamaño medio de la partícula requerida, las propiedades físico-químicas del agente encapsulante y la sustancia a encapsular (Yañez *et al.*, 2002).

En la aspersión por congelamiento, el material de cubierta es derretido y atomizado a través de una boquilla de neumático en un vaso, generalmente este contiene un baño de hielo de dióxido de carbono (CO₂), (temperatura -50 °C) en una cama fluidizada derretida. Así, las gotas se adhieren sobre las partículas y forman una película de cubierta solidificada. Estos procesos son adecuados para protección de algunos materiales hidrosolubles, que pueden de manera diferente ser volatilizados o dañados durante el procesamiento térmico (Madene, Scher y Desobry, 2006).

Extrusión. La microencapsulación por extrusión involucra el paso de una emulsión del material activo y el material pared a través de un dado a alta presión. La extrusión constituye el segundo proceso más usado, después del secado por aspersión, para la encapsulación de sabores. Un proceso típico involucra la mezcla de sabores con jarabe de maíz o almidón modificado caliente, extruyendo la mezcla en forma de esferitas (pellets) dentro de un baño con un disolvente frío como el isopropanol. El disolvente frío solidifica el jarabe en un sólido amorfo, bañando los sabores (Yañez *et al.*, 2002).

Procesos alternos. Antisolventes supercríticos (ASS) es una técnica análoga al secado por aspersión, el alimento es continuamente llevado a un proceso de aspersión dentro de dióxido de carbono (que actúa como antisolvente en la mayoría de polímeros incluyendo lisozima). La técnica y sus variaciones, requieren polímeros disueltos en un solvente o mezcla (llamados co-solventes) miscibles con CO₂ para luego ser pulverizado dentro de CO₂. El potencial de la aplicación de ASS en el área de alimentos ha sido recientemente mostrado para la microencapsulación de la nisina en nanopartículas de poli (L-láctico) (PLA), su naturaleza hidrofóbica permite la interacción intermedia con la nisina de una manera controlada (Zhong *et al.*, 2009).

Procesos de microfluidización y tecnologías basadas en líquidos utilizan el flujo induciendo cizalla de líquidos y otros agregados blandos para producir o mantener dispersión de nano tamaños de los materiales procesados. La microfluidización es una tecnología en el procesamiento de los alimentos, especialmente en los productos lácteos, y ha sido empleada en la producción de liposomas submicrón para la liberación de sulfato de hierro, ácido ascórbico y otros componentes hidrofílicos mal absorbidos, además para la encapsulación de cultivos probióticos (Acosta, 2009).

Métodos para controlar la liberación. La liberación controlada puede ser definida como un método por el cual agentes o ingredientes están disponibles en sitios y tiempos deseados a una velocidad específica (Madene, Scher y Desobry, 2006). Una ventaja importante es que el compuesto encapsulado se libera gradualmente del compuesto que lo ha englobado o atrapado a velocidades controladas bajo la influencia de condiciones específicas (Anal y Singh, 2007).

Para lograr con éxito la liberación deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos: selección de la membrana, naturaleza química, morfología, temperatura de transición, el grado de hinchamiento y de cruzamiento también influyen en la difusión de la membrana, aunque pueden disminuir la velocidad de liberación (Yañez *et al.*, 2002).

Los métodos de liberación de las cápsulas se pueden llevar a cabo por disolución normal en agua, por esfuerzos de cizalla, temperaturas, reacciones químicas y enzimáticas o por cambios en la presión osmótica; esta liberación de componentes de una cápsula puede ser controlada por difusión de la pared de la cápsula o por una membrana que cubre la pared.

La eficiencia de la liberación controlada, principalmente depende de la composición y estructura de la pared, pero también de las condiciones de operación durante la producción y uso de estas partículas (temperatura, pH, presión, humedad) (Fuchs *et al.*, 2006; Vos *et al.*, 2009).

Además de los parámetros anteriores, la liberación controlada está en función del tipo de polímero empleado que puede ser hidrofílico o lipídico. Los mecanismos fundamentales de liberación son la difusión y la erosión. La difusión se rige por la entrega del medio acuoso al interior del sistema donde disuelve al fármaco y difunde a través del material polimérico, creando poros por los cuales se libera el resto de fármacos contenidos en las microesferas. En la erosión se pone de manifiesto un mecanismo de liberación por relajación de las macromoléculas, lo cual está determinado por la biodegradabilidad intrínseca del polímero y las características del medio de disolución en que se encuentra. La erosión trae consigo el cambio constante de la geometría y como resultado de ello la liberación del principio activo estará influenciada por una combinación de ambos mecanismos (difusión/erosión) que no es más que la degradación de las microesferas.

La liberación controlada de las cápsulas consta de tres etapas:

1. Liberación inicial del principio activo enlazado a la superficie o embebido en la región superficial de la M.E.
2. Liberación difusional del principio activo a través de la matriz del polímero y a través de los poros durante la degradación de la matriz.
3. Liberación erosional del principio activo por la desintegración de la matriz del polímero y disolución después que la matriz pierde su integridad y las cadenas del polímero, son degradadas a un tamaño lo suficientemente pequeñas como para ser solubilizadas.

Existen varios factores que afectan la liberación del principio activo desde estos sistemas. Entre ellos se encuentran la composición y masa molecular del polímero, el contenido de principio activo, el tamaño y porosidad de las microesferas y las características físico-químicas del principio activo (Fernández *et al.*, 2001).

Calidad de las cápsulas obtenidas por los métodos de encapsulación. Al producto obtenido se realizan análisis para verificar su calidad, dentro de esos análisis están: cenizas, humedad, higroscopicidad, solubilidad, actividad acuosa, rendimiento de proceso, morfología y tamaño de las microcápsulas, estabilidad de color, análisis sensorial, peso, densidad, unitaria del encapsulado y distribución celular (Rivas, 2010).

Tendencias futuras. La microencapsulación es recomendada para aplicaciones en la industria alimenticia; se ha observado en los últimos años un incremento significativo en esta industria. Esta técnica desempeñará un papel importante en un futuro muy cercano; es por lo anterior que algunas compañías e institutos investigadores están buscando nuevos ingredientes con posibles beneficios saludables. Ingredientes fitoquímicos, ingredientes derivados de la madera como fitoesteroles, pro y prebióticos, nuevos tipos de carotenoides, minerales traza y polifenoles, son ejemplos de algunos compuestos. Muchos de estos ingredientes podrían estar disponibles en una forma purificada dentro de los siguientes 10 años, esto posibilitará mejorar los procesos de encapsulación. Añadiéndose a estos sistemas de purificación, se requerirán innovaciones tecnológicas y con ellos nuevos métodos. La microencapsulación ciertamente podría desempeñar un papel importante en estos procesos, aunque estos se harán más expansivos para

ser utilizados y biodisponibles y siempre podrían ser considerados seguros.

CONCLUSIONES

La encapsulación es una técnica que permite el empaquetamiento de alimentos, o materiales como aceites, bacterias probióticas, enzimas, lactosuero, pigmentos vegetales, minerales, vitaminas y aditivos alimenticios. Los principales agentes utilizados para encapsular son polivinil alcohol, alginatos, lípidos, carbohidratos, gomas y proteínas; esta encapsulación se lleva a cabo a través de procesos físicos o mecánicos; en los procesos químicos se encuentran, coacervación, polimerización interfacial, gelificación iónica, incompatibilidad polimérica, atrapamiento en liposomas, inclusión molecular y en los procesos mecánicos están las técnicas de co-cristalización, secado congelamiento/enfriamiento, extrusión y por último se encuentra la técnica de secado por aspersión, siendo esta la más importante y utilizada en la industria alimentaria.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, E. 2009. Bioavailability of nanoparticles in nutrient and nutraceutical delivery. *Current Opinion in Colloid and Interface Science* 14(1):3–15.

Adhikari, K., A. Mustapha, L. Grun and L. Fernando. 2000. Viability of microencapsulated bifidobacteria in set yogurt during refrigerated storage. *Journal of Dairy Science* 83(9): 1946-1951.

Anal, A. and H. Singh. 2007. Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery: a review. *Trends in Food Science and Technology* 18(5): 240-251.

Anjani, K., K. Kailasapathy and M. Phillips. 2006. Microencapsulation of enzymes for potencial application in acceleration of cheese ripening. *International Dairy Journal* 17(1): 79-86.

Araneda, C. y F. Valenzuela. 2009. Microencapsulación de extractantes: una metodología alternativa de extracción de metales. *Revista Ciencia Ahora* 22(11): 9-19.

Astray, G., J. Mejuto, R. Rial, C. González and J. Simal. 2009. A review on the use of cyclodextrins in foods. *Food Hydrocolloids* 23(7): 1631-1640.

Astolfi, Z., A. Souza, E. Reipert and V. Telis. 2005. Encapsulation of passion fruit juice by co-crystallization with sucrose: crystallization kinetics and physical properties. *Ciência e Tecnología de Alimentos Campinas*, http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612005000400027&lng=en&nr m=iso; consulta: febrero 2011.

Bastos, D., K. Araujo and M. Leao. 2009. Ascorbic acid retaining using a new calcium alginate-capsul based edible film. *Journal of Microencapsulation* 26(2): 97-103.

Bertolini, A., A. Siani and R. Grosso. 2001. Stability of monoterpenes encapsulated in gum arabic by spray-drying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49(2): 780-785.

Bouwmeester, H., S. Dekkers, M. Noordam, W. Hagens, A. Bulder, S. Voorde, S. Wijnhoven and H. Marvin. 2009. Review of health safety aspects of nanotechnologies in food production. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 53(1): 52–62.

Colin, J., C. Nolan and B. Holub. 2009. Bioequivalence of encapsulated and microencapsulated fish-oil supplementation. *Journal of Functional Foods* 1: 38 -43.

Champagne, C. and P. Fustier. 2007. Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods. *Current Opinion in Biotechnology* 18(2): 184-190.

Desai, K., C. Liu and H. Park. 2006. Characteristics of vitamin C encapsulated tripolyphosphate-chitosan microspheres as affected by chitosan molecular weight. *Journal of Microencapsulation* 23(1):79-90.

Dutta, P., S. Tripathi, G. Mazutti and J. Dutta. 2009. Review: Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications. *Journal Food Chemistry* 114(4): 1173–1182.

Drusch, S. 2007. Sugar beet pectin: A novel emulsifying wall component for microencapsulation of lipophilic food ingredients by spray-drying. *Food Hydrocolloids* 21(7): 1223-1228.

Ersus, S. and U. Yurdagel. 2007. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray drier. *Journal of Food Engineering* 80(3): 805-812.

- Escalona López, Sandra. 2004. Encapsulados de luteína-enocianina y su aplicación en alimentos. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile. Santiago. p. 3-10.
- Fabra, M., A. Hambleton, P. Talens, F. Debeaufort and A. Voilley. 2009. Influence of interactions on water and aroma permeabilities of κ -carrageenan-oleic acid-beeswax films used for flavour encapsulation. *Carbohydrate Polymers* 76(2): 325-332.
- Favaro, C., A. Santana, E. Monterrey, M. Trindade and F. Netto. 2010. The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate. *Food Hydrocolloids* 24(4): 336-340.
- Fernández, D., M. Gómez, D. Ramos, y N. González. 2001. Métodos de obtención de microesferas biodegradables, <http://www.uh.cu/centros/bioma/Congresos/bioma99/PII24.pdf>; consulta: febrero 2011.
- Ferreira, I., S. Rocha and M. Coelho. 2007. Encapsulation of antioxidants by spray-drying. *Chemical Engineering Transactions* 11: 713-717.
- Fuchs, M., C. Turchiuli, M. Bohin, M. Cuvelier, C. Ordonnaud, M. Peyrat and E. Dumoulin. 2006. Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering* 75(1): 27-35.
- García, G., M. González, M. Ochoa y H. Medrano. 2004. Microencapsulación del jugo de cebada verde mediante secado por aspersión. *Revista Ciencia y Tecnología Alimentaria* 4(4): 262-266.
- Gharsallaoui, A., G. Roudaut, O. Chambin, A. Voilley and R. Saurel. 2007. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International* 40(9): 1107-1121.
- Ge, X., Z. Wan, N. Song, A. Fan and R. Wu. 2009. Efficient methods for the extraction and microencapsulation of red pigments from a hybrid rose. *Journal of Food Engineering* 94(1): 122-128.
- Gonzales, E., R. Domínguez, D. Moreno and C. García. 2010. Review: Natural bioactive compounds of citrus limon for food and health. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 51(2): 327-345.
- Heidebach, T., P. Forst and U. Kulozik. 2010. Microencapsulation of probiotic cells by means of rennet-gelation of milk proteins. *Food Hydrocolloids* 23(7): 1670-1677.
- Kwak, H., M. Ihm and J. Ahn. 2001. Microencapsulation of β -galactosidase with fatty acid esters. *Journal Dairy Science* 84: 1576-1582.
- Kailasapathy, K. 2006. Survival of free and encapsulated probiotic bacteria and their effect on the sensory properties of yoghurt. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie* 39: 1221-1227.
- Krasaekoopt, W., B. Bhandari and H. Deeth. 2003. Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yogurt. *International Dairy Journal* 13(1): 3-13.
- Ko, J., S. Koo and H. Park. 2008. Effects of alginate microencapsulation on the fibrinolytic activity of fermented soybean paste (*Cheonggukjang*) extract. *Food Chemistry* 111(4): 921-924.
- Kosaraju, S., R. Weerakkody and M. Augustin. 2009. *In vitro* evaluation of hydrocolloid-based encapsulated fish oil. *Food Hydrocolloids* 23(5):1413-1419.
- Klaypradit, W. and Y. Huang. 2008. Fish oil encapsulation with chitosan using ultrasonic atomizer. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie* 41(6): 1133-1139.
- Larroza, I. and A. Zerlotti. 2007. Encapsulation of Lycopene using spray-drying and molecular inclusion processes. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 50(5): 893-900.
- Leiman, F., O. Goncalves, R. Machado and A. Bolzan. 2009. Antimicrobial activity of microencapsulated lemongrass essential oil and the effect of experimental parameters on microcapsules size and morphology. *Materials Science and Engineering* 29(2): 430-436.
- Li, B., L. Wang, D. Li, B. Bhandari, S. Jun, Y. Lan, X. Chen and Z. Mao. 2009. Fabrication of starch-based microparticles by an emulsification-crosslinking method. *Journal of Food Engineering* 92(3): 250-254.
- Loksuwan, J. 2007. Characteristics of microencapsulated β -carotene formed by spray drying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrin. *Food Hydrocolloids* 21: 928-935.
- López, H. y D. Gómez. 2008. Preparación de microesferas mediante secado por aspersión, <http://scielo.sld.cu/>

- scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75152008000300010&Ing=es.; consulta: febrero 2011.
- Luo, H. and C. Pozrikidis. 2009. Numerical simulation of particle encapsulation due to liquid thread breakup. *Computers and Fluids* 38(3): 564–571.
- McMaster, L., S. Kokott and P. Mazutti. 2005. Microencapsulation of *Bifidobacterium lactis* for incorporation into soft foods. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 21(5): 723–728.
- Madene, A., J. Scher, and S. Desobry. 2006. Flavour encapsulation and controlled release - a review. *International Journal of Food Science and Technology* 41(1):1-21, 2006.
- Maji, T., I. Baruah, S. Dube and M. Hussain. 2007. Microencapsulation of *Zanthoxylum limonella* oil (ZLO) in glutaraldehyde crosslinked gelatin for mosquito repellent application. *Bioresource Technology* 98(4): 840-844.
- Marcuzzo, E., A. Sensidoni, F. Debeaufort and A. Voilley. 2010. Encapsulation of aroma compounds in biopolymeric emulsion based edible films to control flavor release. *Journal Carbohydrate Polymers* 80(3): 984-988.
- Montes, E., C. De Paula y F. Ortega. 2007. Determinación de las condiciones óptimas de encapsulamiento por co-cristalización de jugo de maracuya (*Passiflora edulis*). *Revista Temas Agrarios* 12: 5-12.
- Morkhade, D. and S. Joshi. 2007. Evaluation of gum damar as a novel microencapsulating material for ibuprofen and diltiazem hydrochloride. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences* 69(2):263-268.
- Murúa, B., C. Beristain and Martínez. F. 2009. Preparation of starch derivatives using reactive extrusion and evaluation of modified starches as shell materials for encapsulation of flavoring agents by spray drying. *Journal of Food Engineering* 91(3): 380–386.
- Muthuselvi, L. and A. Dhathathreyan. 2006. Simple coacervates of zein to encapsulate giotoxin. *Colloids and Surfaces* 51(1): 39-43.
- Nazzaro, F., F. Fratianni, R. Coppola, A. Sada and P. Orlando. 2009. Fermentative ability of alginate-prebiotic encapsulated *Lactobacillus acidophilus* and survival under simulated gastrointestinal conditions. *Journal of Functional Foods* 1(3): 319-323.
- Ozer, B., H. Avni, E. Senel, M. Atamer and A. Hayaloglu. 2009. Improving the viability of *Bifidobacterium bifidum* BB-12 and *Lactobacillus acidophilus* LA-5 in white-brined cheese by microencapsulation. *International Dairy Journal* 19(1): 22–29.
- Palzer, S. 2009. Review: Food structures for nutrition, health and wellness. *Trends in Food Science and Technology* 20(5): 194-200.
- Parra, R. 2009. Lactosuero: importancia en la industria de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín* 62(1): 4967-4982.
- Parize, A., T. Rozone, I. Costa, V. Fávere, M. Laranjeira, A. Spinelli and E. Longo. 2008. Microencapsulation of the natural urucum pigment with chitosan by spray drying in different solvents. *African Journal of Biotechnology* 7(17): 3107-3114.
- Pimentel, D., R. Campos, C. Lobato, R. Pedroza and E. Vernon. 2009. Encapsulation of *Lactobacillus rhamnosus* in double emulsions formulated with sweet whey as emulsifier and survival in simulated gastrointestinal conditions. *Food Research International* 42(2):292-297.
- Pisecky, J. 2005. Review spray drying in the cheese industry. *International Dairy Journal* 15(6-9): 531-536.
- Prestidge, C. and S. Simovic. 2006. Nanoparticle encapsulation of emulsion droplets. *International Journal of Pharmaceutical* 324(1):92-100.
- Rai, M., P. Asthana, S. Kant, V. Jaiswal and U. Jaiswal. 2009. The encapsulation technology in fruit plants: A review. *Biotechnology Advances* 27(6): 671-679.
- Ranadheera, R., S. Baines and M, Adams. 2010. Review Importance of food un probiotic efficacy. *Food Research International* 43(1): 1-7.
- Rivas Reyes, Caridad. 2010. Microencapsulación y estabilización enzimática del jugo de chirimoya (*Annona cherimola* Mill). Tesis Magister en Ciencias en Bioprocesos. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología. Instituto Politécnico Nacional. México. 34 p.
- Sáenz, C., S. Tapia, J. Chávez and P. Robert. 2009. Microencapsulation by spray drying of bioactive

- compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). Food Chemistry 114(2): 616–622.
- Semo, E., E. Kesselman, D. Danino and Y. Livney. 2007. Casein micelle as a natural nano-capsular vehicle for nutraceuticals. Food Hydrocolloids 21(5-6): 936-942.
- Semyonov, D., O. Ramon, Z. Kaplun, L. Brener, N. Gurevich and E. Shimoni. 2010. Microencapsulation of *Lactobacillus paracasei* by spray freeze drying. Food Research International 43(1): 193-202.
- Sozer, N and J. Kokini. 2009. Nanotechnology and its applications in the food sector. Trends in Biotechnology 27(2):82-89.
- Sultana, K., G. Godward, N. Reynolds, R. Arumugaswamy, P. Peiris and K. Kailasapathy. 2003. Encapsulation of probiotic bacteria with alginate-starch and evaluation of survival in simulated gastrointestinal conditions and in yogurt. International Journal of Food Microbiology 62: 47-55.
- Shantha, K., R. Weerakkody and M. Augustin. 2009. In vitro evaluation of hydrocolloid-based encapsulated fish oil. Food Hydrocolloids 23(5): 1413–1419.
- Shahidi, F. 2008. Nutraceuticals and functional foods: Whole versus processed foods. Trends in Food Science and Technology 20: 376-387.
- Schrooyen, P., R. Meer and C. Kruif. 2001. Microencapsulation: its application in nutrition. Proceedings of the Nutrition Society 60(4): 475-479.
- Tachaprutinuna, A., T. Udomsup, C. Luadthong and S. Wanichwecharungruang. 2009. Preventing the thermal degradation of astaxanthin through nanoencapsulation. International Journal of Pharmaceutics 374:119–124.
- Takei, T., M. Yoshida, Y. Hatate, K. Shiomori, S. Kiyoyama. 2008. Lactic acid bacteria - enclosing poly (ϵ -Caprolactone) microcapsules as soil bioamendment. Journal of Bioscience and Bioengineering 106 (3): 268–272.
- Yañez, J., J. Salazar, L. Chaires, J. Jimenez, M. Marquez y E. Ramos. 2002. Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación. Revista Avance y Perspectiva 21: 313-319.
- Ye, A., S. Anema and H. Singh. 2007. Behaviour of homogenized fat globules during the spray drying of whole milk. International Dairy Journal 17(4): 374-382.
- Young, S., X. Sarda and M. Rosenberg. 1992. Microencapsulating properties of whey proteins with carbohydrates. Journal Dairy Science 76(10): 2878-2885.
- Villamizar, L. y F. Martínez. 2008. Determinación de las condiciones de microencapsulación de un baculovirus entomopatógeno mediante coacervación con Eudragit S100®. Revista Vitae 15(1): 123-131.
- Villena, M., Morales, H., Lara, G. y R. Martínez. 2009. Técnicas de microencapsulación: una propuesta para microencapsular probióticos. Ars Pharmaceutica 50(1): 43-50.
- Vos, P., M. Faas, M. Spasojevic and J. Sikkeme. 2009. Review multiscale requirements for bioencapsulation in medicine and biotechnology. Biomaterials 30(13): 2559–2570.
- Wandrey, C., A. Bartkowiak, and S. Harding. 2010. Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing, http://www.nottingham.ac.uk/ncmh/harding_pdfs/Paper329.pdf. 83-86 p.; consulta: febrero 2011.
- Weinbreck, F., I. Bodnár and M. Marco. 2010. Can encapsulation lengthen the shelf-life of probiotic bacteria in dry products ?. International Journal of Food Microbiology 136(3): 364-367.
- Zong, M., Y. Deng, B. Cristopher, N. Hua, X. Zai and Z. Li. 2009. Microencapsulation of tamoxifen: Application to cotton fabric. Colloids and Surfaces. Biointerfaces 69(1): 85–90.
- Zhong, Q., M. Jin, M. Davidson and S. Zivanovic. 2009. Sustained release of lysozyme from zein microcapsules produced by a supercritical anti-solvent process. Food Chemistry 115(2): 697–700.