



Encapsulación: técnicas y aplicaciones en la industria alimentaria

N. A. Guevara – Bretón ^{*}, T. Jiménez-Munguía

Departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Universidad de las Américas – Puebla. San Andrés Cholula, Pue., México.

Resumen

En la actualidad la encapsulación es un método frecuentemente utilizado para conservar o mejorar las propiedades en el manejo y producción de algunos ingredientes alimenticios como vitaminas, acidulantes, sabores, aromas, enzimas, células microbianas entre otras. Se cuenta con una amplia variedad de técnicas para realizar este proceso, sin embargo, en la elección de dichas técnicas es necesario el conocimiento de sus alcances, limitantes y aplicaciones. Esta revisión muestra un panorama general de las técnicas de encapsulación comúnmente utilizadas en el área alimenticia, así como algunas ventajas, desventajas y aplicaciones. Las técnicas de encapsulación más adecuadas desde el punto de vista económico y de aplicaciones son el secado por atomización y la extrusión.

Palabras clave: encapsulación, técnicas de encapsulación, aplicaciones.

Abstract

In recent years the encapsulation has been a technique used to protect and preserve some food materials (vitamins, acidulants, enzymes, microbial cells and so on), and to improve their properties in their handling and production. There are a great variety of methods used for this purpose, although in the choice of any technique it is needed to know the advantages, drawbacks and applications. This review shows in general way this items. The spray drying and extrusion techniques are the most suitable, since they are less expensive and their applications are wide.

Keywords: Functional food, probiotic foods, viability, legislation.

Introducción

La encapsulación está tomando cada vez mayor importancia en diversas industrias tales como la farmacéutica, la cosmética, la química y la alimentaria entre otras, esto a pesar de que sus orígenes no son recientes.

Algunos autores mencionan su inicio en los años 30's o 40's, con el surgimiento de un tinte microencapsulado mediante glicina (Dziezak, 1988; Yáñez *et al.*, 2005). Desde entonces, esta técnica ha sido utilizada industrialmente con la finalidad de dar un valor agregado al producto, a través de la protección y transporte, o bien mediante la

* Tel.: +52 222 229 2126, fax: +52 222 229 2727 Dirección electrónica: ing_arelygb@yahoo.com.mx

liberación controlada del agente activo en el tiempo y lugar más adecuados; logrando con esto mejorar la efectividad de los aditivos y ampliando sus aplicaciones (Gouin, 2004).

El crecimiento y utilización de la encapsulación se ha incrementado actualmente. Varias técnicas de encapsulación consideradas nuevas ya tienen ciertas investigaciones científicas, y en otros casos incluso cuentan con patentes, por lo que en este momento existen una gran variedad de técnicas de encapsulación, algunas comúnmente utilizadas en el área alimenticia. Sin embargo, cada técnica tiene sus ventajas, limitaciones y aplicaciones, por lo que para la elección de alguna de ellas es necesario el conocimiento de dichas características. De esta forma utilizará la técnica más adecuada para el producto o ingrediente que se requiera encapsular, ya que de acuerdo al proceso de encapsulación seleccionado variarán diversos factores como la forma (películas, esferas, partículas irregulares), la estructura (porosa o compacta) y el estado físico (amorfo o sólido cristalino deshidratado, elástico o vítreo), los cuales afectan las propiedades de difusión o estabilidad durante el almacenamiento. De aquí la importancia de elegir un método adecuado de encapsulación (Madene *et al.*, 2006). Otros factores importantes en la elección de la técnica de encapsulación son su costo y su adaptación a gran escala o nivel industrial.

Entre la gran variedad de técnicas de encapsulación se encuentran: la coacervación simple, la coacervación compleja, el secado por atomización, la atomización por congelamiento o enfriamiento, la extrusión, la fluidización en lecho, la inclusión en liposomas, la polimerización interfacial y la inclusión molecular (Madene *et al.*, 2006; Lakkis, 2007). Sin embargo, muchos autores mencionan que los métodos comúnmente utilizados tanto por costos como por aplicación son el secado por atomización y la extrusión (Gouin, 2004; Lakkis, 2007).

El objetivo de esta revisión es describir aquellas técnicas de encapsulación frecuentemente dirigidas a la industria alimentaria, sus ventajas, limitantes y aplicaciones.

Revisión bibliográfica

En el área de alimentos, en un principio la encapsulación o microencapsulación fue utilizada para enmascarar algunos sabores indeseables de ciertos ingredientes y convertir alimentos líquidos en sólidos para facilitar su manejo. Hoy en día, su aplicación en los alimentos es hacia la protección y liberación controlada de algunos ingredientes para mejorar su efectividad, así como para ampliar su intervalo de aplicación.

De acuerdo a Madene *et al.* (2006), las técnicas de encapsulación se pueden

Tabla I. Clasificación y características de algunos métodos de encapsulación^a

Tipo de técnica	Método de encapsulación	Tamaño de partícula (μm)
Químicas	Coaservación simple	20 - 200
	Coaservación compleja	5 - 200
	Inclusión molecular	5 - 50
Mecánicas	Secado por atomización	1 - 50
	Enfriamiento por atomización	20 - 200
	Extrusión	200 - 2000
	Fluidización en lecho	> 100

^aAdaptado de Medene *et al.*, 2006

clasificar en mecánicas o físicas y químicas; en la tabla I se muestra dicha clasificación. Sin embargo, Gouin (2004) menciona algunas otras técnicas utilizadas en la encapsulación de ingredientes alimentarios, como son: la coextrusión centrífuga y de disco giratorio, gelación iónica o por cápsulas de alginato, inclusión en liposomas, y expansión rápida de soluciones supercríticas.

En la figura 1 se encuentran algunas de estas técnicas, así como sus características principales. Aunque como se ha visto, existe una gran variedad de técnicas de encapsulación, en esta revisión se presentarán las más utilizadas en el área de alimentos.

refiere a la transformación de un material líquido en un sólido; sin embargo, puede producir partículas que protegen el material activo en matrices formadas generalmente por polímeros. Esta técnica se realiza en tres pasos básicamente: primero se prepara la emulsión o dispersión, enseguida se homogeniza dicha emulsión y finalmente se atomiza en la cámara de secado (Dziezak, 1988). El primer paso consiste en dispersar el material activo en una solución del agente encapsulante con el cual es inmiscible; el material encapsulante debe tener buenas propiedades de emulsificación, baja viscosidad y alto contenido de sólidos (\geq a 45 %), esto con la finalidad de disminuir el tiempo de secado, formar una película con

		Método de encapsulación					
		Lecho fluidizado	Coacervación	Secado por atomización	Enfriamiento por atomización	Disco giratorio	Fluidización en lecho
Naturaleza de los ingredientes	Hidrofílico						
	Lipofílico						
	Amfifílicas						
	Sólido						
	Líquido						
	> 100 μ m						
Costo	< 100 μ m			no disponible			no disponible
	medio	alto	bajo	muy bajo	medio	alto	
	Por lotes	1 T	0.5 T				
Capacidad de producción	Continuo			2 T/h	5 T/h	1 T/h	0.5 T/h
	Térmico						
	Tiempo						
Mecanismo de liberación controlada	Mecánico						
	Digestivo						
Sencillo Laborioso No viable							

Fig. 1. Algunas técnicas de encapsulación, características y limitantes (Adaptado de Gouin, 2004).

Secado por atomización

Es el método comúnmente utilizado para encapsular ingredientes alimenticios (Shu *et al.*, 2006) y además el más económico. En realidad, es un método de secado, ya que se

alto contenido de sólidos alrededor de las gotas del material activo y aumentar la retención del mismo. El siguiente paso, es la homogenización, consiste en crear gotas pequeñas del ingrediente en la solución encapsulante, formando una emulsión fina;

Tabla II. Ventajas y desventajas de la encapsulación por secado por atomización^a

Ventajas	Desventajas
Bajo costo de operación	Falta de uniformidad de las cápsulas
Alta calidad de las cápsulas	Limitación en la elección de material encapsulante
Rapida solubilidad de las cápsulas	Producción de polvos muy finos, que necesitan un procesamiento posterior
Tamaño pequeño	
Alta estabilidad de las cápsulas	No siempre óptimo para materiales sensibles al calor

^aAdaptado de Medene *et al.*, 2006

algunas veces es necesaria la adición de algún emulgente para lograr esta homogenización. Finalmente, se lleva a cabo la atomización, donde la mezcla de agente activo y agente encapsulante, convertida ya en una emulsión, es alimentada a través de una espresa a la cámara de secado, donde se secará formando los encapsulados, que luego pasarán a un ciclón, en el cual se obtendrán los diferentes polvos. Muchos parámetros de la atomización y el secado tienen un efecto significativo sobre el tamaño de partícula de los polvos resultantes; entre estos parámetros se encuentran: la velocidad de alimentación o flujo de alimentación, el tipo de espresa, la viscosidad de la emulsión, el contenido de sólidos o la técnica de aglomeración utilizada. Generalmente se obtienen polvos con tamaños menores a 100µm (Pegg y Shahidi, 1999).

Entre las ventajas del secado por atomización se puede mencionar el hecho de ser adecuado para materiales sensibles al calor, debido a los tiempos cortos de exposición a las altas temperaturas. Además, el secado por atomización es auxiliar para otros métodos como los de coacervación y polimerización interfacial. En la tabla II, se presentan algunas otras ventajas y desventajas de esta técnica de encapsulación. Este método ha sido aplicado para la encapsulación de sabores, vitaminas,

minerales, microorganismos, entre otros, empleando almidones modificados, maltodextrinas y gomas como agentes acarreadores, aunque actualmente también se han probado coloides y gomas naturales, buscando incrementar la retención de compuestos volátiles y la vida de anaquel de los encapsulados (Pedroza-Islas, 2002; Soottitantawat *et al.*, 2005 Yañez, 2005). En la figura 2, se muestra un esquema del equipo utilizado para el secado por atomización.

Extrusión

Este procedimiento consiste en la formación de una emulsión con el agente activo y el agente encapsulante, la cual se hace pasar por un tornillo extrusor a alta presión. Es la segunda técnica más utilizada en la encapsulación. Su aplicación más importante en el área alimenticia es para la encapsulación de sabores, ya que las matrices de carbohidrato al estar en su estado vítreo, presentan buenas propiedades de barrera contra la oxidación de estos ingredientes volátiles. También se utiliza para encapsular vitaminas y colorantes que posteriormente se usan en la elaboración de bebidas, pasteles, gelatinas, postres, entre otros (Madene *et al.*, 2004; Yañez *et al.*, 2005). En la figura 3, se presenta un ejemplo del equipo utilizado en

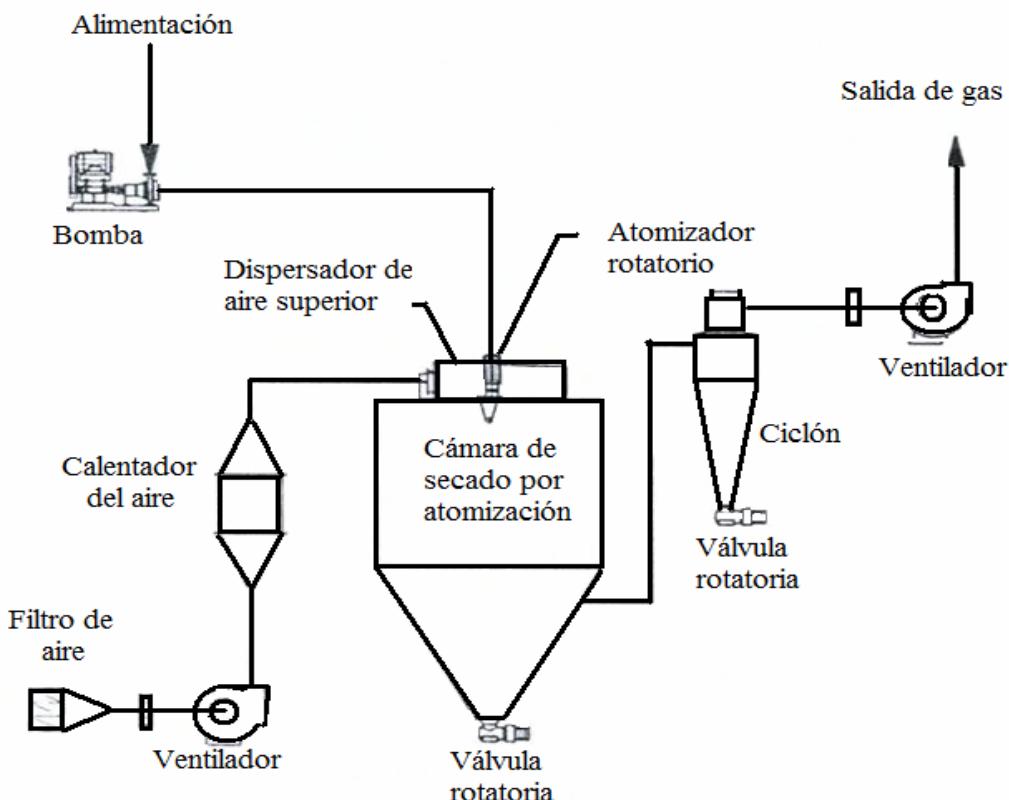


Fig. 2. Secador por aspersión (Adaptado de Dziezak 1988).

la encapsulación de micropartículas por extrusión.

De acuerdo a Lakkis (2007), las ventajas con las que cuenta esta técnica, las cuales la hacen única y ampliamente utilizada son:

1. Los extrusores son equipos que pueden manipularse de acuerdo a las temperaturas y velocidades de corte deseadas, variando parámetros como el diseño de tornillo, calentamiento del cilindro, velocidad de mezclado, velocidad de alimentación, contenido de humedad, entre otros.
2. Posibilidad de incorporar los agentes activos en varios puntos del proceso; para el caso de los materiales lábiles al calor, éstos pueden incorporarse al final del proceso para evitar su degradación.
3. Este tipo de equipo, además, puede producir diferentes formas en las matrices o microcápsulas obtenidas.
4. Se requieren pequeñas cantidades de agua para cambiar los carbohidratos del estado vítreo al estado cristalino en el extrusor, por lo que no se requiere de posterior secado.
5. En general se obtienen rendimientos altos, mayores a 30%
6. Se le considera económico ya que es un sistema continuo además de que no requiere un secado posterior.

Por otra parte, una de las limitantes de esta técnica es el gran tamaño de partícula obtenido (500-1000 μm), lo cual limita su aplicación por ejemplo para el caso de sabores, donde la sensación en la boca es un factor esencial. Otra limitante es la escasa variedad de agentes encapsulantes, entre los que se encuentran, maltodextrinas de

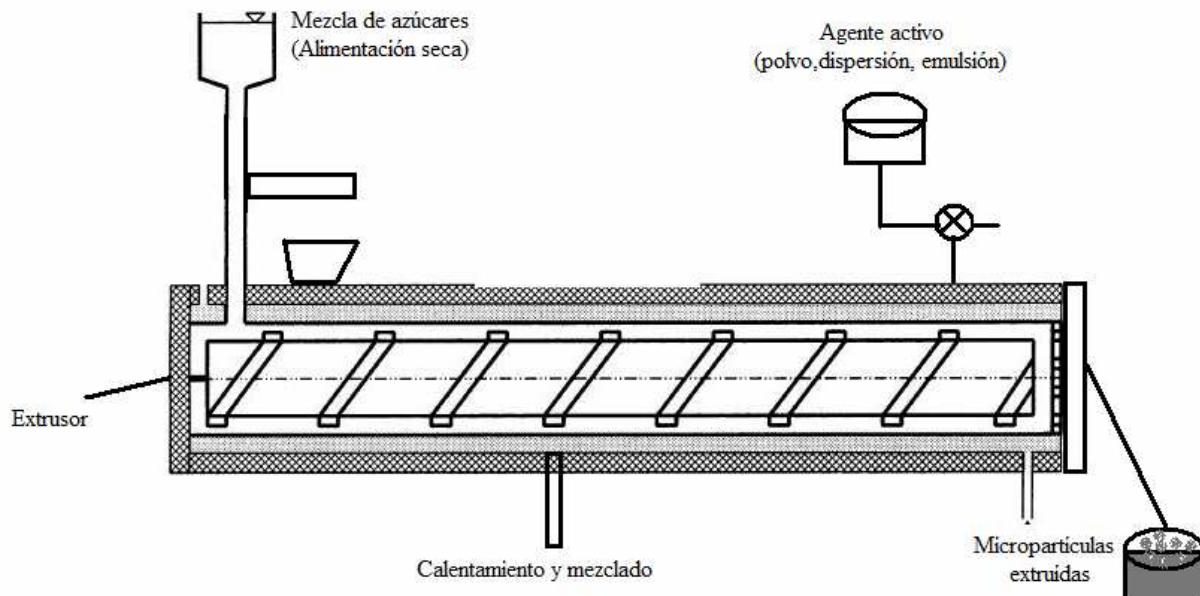


Fig. 3. Equipo utilizado para encapsulación de micropartículas por extrusión
(Adaptado de Heinzelmann y Franke, 1999 y Lakkis, 2007).

diferentes equivalentes dextrosa, almidón y mezclas de aditivos (Pegg y Shahidi, 1999).

Coextrusión centrífuga y disco giratorio

Ambos son métodos de atomización que pueden utilizarse en la encapsulación modificada por enfriamiento. La técnica de disco giratorio (fig. 4) involucra la formación de una suspensión de los agentes activos en el líquido encapsulante y el paso de esta suspensión sobre un disco giratorio bajo condiciones que conducen a la formación de una película de encapsulante mucho menor que el tamaño de partícula del agente activo. Se puede decir que consiste en la desintegración del sistema, donde el líquido alimentado es distribuido centralmente sobre el torno o disco y acelerado por centrifugación antes de que se descargue a una atmósfera con aire en forma de gotas (Teunou, 2005), las cuales son atomizadas por enfriamiento o por secado (Pegg y Shahidi, 1999).

La coextrusión centrífuga está basada en una esprea doble modificada, donde el ingrediente activo es bombeado a través de la parte interna de la esprea, mientras el material encapsulante es bombeado a través de la parte externa de la esprea, y se unen en un dispositivo giratorio que gira sobre su propio eje vertical (Gouin, 2004). A la vez que va girando, tanto el agente activo como el agente encapsulante son extruídos a través de los orificios concéntricos de la esprea; la fuerza centrífuga permite que la barra extruída sea expulsada formando pequeñas partículas y por acción de la tensión superficial el agente encapsulante envuelva al agente activo (Dziezak, 1988).

La ventaja de estas dos técnicas recae en las características y propiedades de los materiales obtenidos, por lo que la cinética de liberación de las cápsulas obtenidas por disco giratorio es intermedia entre las obtenidas por atomización por enfriamiento y coextrusión. Específicamente, la técnica de

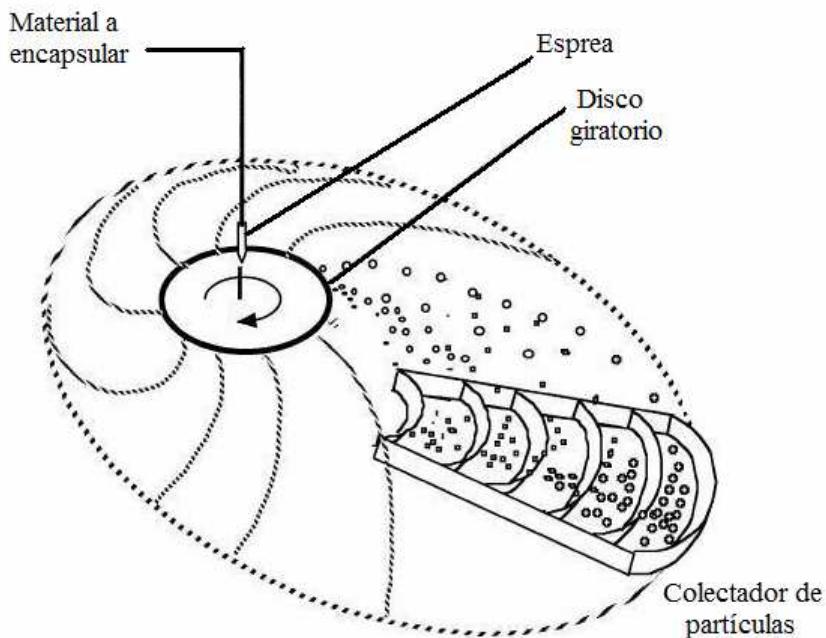


Fig. 4. Esquema del atomizador de disco giratorio (Adaptado de Teunou y Poncelet, 2005).

disco giratorio corresponde a un sistema continuo de alta capacidad, que toma segundos o minutos para encapsular las partículas; además el proceso puede manejar una gran variedad de agentes activos, incluyendo aquellos sensibles térmicamente, así como agentes encapsulantes líquidos, sólidos o en suspensión, sin tener problemas de agregación. El tamaño de partícula varía de $30\mu\text{m}$ a 200 mm y se pueden obtener rendimientos altos (Pegg y Shaihdi, 1999).

Esta técnica es muy promisoria tecnológicamente, ya que sus rendimientos son comparables o mucho más altos que los de los procesos de secado por atomización o atomización por enfriamiento; además de que el costo del proceso es similar, el equipo utilizado es simple y puede ser instalado en cualquier torre de atomización. En cambio, para el caso de la coextrusión centrífuga, la producción a gran escala puede resultar más demandante desde un punto de vista demandante desde un punto de vista ingenieril, ya que se necesitaría la

construcción de espreas múltiples suspendidas en la torre de espreado, además de que la disminución en el tamaño de la esprea puede conducir a problemas frecuentes de taponamiento (Gouin, 2004).

Coacervación

Esta técnica se refiere a un método químico de separación de fases líquido-líquido de forma espontánea, que puede ocurrir al mezclar polielectrolitos de cargas opuestas en un medio acuoso. La coacervación puede ser simple o compleja; para la primera se utiliza sólo un tipo de polímero y la adición de agentes fuertemente hidrofílicos a la solución coloidal, mientras que en la segunda se usan dos o más tipos de polímeros. El coacervado se considera el soluto polimérico separado en forma de pequeñas gotas líquidas. La presencia de este coacervado alrededor de pequeñas gotas líquidas insolubles forma cápsulas, para una gelificación final apropiada; generalmente se utilizan gelatina y gomas por tener carga

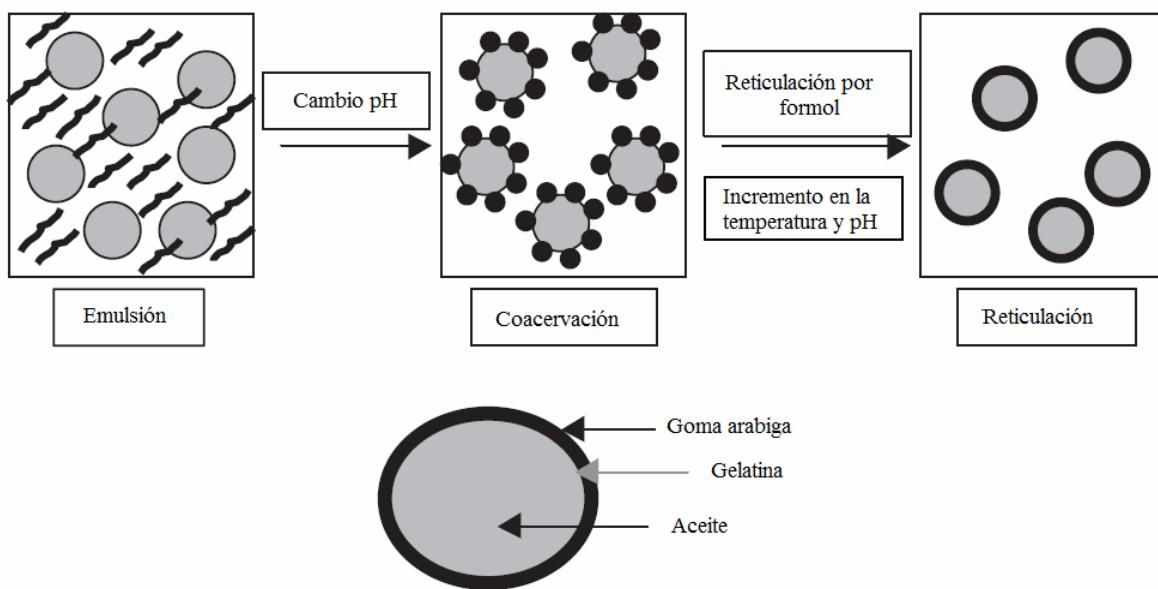


Fig. 5. Proceso de coacervación (Adaptado de Madene *et al.*, 2006).

opuesta, para que la coacervación pueda ocurrir. La coacervación puede ser iniciada por diferentes formas: cambios de pH, temperatura, adición de alguna sal iónica. Por pH, por ejemplo, el aditivo a encapsular se encuentra en una solución proteica, y ésta es mezclada con un polisacárido, manteniendo esta solución a un pH más alto que el punto isoeléctrico de la proteína, entonces se forma una mezcla con dos fases, una de las cuales es más pesada y contiene el agente activo (Madene *et al.*, 2006).

La coacervación puede ser considerada eficiente, pero a la vez de un alto costo (Pedroza, 2002; Gouin, 2004), además de ser complicada, por la elección adecuada de la concentración respecto al agente encapsulante, así como por la evaporación de volátiles y oxidación del producto por residuos en la superficie de la cápsula, entre otros (Madene *et al.*, 2006). En la figura 5, se presentan los pasos para este proceso. Entre sus aplicaciones se encuentra la encapsulación de aceites vegetales cítricos y de vitamina A (Gibbs *et al.*, 1999).

Inclusión en liposomas

Es una técnica comúnmente utilizada en la industria farmacéutica, con ciertas aplicaciones biotecnológicas, como por ejemplo la liberación de enzimas, vacunas y vitaminas. Los liposomas son estructuras formadas por una bicapa de lípidos que engloban una sustancia acuosa, por tanto están formados por sitios hidrofóbicos (ácidos grasos, fosfolípidos) y sitios hidrofílicos (colina, serina, inositol, entre otros) (Kim y Baianu, 1991). Al igual que en el caso de las membranas naturales, los liposomas pueden clasificarse en tres grupos: multilamelar, vesículas de un compartimiento y macrovesículas. Los liposomas pueden ser obtenidos con cargas positivas utilizando aminas o con cargas negativas por la adición de fosfatidil serina o diacetil fosfato. Las sustancias activas solubles en agua presentan una mejor eficiencia de encapsulación que las hidrófobas (Yañez *et al.*, 2005), además de que amplían su aplicación a productos con alta actividad de agua, lo cual resulta ser una

ventaja de esta técnica (Gouin, 2004). Diferentes lípidos y diferentes tipos energía de éstos, pueden producir diferentes variedades de liposomas para propósitos específicos. Entre los métodos utilizados para generar estas variedades de liposomas se encuentran: la microfluidización, la ultrasonificación y la evaporación en fase reversa (Pegg y Shahidi, 1999).

La microfluidización se basa en la dinámica de microcanales; sus principales ventajas son: el gran volumen de liposomas que pueden formarse de manera continua y reproducible, la posibilidad de ajustar el tamaño medio de partícula, la alta captura de agente activo que se logra (>75%), la posibilidad de encapsular solutos sin ser expuestos a sonicación, el hecho de que los detergentes o solventes orgánicos y los liposomas formados parecen ser estables y sin agregación.

La ultasonificación se realiza de dos formas, la primera con una sonda metálica dentro de la suspensión de una gran cantidad de liposomas, requiere 2 horas; y en la segunda la dispersión lípidica es colocada en un vial de vidrio sellado herméticamente, suspendido en un baño ultrasónico, requiere sólo unos cuantos minutos para realizarse, además, que tiene la ventaja de que puede realizarse en un contenedor cerrado con nitrógeno o argón y no contamina el lípido.

La evaporación en fase reversa se realiza al estar los lípidos en una mezcla acuosa no polar como solvente, formando micelas invertidas; el solvente no polar es removido por evaporación rotatoria bajo condiciones de vacío, y el gel intermedio cambia a vesículas unilamelares y oligolamelares. Este procedimiento se caracteriza por un tamaño de vesículas poco uniforme que va de 0.1 a 1 μm de diámetro, además de una eficiencia superior al 65%. Sin embargo, su desventaja principal es que los componentes son

expuestos tanto a solventes orgánicos como a sonicación, lo que puede ocasionar una desnaturalización de las proteínas o de otras moléculas de estabilidad similar.

Inclusión molecular

Es la única técnica que considera el parámetro de peso o tamaño molecular; utiliza alfa o beta ciclodextrinas para atrapar moléculas, las cuales tienen un centro hidrofóbico. Consiste en la formación de complejos con la inclusión del componente activo o molécula huésped en el centro de la molécula encapsulante u hospedera, hasta lograr un equilibrio en la solución (fig. 6). La estabilidad de estos complejos dependerá de factores como la estructura molecular de la molécula hospedera o encapsulante, hidrofobicidad de la molécula huésped, pH de la solución, disolvente orgánico, temperatura de la solución y concentración de ciclodextrinas (Yañez *et al.*, 2005).

El procedimiento de inclusión puede llevarse a cabo de tres maneras (Pegg y Shahidi, 1999):

1. Por agitación o movimiento de la molécula huésped y hospedera (ciclodextrinas) para formar el complejo, posteriormente se filtra y se seca; en los casos donde se tenga un huésped insoluble, se puede preceder este procedimiento por una disolución de dicha molécula en un solvente soluble en agua
2. Por mezclado de la β -ciclodexrina y el huésped con agua para formar así una pasta; se puede no usar solvente. Esta forma es utilizada principalmente para oleorresinas
3. Haciendo pasar gas a través de la solución para que la inclusión ocurra. Esta forma es menos usada que las dos anteriores

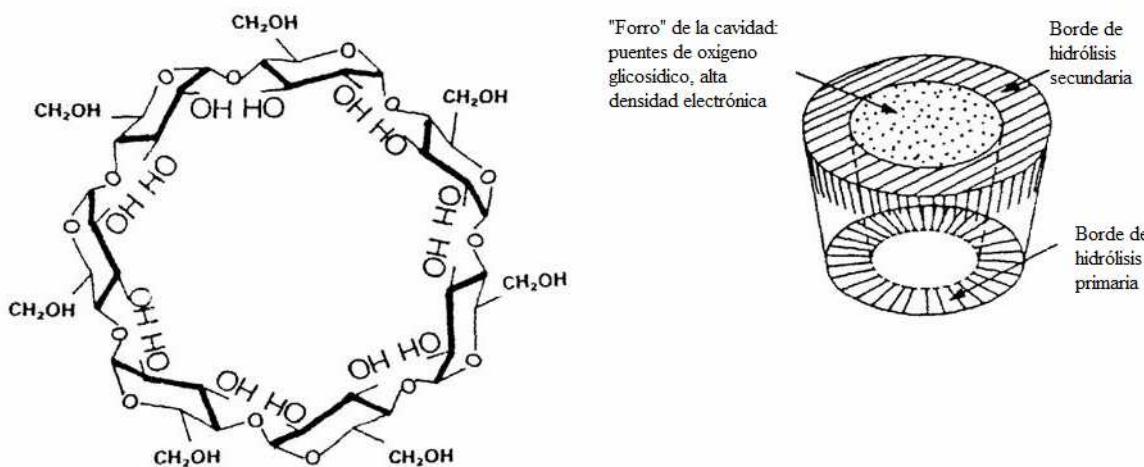


Fig. 6. Molécula de β -Cyclodextrina; a la izquierda estructura planar, y a la derecha distribución espacial y tamaño molecular (Adaptado de Dziezak, 1988).

Las aplicaciones de esta técnica se orientan hacia la protección de sabores y otros ingredientes sensibles al calor adicionados en alimentos extruídos, aceite de ajo, cebolla vitaminas A, E y K (Lakkis, 2007).

La composición del complejo de ciclodextrina dependerá sobre todo del peso molecular del agente activo, ya que una molécula de ciclodextrina normalmente incluye solamente una molécula de agente activo o huésped. Teóricamente no siempre será obtenido un máximo rendimiento. Además las ciclodextrinas tienen afinidad diferente por diversos compuestos activos, lo cual puede considerarse ventaja o desventaja. Algunos investigadores han utilizado esta característica para lograr cierta selectividad, sin embargo en otros casos esto resulta una desventaja; por ejemplo en cuanto a la encapsulación de sabores, donde la falta de inclusión debido a la afinidad, o a su pérdida en los pasos siguientes como la recuperación o el secado de los complejos, ya formado el complejo este resulta ser poco estable a la evaporación. Otras desventajas son: la falta

de estabilidad frente a la oxidación (Pegg y Shahidi, 1999), los bajos rendimientos y el alto costo de esta técnica. Sus ventajas principales son las características de liberación únicas y la estabilidad térmica y química. Las aplicaciones se dirigen hacia los sabores y aromas por sus características de liberación controlada (Gouin, 2004; Madene *et al.*, 2006).

Fluidización en lecho

Se trata de una técnica muy eficiente para lograr capas uniformes del material encapsulante y formar partículas sólidas. Usualmente se manejan equipos con aditamentos de atomización, Würster o rotacionales (fig. 7), para lograr la fluidización de las partículas, y compensar la fuerza de gravedad. Se obtienen cápsulas desde 100 μm hasta unos cuantos milímetros; sin embargo, para partículas pequeñas las fuerzas electrostáticas son de suma importancia para el proceso. Polisacáridos, proteínas, emulgentes, grasas, formulaciones complejas, cubiertas entéricas, polvos encapsulantes y extracto de levadura, son algunos materiales que se utilizan como

agentes encapsulantes. Muchos ingredientes alimenticios han sido encapsulados por esta técnica: ácido ascórbico, acidulantes para procesar carne, agentes leudantes. Partículas secadas por atomización también utilizan esta técnica incluyendo una cubierta de grasa, para impartir una mejor protección y vida de anaquel.

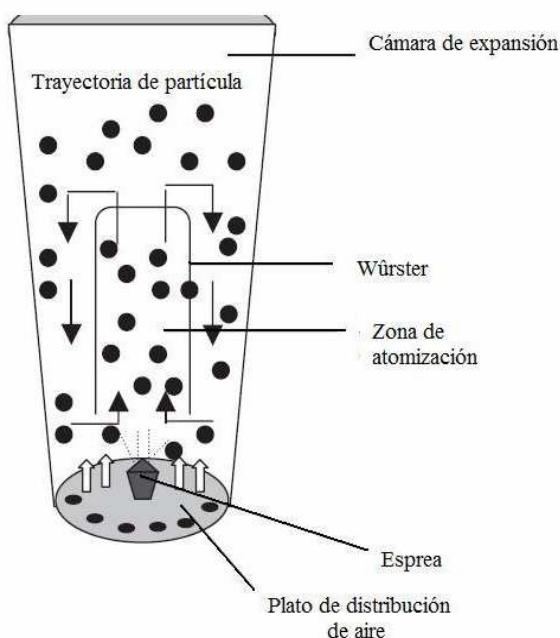


Fig. 7. Secador de lecho fluidizado con mecanismo Würster (Adaptado de Madene *et al.*, 2006).

Básicamente los pasos del proceso son los siguientes: primero las partículas que serán encapsuladas (agente activo) se fluidifican en una atmósfera caliente de la cámara de secado; después el material encapsulante es atomizado a través de una espresa sobre las partículas de agente activo y la formación de película comienza; después seguirá una sucesión de estados de humectación y secado, las pequeñas gotas del líquido son espreadas en la superficie de la partícula y coalecen; el solvente o la mezcla es evaporada por el aire caliente y el material encapsulante se adhiere sobre las partículas.

Esta técnica depende sobre todo de la espresa de atomización del material encapsulante sobre el lecho fluidificado. El tamaño de partícula varía de 0.3 a 10 mm. Algunas ventajas de esta técnica son: permite una distribución de tamaño específica, baja porosidad, altas velocidades de secado por las buenas condiciones de contacto gas-partícula, óptimas velocidades de transferencia de calor y masa, áreas más pequeñas de flujo, alta eficiencia térmica, bajo presupuesto y costos de mantenimiento, así como un fácil control (Madene *et al.*, 2006). Otra ventaja de esta técnica es su versatilidad en cuanto a la liberación controlada, respecto a otras técnicas (Gouin, 2004).

Atomización por congelamiento o por enfriamiento

Esta técnica es semejante a la encapsulación por secado por atomización, sin embargo no se utiliza agua y por consiguiente no se lleva a cabo una evaporación. Consiste en mezclar el agente activo con el agente encapsulante y atomizarlos utilizando aire frío, lo cual causa la solidificación del agente encapsulante alrededor del agente activo, ya que se utilizan como materiales encapsulantes aceites vegetales en el caso del secado por enfriamiento (45-120°C intervalo de puntos de fusión) o aceites vegetales hidrogenados o fraccionados para el secado por congelamiento (32-42 °C intervalo de puntos de fusión). La limitante principal de esta técnica es que requiere un manejo y condiciones de almacenaje especiales; otra limitante es que cierta parte del material a encapsular puede quedar en la superficie de la microcápsula; sin embargo en algunos casos se logran esferas perfectas que permiten el libre flujo de los polvos (Pegg y Shahidi, 1999; Gouin, 2004). Vitaminas, minerales, acidulantes, materiales líquidos a bajas temperaturas, materiales sensibles al calor y aquellos materiales no solubles con el

solvete, son encapsulados mediante secado por enfriamiento. Por otra parte en sopas deshidratadas, alimentos altos en grasa e ingredientes para panificación se utiliza la técnica de secado por congelamiento (Gibbs *et al.*, 1999). Estos dos métodos son considerados económicos y frecuentemente utilizados para encapsulación de compuestos,

con liberación controlada mediante el punto de fusión del material encapsulante (Madene *et al.*, 2006).

Gelación iónica o gotas de alginato

Es una técnica ampliamente utilizada, principalmente por su fácil preparación a

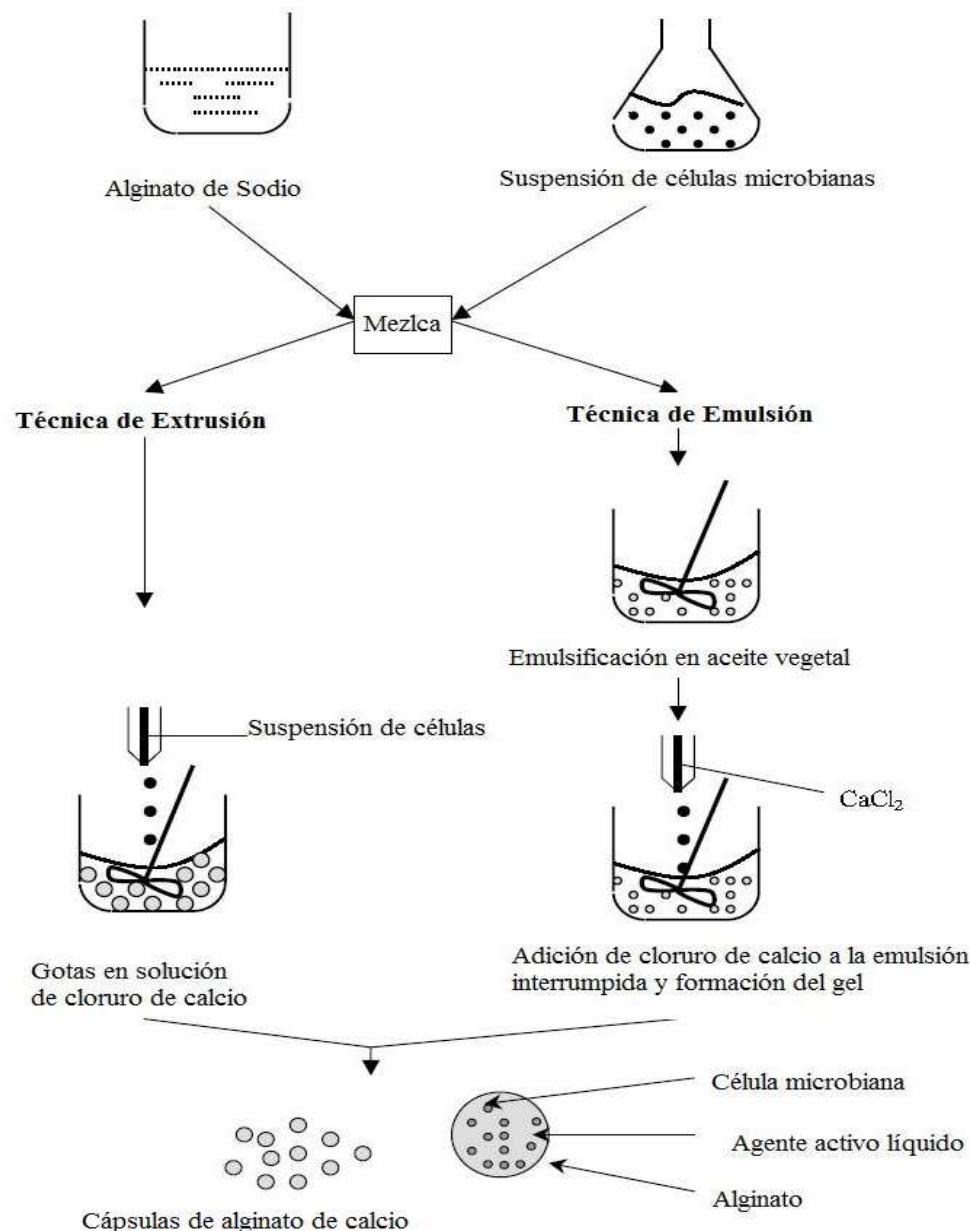


Fig. 8. Diagrama de flujo de encapsulación de bacterias por las técnicas de emulsión y extrusión (Adaptado de Krasaekoopt *et al.*, 2002).

nivel laboratorio, ya que cualquier ingrediente puede ser encapsulado por este método (Yúfera *et al.*, 2005). Se utiliza principalmente alginato como agente encapsulante y su combinación con iones divalentes, como el calcio, para comenzar la gelificación; este gel se va endureciendo conforme aumenta el tiempo de contacto con los iones calcio. Las variables a controlar en el proceso son: pH, concentración de iones, concentración de alginato, entre otros (Pedroza- Islas, 2002). Aunque su costo es favorable, su mayor limitante resulta ser su aplicación a nivel industrial. Además, las microcápsulas obtenidas son muy porosas, lo cual permite una rápida y fácil difusión de agua así como de otros fluidos dentro y fuera de la matriz de alginato; por esto último esta técnica es muy conveniente para la inmovilización de células y enzimas, pero no resulta así cuando lo que se busca es proteger completamente el agente activo de su medio (Gouin, 2004). Esta técnica es muy usada en la encapsulación de microorganismos probióticos (Krasaekoopt *et al.*, 2003; Anal y Singh, 2007). En la figura 8 se presenta el procedimiento utilizado para la encapsulación de bacterias por las técnicas de emulsión y extrusión, utilizando a la vez la gelación iónica.

Conclusiones

Existen en la actualidad una gran cantidad de técnicas de encapsulación no sólo utilizadas en el área alimenticia, sino en otras industrias como la farmacéutica, cosmética y química. Sin embargo, al elegir alguna de estas técnicas, es necesario saber no sólo como se realizan, sino también sus ventajas y desventajas así como sus aplicaciones. Algunos aspectos importantes son: el costo, las diferentes variedades de agentes encapsulantes que pueden ser utilizados, la reproducibilidad a nivel industrial, la solubilidad de los agentes, la sensibilidad del agente activo, las

características físicas de los materiales, las características químicas de los agentes, entre muchos otros aspectos. De la revisión hecha en este artículo se concluye que, por sus ventajas y aplicaciones, los métodos más comúnmente empleados en el área alimenticia son el secado por atomización y la extrusión.

Referencias

- Anal, A. K. y Singh, H. 2007. Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery. *Trends in Food Science and Technology*. 18(5): 240-251.
- Dziezak, J. D. 1988. Microencapsulation and encapsulated ingredients. *Food Technology*. (4):131-148.
- Gibbs, B. F., Kermasha, S., Alli, I. y Mulligan G. N. 1999. Encapsulation in the food industry: a review. *International Journal of Food Science and Nutrition*. 50(3):213-224.
- Gouin, S. 2004. Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in Food Science & Technology*. 15: 330-347.
- Kim, H.Y. y Baianu, I.C. 1991. Novel liposome microencapsulation techniques for food applications. *Trends in Food Sciences and Technology*. pp. 55-61.
- Krasaekoopt, W., Bhandari, B. y Deeth, H. 2003. Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt. *International Dairy Journal*. 13 (1):3-13.
- Lakkis, J. M. 2007. *Encapsulation and controlled release technologies in food systems*. Blackwell Publishing. Iowa, EE. UU. pp. 3-9
- Madene, A., Jacquot, M., Sher, J. y Desobry, S. 2006. Flavour encapsulation and controlled release- a review. *International Journal of Food Science and Technology*. 41: 1-21.
- Pedroza-Islas, R., 2002. Alimentos microencapsulados: particularidades de los procesos para la microencapsulación de alimentos para larvas de

especies acuícolas. En: Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Gaxiola-Cortés, M. G. y Simoes, N. (Eds.). Avances en nutrición acuícola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 3 al 6 de Septiembre del 2002. Cancún, Quintana Roo, México.

Pegg, R. B. y Shahidi F. 1999. Encapsulation and controlled release in food preservation. En: M. S. Rahman (Ed). *Handbook of food preservation*. Marcel Dekker. EE. UU. pp. 611-667.

Shu, B., Yu, W., Zhao, Y. y Liu, X. 2006. Study on microencapsulation of lycopene by spray-drying. *Journal of Food Engineering*. 76:664-669.

Soottitantawat, A., Takayama, K., Okamura, K., Muranaka, D., Yoshii, H., Furuta, T., Ohkawara, M. y Linko, P. 2005. Microencapsulation of l-menthol by spray drying and its release characteristics. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 6(2):163-170.

Teunou, E. y Poncelet, D. 2005. Rotary disc atomisation for microencapsulation applications-prediction of the particle trajectories. *Journal of Food Engineering*. 71(4):345-353.

Yañez, J., Salazar J., Chaires, L., Jiménez, J., Márquez, M. y Ramos, E. 2005. Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación. *Mundo Alimentario*. 2:24-30.

Yúfera, M., Fernández-Díaz, C. y Pacual, E. 2005. Food microparticles for larval fish prepared by internal gelacion. *Aquaculture*. 248(1-4):253-262.