Encapsulación de DHA/EPA mediante secado por aspersión: identificación de metodologías de proceso y agentes encapsulantes compatibles

Trabajo de grado para optar por el título de Especialistas de Alimentación y Nutrición

Paola Castrillón Zuluaga

Jhon Fredy Vargas Taborda

Diana Rendón García

Asesor

Julio C. Arboleda Fernández

Doctor en Biomateriales

Corporación Universitaria Lasallista

Facultad de Ingeniería

Especialización Alimentación y Nutrición

Caldas – Antioquia

2016

Tabla de contenido

Glosario **6**

Resumen **8**

Introducción **10**

Justificación **13**

Objetivos **14**

Objetivo general 14

Objetivos específicos 14

Marco teórico **15**

Agentes encapsulantes 21

Procesos químicos 25

Procesos mecánicos 28

Metodología **32**

Revisión General de los agentes encapsulantes compatibles para recubrir el DHA / EPA y análisis de variables de proceso 32

Revisión del Estado del arte: Aplicaciones DHA/EPA encapsulado en alimentos 32

Resultados esperados **33**

Social 33

Económica. 33

Profesional 34

Resultados 35

Incorporación de DHA y EPA en la dieta y aplicaciones comunes 35

Encapsulación de aceite de pescado, agentes encapsulantes 39

Encapsulación secado por aspersión..... 45

Conclusiones y Recomendaciones 72

Referencias 73

Lista de tablas

Tabla 1: Resumen de técnicas de encapsulación en aceites de pescado y algunas propiedades obtenidas (Gouin, 2004; Madene, Jaqquot, Scher, & Desobry, 2006) 45

Tabla 2. Consumo de energía en diferentes procesos de deshidratación. Jumah, Mujumdar, & Raghavan, 1995; Nastaj, 1991; Straatsma, 1190)...... 47

Tabla 3. Efecto del contenido de sólidos del material a secar en la cantidad de humedad evaporada para obtener producto seco en polvo (Contenido de humedad final 2%) 58

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Estructura química del ácido alfa-linoleico (ALA), ácido eicosapentanoico (EPA) y ácido docosahexanoico (DHA) y ácido linoleico (LA). 15

Ilustración 2. Rearreglo de fosfolípidos en la técnica de atrapamiento por liposomas (Barrow et al., 2013). 41

Ilustración 3. Esquema general del proceso de coacervación 43

Ilustración 5. Diagrama esquemático del proceso de secado por aspersión Drying Technologies in Food Processing-Wiley-Blackwell (2008) Capitulo N° 4. 48

Ilustración 6. Diagrama esquemático para el secado de una sola gota, donde la velocidad de secado disminuye con la reducción de la temperatura y presión de vapor (humedad relativa). Drying Technologies in Food Processing-Wiley-Blackwell (2008) Capitulo N° 4. 49

Ilustración 7. Diferentes tipos de atomizadores usados en secado por aspersión (Pisecky, 1997) 53

Ilustración 8. Mecanismo de secado de gotas y formas que puede presentar la partícula seca (Xiao Chen, Arun S. Mujumdar, 2008). 59

Glosario

DHA: Ácido docosahexaenoico, es un ácido graso esencial poliinsaturado de la serie omega 3. Se encuentra en el aceite de pescado y en algunas algas.

EPA: Ácido eicosapentaenoico, es un ácido graso esencial poliinsaturado de la serie omega 3. Se encuentra en el aceite de pescado, en algunas algas, en la leche materna.

Ácidos grasos poliinsaturados: son ácidos grasos que poseen más de un doble enlace entre sus carbonos. Dentro de este grupo se encuentra

Ácido Linoleico: es un ácido de graso poliinsaturado esencial de la serie de omega 6. Con dieciocho carbonos y dos dobles enlaces, se caracteriza por tener su primer doble enlace en carbono número 6 de la cadena, contado desde el metilo del extremo de la misma.

Ácido Linolenico: es un ácido de graso poliinsaturado esencial de la serie de omega 3. Con dieciocho carbonos y tres dobles enlaces, cuyos ácidos grasos tienen su primer doble enlace en carbono número 3 de la cadena.

Encapsulación: es una técnica por la cual gotas líquidas, partículas sólidas o gaseosas, son cubiertas con una película polimérica porosa.

Secado por Aspersión: Es una operación unitaria para convertir materiales líquidos como soluciones o suspensiones en polvos para mejorar su preservación, facilidad de almacenamiento, transporte, manipulación entre otros.

Resumen

La incorporación de DHA/EPA en alimentos es un tema de interés en países desarrollados y en vía de desarrollo, ya que el consumo de los mismos mejora considerablemente la salud y bienestar general de la población. Diferentes autoridades de salud (OMS, FAO) y nutrición en todo el mundo han recomendado la inclusión de estos ácidos grasos en la dieta. El presente trabajo tuvo como objetivo identificar diferentes metodologías en el proceso de encapsulación de DHA/EPA, exaltando el secado por aspersión como una técnica segura con una baja alteración de sus características. En esta monografía se presenta el estado del arte de las diferentes tecnologías para incorporar estos nutrientes esenciales en diferentes tipos de alimentos asegurando que no se alteren las propiedades sensoriales y fisicoquímicas de los alimentos, ya que hoy en día las principales fuentes de obtención de estos compuestos provienen de aceites y harinas de pescado los cuales al ser incorporados en diferentes matrices de alimentos proporcionan un sabor residual fuerte y un olor no deseado.

Partiendo de fuentes oleosas de pescado se describe la técnica de secado por aspersión como una opción interesante para obtener productos en polvo, ricos en DHA y EPA; permitiendo que estos ingredientes al ser encapsulados, puedan ser más estables y alterar mínimamente las características sensoriales una vez estén incorporados en el alimento. Se describen las condiciones óptimas y variables para el proceso de secado por torre y se proponen agentes encapsulantes compatibles. Por último se resumen algunas aplicaciones que pueden ser exitosas del producto obtenido

Palabras Clave:

DHA, EPA, secado por aspersión, encapsulación, agentes encapsulantes, ácidos grasos

Introducción

Los cambios registrados en los últimos años en el perfil de los consumidores y en sus hábitos alimenticios, con el fin de lograr una nutrición equilibrada como requisito para la salud y bienestar; brindan importantes oportunidades a la industria alimenticia y además impulsa la elaboración de ingredientes bioactivos que al ser adicionados a un producto final, le dan ciertas características funcionales a los alimentos (AF: Alimentos funcionales). Esos productos son elaborados para aumentar el perfil nutricional del alimento y también para cumplir una función específica como puede ser la de mejorar la salud y reducir el riesgo de contraer enfermedades. Dentro de los ingredientes funcionales más sobresalientes a nivel metabólico podemos mencionar: minerales, vitaminas, ácido grasos poli insaturados, fibra alimenticia, fitoesteroles, antioxidantes, entre otros.

Dentro del grupo de ingredientes funcionales, se destacan los ácidos grasos poli-insaturados: EPA (ácido eicosapentaenoico) y DHA (ácido docosahexaenoico), los cuales son reconocidos por sus beneficios para la salud y el bienestar. El consumo de ácidos grasos poli-insaturados (EPA/DHA) puede ser benéfico para el funcionamiento del sistema cardiovascular, el corazón, el cerebro y el sistema nervioso; de igual manera se ha establecido su relevancia en el desarrollo de las funciones cognitivas de los niños menores de 5 años y la importancia que tienen dentro de la alimentación en todas las etapas de la vida.

La fuente natural que proporciona estos ingredientes biológicamente activos es el pescado y algunos de sus derivados; el consumo de este alimento en la dieta, aporta

dentro de otros nutrientes, estos ácidos grasos benéficos para la salud; sin embargo; el consumo de pescado necesario, para tener el aporte de estos nutrientes, se dificulta, ya sea por el acceso dentro de la canasta familiar, por el gusto alimentario, por facilismo, o tendencia a uso de suplementos, entre otros. Desde este punto de vista la adición de ingredientes extraídos y purificados dentro de cierto grupo de alimentos se convierte en una buena alternativa para el aporte de los mismos. Sin embargo, la mayor dificultad en el uso de DHA y EPA es su fuerte olor y sabor, debido a que las principales fuentes de obtención de estos compuestos provienen de aceites y harinas de pescado, lo cual puede dificultar sus aplicaciones en alimentos. Incluso cuando se traten de mejorar los medios de extracción, las propiedades organolépticas del alimento final con la presencia de estos ingredientes, tienden a no ser las mismas.

Un limitante para el uso de AGPI (ácidos grasos poliinsaturados), en el desarrollo masivo de alimentos enriquecidos con DHA y EPA, es su alto índice de oxidación, pero, aplicando técnicas como la encapsulación, estos pueden ser conservados más eficientemente para su posterior adición en la producción de alimentos funcionales, reduciendo significativamente el olor y sabor residual de los mismos.

La encapsulación, es una técnica que se emplea para proteger los aditivos; promoviendo la conservación, y la liberación controlada de nutrientes. La técnica también permite la disminución de la higroscopicidad, el aumento de la estabilidad durante el almacenamiento, el mejoramiento de cualidades organolépticas y funcionales de productos alimenticios, etc. Los principales ingredientes encapsulados en la industria de alimentos son: acidulantes, colorantes, pigmentos, enzimas, sabores, vitaminas, minerales, entre otros.

En el proceso de encapsulación las metodologías utilizadas influyen directamente en la calidad de los ingredientes protegidos. El método de encapsulación se elige de acuerdo a la aplicación requerida, el tamaño de cápsula deseado, el material a encapsular, el costo y las propiedades físicas y químicas del recubrimiento.

Dentro de las técnicas para encapsular se resalta el secado y/o encapsulado por aspersión el cual es un método ampliamente utilizado y de bajo costo. El proceso requiere tres pasos básicos, la formación de la emulsión entre el material central y el recubrimiento, la homogeneización y el secado por aspersión.

Las investigaciones en torno a este tema se centran en la búsqueda y aplicación de nuevos materiales de recubrimiento y técnicas novedosas de encapsulación. Por lo tanto en este trabajo se realizará una revisión de diferentes metodologías usadas en la encapsulación de DHA/EPA mediante secado por aspersión en la industria de alimentos, estableciendo diferentes materiales de recubrimiento óptimos para el proceso y mencionando las variables que pueden influir en la calidad de la capsula formada.

Justificación

Debido a la importancia que tiene los ácidos grasos poliinsaturados, especialmente DHA/EPA, para la obtención de alimentos con propiedades funcionales, y gracias al potencial que tienen estos ingredientes para ser incorporados en diferentes matrices en alimentos; es de gran importancia identificar los medios apropiados para la adición de los mismos en productos aptos para consumo. En la industria de alimentos en Colombia no se ha desarrollado suficientes tecnologías que permitan incorporar estos ingredientes en alimentos sin alterar sus propiedades sensoriales; se torna relevante entonces, realizar un estudio que nos permita identificar diferentes metodologías utilizadas en el proceso de encapsulación de DHA/EPA mediante secado por aspersión y sus agentes encapsulantes, los cuales juegan un papel de gran importancia para obtener un producto que cumpla con los requerimientos deseados. Por esta razón el presente estudio pretende abordar esta temática.

Objetivos

Objetivo general

Analizar la influencia de los materiales encapsulantes y la metodología de secado por aspersión, en la eficacia de encapsulamiento de DHA/EPA, para mejorar las características de percepción sensorial, dentro de una matriz alimentaria

Objetivos específicos

Identificar los carbohidratos, proteínas, fosfolípidos y antioxidantes adecuados para recubrir eficientemente el DHA/EPA y mejorar la aceptación de los atributos sensoriales, en formulaciones alimentarias.

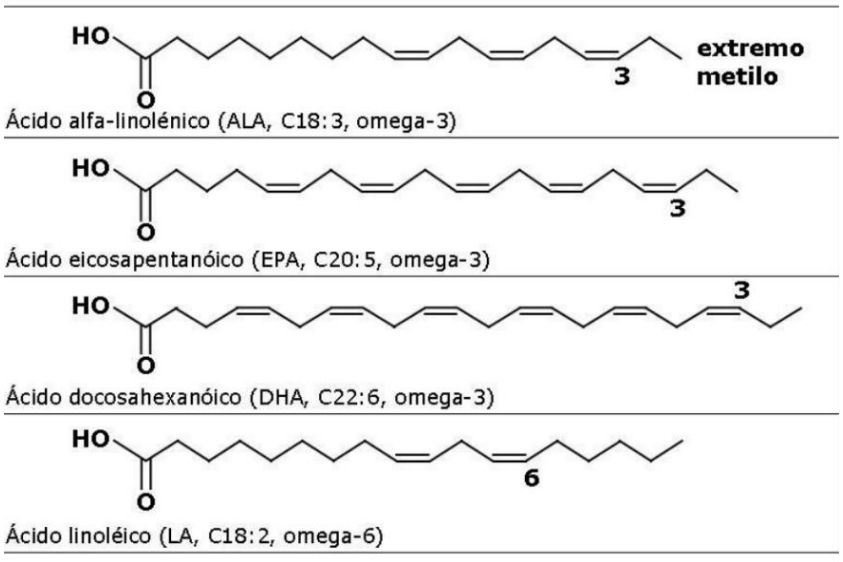
Analizar la incidencia de las principales variables de proceso en la metodología de secado por aspersión en el encapsulamiento de DHA/EPA sobre los descriptores de sabor, olor y textura de un alimento

Marco teórico

Los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI); son dentro de los ingredientes funcionales, un grupo de compuestos con tendencia marcada para la conservación de la buena salud y la prevención de algunas enfermedades. Existen dos familias de AGPI: la familia n-6 y la familia n-3. La familia de AGPI n-6 se deriva del ácido linoleico (LA), con dieciocho carbonos y dos dobles enlaces, se caracteriza por tener su primer doble enlace en carbono número 6 de la cadena, contado desde el metilo del extremo de la misma. La familia de AGPI n-3 deriva del ácido α-linoleico (ALA), con dieciocho carbonos y tres dobles enlaces, cuyos ácidos grasos tienen su primer doble enlace en carbono número 3 de la cadena (Fig. 1). Tanto el linoleico como el α-linoleico son ácidos grasos esenciales, ya que no pueden ser sintetizados por el organismo y, por tanto, deben ser aportados en la dieta. (Carrero, Baró, Fonollá, Jiménez, & López-huertas, 2005)

Ilustración 1. Estructura química del ácido alfa-linoleico (ALA), ácido eicosapentanoico (EPA) y ácido docosahexanoico (DHA) y ácido linoleico (LA).

Ambos son AGPI de cadena larga (18 átomos de carbono), precursores del resto



de AGPI omega-3 (n-3) y omega-6 (n-6), respectivamente. El 95% del LA y el 85% del ALA ingerido se utilizan para la obtención de energía a partir de la β-oxidación. Sólo un pequeño porcentaje restante sirve para la generación de otros AGPI y eicosanoides. La afinidad del ALA por algunas enzimas como la desaturasa-6 es mayor que la del LA, así que es recomendable un equilibrio dietético entre ellos para no bloquear la conversión hacia sus metabolitos finales: componentes básicos de las membranas celulares, y precursores de eicosanoides. Teóricamente, ninguno de los derivados del LA y del ALA es esencial, aunque ha podido observarse que en humanos, la producción de los ácidos araquidónico, eicosapentaenoico (EPA) y docosahexaenoico (DHA) es muy reducido, particularmente en situaciones como prematuridad, envejecimiento y enfermedades hepáticas, donde las principales vías enzimáticas están limitadas. (Matía-Matína & Charro-Salgadob, 2006).

Las fuentes más ricas en DHA y EPA son los aceites de pescado y el pescado azul. Su alto contenido, es consecuencia del consumo de fitoplancton (rico en AGPI n-3), que contribuye a la adaptación de los peces a las aguas frías. El contenido de AGPI n-3 varía en función de la especie de pescado, su localización, la estación del año y la disponibilidad de fitoplancton. (Carrero et al., 2005).

Las funciones más importantes de los AGPI son:

- Como constituyentes de los fosfolípidos de la membrana celular parece contribuir a varias de sus propiedades, como fluidez, flexibilidad, permeabilidad y modulación de la unión de otros ligados. Los AGPI son cruciales para el adecuado funcionamiento de la retina y de la sinapsis del sistema nervioso. (Matía-Matína & Charro-Salgadob, 2006). Los ácidos grasos de aceite de

pescado: el ácido eicosapentanoico (EPA; 20:5 n-3) y el ácido docosahexanoico (DHA, 22: 6 n-3), se incorporan a los fosfolípidos de células inflamatorias. Parece probable que los mediadores explican muchas de las acciones antinflamatorias de los ácidos grasos n-3. (James, Gibson, & Cleland, 2000)

- Los efectos positivos de la ingesta de alimentos enriquecidos en ácidos grasos poliinsaturados, n3, en la salud de los AGPI están relacionados principalmente con la enfermedades cardiovasculares, para ser más específicos, se han demostrado efectos en la prevención de muerte súbita por infartos al miocardio con la inclusión de DHA y EPA en la dieta; estos nutrientes pueden ser usados como tratamiento en arterioesclerosis e hiperlipidemia; muestran también un efecto en la reducción del colesterol en la sangre y en pacientes con hipertensión (Arab-tehrany et al., 2012). Sin embargo sigue siendo objeto de estudio las ingestas apropiadas en la dieta para prevención de enfermedades, como por ejemplo arritmias, y como alternativa farmacológica en la corrección de las mismas, como por ejemplo isquemia coronaria. (Saravanan, Davidson, Schmidt, & Calder, 2010)

Los AGPI constituyen aproximadamente el 30 % de la membrana cerebral (haciendo parte de los fosfolípidos), por este motivo, se les han atribuido otras de sus funciones benéficas, modificando factores de riesgo en enfermedades como demencia vascular y Alzheimer; mediante la integración de la membrana cerebral y otras funciones neurales, que promueven estos compuestos. Estudios en animales han demostrado con la inclusión de DHA; la excitabilidad de la membrana celular, aumento

de los niveles neurotransmisores y disminución del daño cerebral. (López-pousa & Lombardía, 2008)

Numerosos estudios epidemiológicos en humanos han relacionado de forma directa a los lípidos de la dieta con el aumento del riesgo de padecer ciertos tipos de cánceres, especialmente de mama, colon, recto, próstata y ovarios; aunque ciertos estudios sugieren que no es la cantidad sino la calidad de la grasa lo realmente importante en el desarrollo de esta enfermedad. Con base a lo anterior las evidencias de inhibición de carcinogénesis, en estudios in vitro y en animales con presencia de DHA y EPA, están incrementando. Se han propuesto incluso mecanismos en los cuales los AGPI pueden modificar los procesos de desarrollo de cáncer, con influencia en la transcripción genética y detención de desarrollo de radicales libres, promotores de algunos tipos de cáncer. (Larsson, Kumlin, Ingelman-sundberg, & Wolk, 2004)

En las formulas infantiles la inclusión de DHA y EPA es el objeto de estudio con mayor tendencia en las investigaciones de efectos benéficos diferentes a salud física. Si bien se han obtenido algunos resultados contradictorios; se ha encontrado que el tipo de población y la edad de los niños para inclusión de estos ácidos grasos, son factores determinantes para lograr un objetivo benéfico; por ejemplo en la capacidad de desarrollo del lenguaje e incremento de la lectura en niños en edad escolar y con una inclusión en la dieta desde los 2 años aproximadamente; donde empieza el proceso de maduración cerebral. (Drover et al., 2012)

Por otro lado, incluso estudios recientes han encontrado que bajos niveles de DHA en niños, pueden ocasionar desordenes psiquiátricos, dislexia, displasia y fenómenos de autismo. (Birberg-thornberg, Karlsson, Gustafsson, & Duche, 2006)

La introducción de ingredientes como DHA y EPA dentro de productos nutraceuticos y alimentos funcionales dirigidos a niños está incrementando notoriamente con el fin de promover a largo plazo el desarrollo cognitivo y motor en etapas posteriores de la vida; así como incrementar el desarrollo neuronal y visual. La inclusión de DHA y EPA es importante desde el periodo de gestación, numerosos estudios han evidenciado los efectos benéficos en los niños de madres cuya dieta tiene en cuenta la inclusión de estos AGPI. (Arab-tehrany et al., 2012)

En personas adultas, sobre todo mujeres, se han realizado estudios relacionados con en el consumo de AGPI y la disminución de niveles de depresión. En forma general se puede decir que los AGPI, n-3, desempeñan dos roles esenciales en el sistema nervioso central: 1) estructural y 2) en la neurotransmisión. Los AGPI n-3 y n-6 se encuentran formando parte de los fosfolípidos de las membranas celulares, los que influencian las actividades de las moléculas unidas a las membranas (receptores, enzimas y transportadores). (Membranes, Depressed, & Patients, 2008)

Estudios experimentales en animales muestran que dietas ricas en AGPI, permiten la reparación de disturbios en las funciones neuronales. Desde hace 10 años aproximadamente, está emergiendo el tratamiento con estos componentes para combatir desórdenes como depresión y esquizofrenia. (Sinclair, Begg, Michael, & Weisinger, 2007)

Aunque no hay estudios que determinen una ingesta diaria recomendada (DRI) para EPA y DHA, se recomienda que aproximadamente el 10% del rango aceptable de ALA puede ser consumido como EPA y / o DHA. Esta recomendación representa ingesta media actual de la EPA y DHA en los Estados Unidos (E100mg/día), que es

mucho menor que lo que muchos grupos en todo el mundo están actualmente recomendando. (Kris-Etherton, Grieger, & Etherton, 2009)

Introducir los ácidos grasos poliinsaturados, como los de aceite de pescado, a los alimentos conduce a la pérdida de la vida útil, la aceptabilidad del consumidor, entre otras. El contacto con el oxígeno, la luz, la calefacción y la irradiación acelera la oxidación de lípidos, disminuyendo la estabilidad y la vida útil de los productos que contienen los AGPI. La oxidación lipídica provoca 3 problemas principales: da lugar a la formación de malos sabores, reduce el valor nutricional de productos alimenticios que contienen lípidos, y se producen radicales libres formados durante la oxidación.

Por este motivo, los ácidos grasos que se incorporan a los alimentos deben estar protegidos contra la oxidación, lo que se logra, generalmente, por medio de encapsulación, que ayuda a protegerlos de la luz, el daño por calor, y suprimir o retardar su oxidación. La eficiencia de este mecanismo de protección depende de la selección del agente encapsulante, la formulación y las condiciones de procesamiento utilizado para la producción de micro cápsulas. (Arab-Tehrany et al., 2012)

La encapsulación se puede definir como una técnica por la cual gotas líquidas, partículas sólidas o gaseosas, son cubiertas con una película polimérica porosa. Esta membrana, barrera o película está generalmente hecha de componentes con cadenas para crear una red polimérica. (Fuchs et al., 2006)

La estructura formada por el agente encapsulante alrededor de la sustancia encapsulada (núcleo) es llamada pared; esta protege el núcleo contra el deterioro y

ayuda a la liberación bajo condiciones deseadas. (Dutta, Tripathi, Mehrotra, & Dutta, 2009)

En alimentos, las aplicaciones de esta técnica, ayudan a que los materiales empleados resistan las condiciones de procesamiento y empacado; mejorando sabor, aroma, estabilidad, valor nutritivo y apariencia. Hoy en día muchas sustancias pueden ser encapsuladas, en partículas de polvo sólidas o en emulsiones estructuradas, como: vitaminas, minerales, colorantes, prebióticos, probióticos, sabores, nutracéuticos, antioxidantes, aromas, aceites, enzimas, bacterias, perfumes, semillas, enzimas, fitoesteroles, ácidos grasos drogas e incluso fertilizantes.

Las técnicas de encapsulación han permitido solucionar algunos problemas en relación con las aplicaciones de ingredientes y aditivos alimenticios, puesto que pueden controlar la eliminación de sabores residuales, así como reducir volatilidad, higroscopicidad y reactividad; incrementando la estabilidad de productos bajo condiciones ambientales adversas. (Favaro-trindade, Santana, Monterrey-quintero, Trindade, & Netto, 2010)

Agentes encapsulantes

Un factor de gran importancia para la encapsulación son los agentes encapsulantes utilizados, dentro de los cuales podemos encontrar diferentes tipos como:

Lípidos

Dentro de los principales agentes encapsulantes de carácter lipídico están: grasa láctea, lecitinas, ceras, ácido esteárico, monoglicéridos, diglicéridos, aceites

hidrogenados; son excelentes formadores de películas capaces de cubrir las partículas individuales, proporcionando una encapsulación uniforme. (Murúa-pagola, Beristain-guevara, & Martínez-bustos, 2009)

Carbohidratos

Son ampliamente utilizados, principalmente con 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. (Murúa-pagola et al., 2009).

Almidón:

Dentro de los almidones más importantes se destacan el de papa, maíz, trigo y arroz. (Saénz, Tapia, Chávez, & Robert, 2009)

Maltodextrina

Se elabora por métodos de hidrólisis ácida o enzimática de los almidones. En la selección de materiales para encapsular, la maltodextrina ofrece una buena relación costo-beneficio; tiene baja viscosidad a alta proporción de sólidos, es inodora, incolora, además permite la formación de polvos de libre flujo. (Saénz 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 son versátiles para la mayoría de los métodos de encapsulación (Murúa-pagola et al., 2009). Como ejemplos se tienen goma guar, goma xanthan, goma arábiga, carboximetil celulosa.

Alginato

Es un polímero no tóxico, biocompatible, y de fácil solubilización, extraído a partir de algas y utilizado como un agente encapsulante. (Leimann, Gonçalves, Machado, & Bolzan, 2009)

Quitosano

Es un polisacárido lineal, con un uso bastante amplio en la industria de alimentos, se destaca como antioxidante y antimicrobiano. (Marcuzzo, Sensidoni, Debeaufort, & Voilley, 2010)

Proteínas

Alimentos hidrocoloides, son ampliamente utilizados como encapsulantes, por ejemplo: caseinato de sodio, proteína de lactosuero, aislados de proteína de soya, gluten y gelatina, esta última utilizada por sus buenas propiedades de emulsificación, formación de películas, solubilidad de agua y biodegradabilidad. (Murúa-pagola et al., 2009)

Adicionalmente, se usan otros agentes encapsulantes como el alcohol poli vinílico, que es un polímero hidrofíilico que puede ser empleado como material formador de pared en capsulas. Membranas de nylon han sido utilizadas para encapsular y atrapar ingredientes.

También se debe tener en consideración las técnicas o procesos utilizadas para encapsular; la selección del proceso está en función de: el tamaño de la partícula requerida, las propiedades físicas del agente encapsulante, la sustancia a encapsular,

las aplicaciones del material encapsulado propuesto, el mecanismo de liberación deseado y el costo.

Las técnicas de encapsulación pueden ser divididas en dos grupos: químicas y mecánicas.

Procesos químicos

Coacervación

Consiste en un soluto polimérico separado en forma de pequeñas gotas líquidas, que constituye el coacervado. Su deposición se hace alrededor de las partículas insolubles dispersas en un líquido forma cápsulas incipientes, este fenómeno se presenta en soluciones coloidales y se considera como el método original de encapsulación. Esta técnica ha sido ampliamente utilizada para la producción de micro cápsulas de alcohol poli vinílico, gelatina y otros polímeros. (Astolfi-filho, Souza, Reipert, & Telis, 2005)

Co-cristalización

Es un proceso de encapsulación donde dos ingredientes son incorporados en un conglomerado poroso de microcristales 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-filho et al., 2005). Numerosos productos como jugos de frutas, aceites esenciales, saborizantes, aromatizantes y azúcar morena, etc. pueden ser encapsulados usando este método.

Polimerización interfacial

En este proceso se produce la polimerización de un monómero en la interface de dos sustancias inmiscibles, formando una membrana, que dará lugar a la pared de las cápsulas. 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 cápsulas de la fase orgánica y su transferencia en agua para dar una suspensión acuosa.

Gelificación iónica

Existen dos técnicas de gelificación:

1. Gelificación externa: En la gelificación externa, la sal de calcio soluble es agregada a una emulsión A/O. El tamaño de partículas tiende 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.

2. Gelificación interna. La gelificación interna se basa en la liberación del ion calcio desde un complejo insoluble en una solución de carbohidratos con sodio. Se lleva a cabo por acidificación de un sistema aceite-ácido soluble, con participación en la fase acuosa. Permite obtener partículas de un tamaño de aproximadamente 50 µm. A la fase acuosa, generalmente formada por alginato y carbonato cálcico, se le adiciona la fase oleosa. (Adolfo & Huertas, 2011)

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, formando una película que los engloba. (Adolfo & Huertas, 2011).

Atrapamiento en liposomas

Son capas 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 (Adolfo & Huertas, 2011)

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 del agente encapsulante, el caso más representativo de este tipo de encapsulamiento son las ciclodextrinas. (Atmane Madene & Jacquot, 2006)

Procesos mecánicos

Secado por aspersión

Este es el método más común de encapsulación de ingredientes alimenticios, por ser más económico comparado con otras técnicas (Semyonov et al., 2010), fácil disponibilidad de equipamientos, costos de procesamiento bajo, buena estabilidad del producto final y flexible. (Favaro-trindade et al., 2010). Se usa exitosamente con vitaminas (C, E), ácido fólico, aromas, orégano, coronela, aceite de cardamomo, bacterias probióticas, lípidos, ácido linoleico, aceites vegetales; minerales como hierro; pigmentos de antocianina y leche entre otros alimentos.

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%.

Dentro de los parámetros generales, más importantes a controlar durante el secado por aspersión se pueden mencionar: 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, entre otros (Lopez, 2010)

El proceso de secado por aspersión involucra tres etapas: preparación de la dispersión, solución o emulsión, homogeneización y atomización. Este proceso consiste en secar el material que se encuentra en estado líquido, formándose finas gotas sobre una corriente de gas caliente, cuando las pequeñas gotas del líquido toman contacto con el gas, a una mayor temperatura, se produce una rápida evaporación del solvente, formándose una fina película del material de recubrimiento en que se encuentra. En este método el componente o sustancia a encapsular es rodeado por una matriz

protectora, normalmente un polímero como goma, maltodextrina, almidón y carboximetilcelulosa. (Gharsallaoui & Chambin, 2007) (Parize et al., 2008)

Esta técnica se puede aplicar a materiales hidrosolubles, aceites de pescado (DHA y EPA), pigmentos naturales, concentrado de células probióticas y leche en polvo (Kulozik, Heidebach, & Fo, 2009).

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 involucra la dispersión de ingredientes solubles en agua, en una grasa fundida o cera; esta dispersión se realiza, por ejemplo, a través de inyectores con calefacción dentro de una cámara a temperatura ambiente o temperatura de refrigeración, entre otros métodos para la preparación de dispersiones. Las micro cápsulas son insolubles en el medio y, por ello podría ser liberado su contenido cuando la temperatura del producto alimenticio aumenta por encima de la temperatura de fundición de la grasa o cera.

Las coberturas empleadas usualmente son aceites vegetales de alto punto de fusión, 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. (Adolfo & Huertas, 2011)

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, extrudiendo la mezcla en forma de esferitas (pellets) dentro de un baño con un disolvente frío como el isopropoanol. (Adolfo & Huertas, 2011)

Dentro de los estudios de inclusión de DHA/EPA, encapsulados que han tenido incremento en los últimos años; se han evaluado por ejemplo la formación de nano liposomas, estos proporcionan un sistema biocompatible para la estabilización de ácidos grasos omega-3. De acuerdo a lo anterior, diferentes métodos se podrían implementar para preparar nano liposomas por hidratación de película delgada para encapsular ácidos grasos omega-3. Algunos de estos métodos son: (Hadian, Ali, Reza, & Barzegar, 2014):

a) Extrusión, irradiación ultrasónica

b) Baño de sonicación

c) Sonicación con sonda

d) Combinación de sonicación con sonda y baño de sonicación

También se ha investigado la estabilidad del aceite de pescado encapsulado preparado con 2 procesos de producción diferentes: 1). Aspersión por granulación (SG) y 2). Revestimiento de película, utilizando un equipo de lecho fluidizado. Esta

investigación sugiere que la película de recubrimiento por (Hidroxi propil beta ciclodextrina) no es una buena opción para proteger aceite de pescado en polvo y puede inducirla oxidación; sin embargo, la SG (Aspersión granular) es un buen método para la producción de aceite de pescado en polvo y para protegerlo de la oxidación. (Anwar, Weissbrodt, & Kunz, 2010)

Se han realizado aplicaciones en pan utilizando diferentes niveles de ácidos grasos poliinsaturados, n-3, en polvo micro encapsulados. En estos, se monitoreó la estabilidad oxidativa de los AGPI en pan durante el almacenamiento por 7 días utilizando evaluaciones sensoriales y el porcentaje de recuperación de EPA y DHA por cromatografía de gases, determinaciones de oxidación de lípidos por el valor de peróxido y valor de anisidina.

En este estudio la recuperación de EPA and DHA fue alta (80-89%) y la oxidación los lípidos fue baja después de la cocción y el almacenamiento, se mostró que el polvo encapsulado es estable en pan. Se obtuvo además una palatabilidad aceptable incluso después de un almacenamiento de 3 días. (Lu & Norziah, 2011)

Metodología

Revisión General de los agentes encapsulantes compatibles para recubrir el DHA / EPA y análisis de variables de proceso

Se enunciaran los materiales más usados en la encapsulación de fuentes oleosas para la obtención de DHA y EPA mediante secado por aspersión, se hará énfasis en aquellos que puedan tener una mayor eficiencia en el recubrimiento resumirá

Se describirán las principales variables de proceso y su incidencia en el proceso de encapsulación y desempeño sensorial del producto final obtenido después el secado por sí mismo y aplicado en una matriz alimentaria

Revisión del Estado del arte: Aplicaciones DHA/EPA encapsulado en alimentos

Se revisarán las importaciones de DHA/EPA encapsulado para tener un estimado de posibles aplicaciones en alimentos en el mercado colombiano

Se hará la revisión general de la incorporación de este tipo de productos en algunos alimentos, y se revisará que ingestas son las recomendadas de estos ingredientes.

Resultados esperados

Con el presente trabajo se esperan obtener resultados desde las siguientes perspectivas:

Social

Promover la investigación acerca de otros ingredientes funcionales, diferentes a vitaminas y minerales, como parte esencial de una nutrición balanceada; sobre todo en los casos que se requieran suplementos alimenticios cuando el acceso a los alimentos, principalmente fuentes de omega 3, es limitado y resaltar la importancia de estos compuestos en la dieta alimenticia ya que su consumo puede ser benéfico para el funcionamiento del sistema cardiovascular, el corazón, el cerebro, el sistema nervioso y el desarrollo de las funciones cognitivas de los niños

Económica.

Proponer una metodología práctica para encapsular ácidos grasos que por su fuente de extracción, pueden promover su uso en un mayor número de aplicaciones y matrices compatibles con ingredientes como DHA y EPA que resultan ser funcionales en diversos tipos de alimentos ofrecidos en la industria y potencian la producción local de productos de alto valor agregado.

Profesional

Estrechar las relaciones Universidad- Empresa con un proyecto que puede ser llevado a cabo de manera conjunta en pro de obtener productos diferenciados que están acorde con el mejoramiento de la salud y la nutrición.

Resultados

Incorporación de DHA y EPA en la dieta y aplicaciones comunes

La incorporación de DHA/EPA dentro de la alimentación, ya sea voluntaria o suplementada, ha estado limitada al consumo de pescado y de aceite extraído del mismo. Existe un grupo de alimentos, productos lácteos, como yogur, mantequilla, leche y crema agria, que debido a su estado de emulsión natural, han demostrado ser una excelente matriz para la fortificación de aceite de pescado. En quesos por ejemplo se han realizado estudios con resultados contradictorios o limitados a la dosificación tolerable antes de percepción de residualidad en cuanto a sabor. En el caso del queso de cabra fortificado con diferentes niveles de aceite de pescado purificado, antes de la formación de la cuajada, para maximizar la entrega de EPA y DHA por porción, el sabor para la mayoría de los panelistas fue picante, agudo y ácido, solo un pequeño número de panelistas percibió oleosidad en el queso fortificado. Estos resultados tienen implicaciones positivas para la fortificación con aceite de pescado en este tipo de productos; caso contrario se presenta en el queso chédar donde el olor a pescado si puede ser más evidente (Hughes, Brian Perkins, Calder, & Skonberg, 2012)

Hasta la fecha, la mayoría de las inclusiones de omega-3 han utilizado formulaciones basadas en aceite de linaza. Sin embargo, estas formulaciones no contienen ácido eicosapentaenoico (EPA) y ácido docosahexaenoico (DHA). El aceite de linaza es rico en ácido alfa-linoleico (ALA); aunque similar en su estructura, los beneficios de ALA, EPA y DHA son diferentes. El ALA es precursor de los nutrientes no esenciales: DHA y EPA, y el cuerpo debe convertir ALA en DHA y EPA; un proceso que

requiere unos 11 gramos de ALA para producir 1 gramo de DHA y EPA; por lo que puede decirse que el grado no conversión no es tan efectivo partiendo de esta fuente (Berry, 2007).

A pesar de ser una excelente fuente de DHA y EPA; el consumo directo de aceites marinos, en la dieta se dificulta por sus propiedades sensoriales, mencionadas anteriormente, y por su alta inestabilidad a la luz, temperatura, oxígeno, radicales libres entre otros, que ocasionan la oxidación irreversible de los mismos y la rancidez del alimento donde estén presentes.

Por lo tanto, la industria ha desarrollado diferentes procedimientos tecnológicos para optimizar el consumo de estos ácidos. Algunos de ellos son los siguientes (Valenzuela & Sanhueza, 2009):

Refinación y desodorización

Permite obtener aceites con mejores características organolépticas conservando el contenido original de DHA y EPA. Después de este proceso los aceites pueden ser encapsulados para consumo directo o micro encapsulados para ser incorporados en matrices alimentarias (leches en polvo, cereales, productos de panificación etc.)

Encapsulación

En este proceso se ha convertido el aceite en un polvo dispersable que pueda incorporarse en alimentos considerados como funcionales aportando una cantidad significativa de omega-3. Lee, Zealand y Ying, 2015 han visualizado una forma efectiva promisoria para portar de manera eficaz ácidos grasos poliinsaturados en diversa formulas alimentarias. La biodisponibilidad de estos ácidos grasos micro encapsulados

es promisoria Vs. el consumo de los aceites de pescado nativos; ya que no se encuentran diferencias significativas en estudios de absorción, solo se mejora el comportamiento de estos ingredientes en la matriz alimentaria (Lee, et al., 2015)

Fraccionamiento

Los aceites se someten a bajas temperaturas, con lo cual se separan por cristalización fracciones de mayor punto de fusión, quedando como remanente fracciones con menor punto de fusión y con mayores concentraciones de DHA/EPA (Valenzuela & Sanhueza, 2009)

Hidrolisis enzimática

Mediante procedimientos químicos o enzimáticos se separan los ácidos grasos del resto de triglicéridos que componen el aceite, generándose glicéridos parciales con DHA y EPA, los cuales pueden ser adicionados a alimentos con alto contenido de agua (jugos, bebidas, salsas etc.) debido al carácter emulsificador de los mismos. Las transformaciones enzimáticas de aceites marinos, que contienen omega-3, representan una atractiva alternativa, que se lleva bajo condiciones suaves y que no produce componentes de degradación indeseados (Moreno-pe & Fernandez-lorente, 2014)

Obtención de ácidos grasos en forma de esteres etílicos: Requiere de la liberación de ácidos grasos de los triglicérido y su transformación a esteres con alcohol etílico. Por separación posterior se pueden obtener altas concentraciones de DHA y EPA en forma de esteres. Este procedimiento resultad bastante costoso y con su mayoría de aplicaciones en el sector médico para tratamientos nutricionales específicos (Ying & Li, 2014)

Para obtener altas concentraciones de DHA/EPA, esta técnica puede ser efectiva; ya que la refinación y la destilación de aceites puros de pescado, no son efectivas por si solas. El DHA y EPA normalmente están ocupando la posición sn-2 del triacyl glicerol, por lo que la transesterificacion con alcohol para la obtención de ésteres de EPA y DHA resulta ser más efectiva con concentraciones de 39% y 65% respectivamente (Tsai, et al, 2012)

Existen otras formas de incorporar DHA/EPA a partir de diversas fuentes, que podrían reemplazar el aceite de pescado, y que están siendo objeto de estudios (Valenzuela & Sanhueza, 2009):

- Micro algas de cultivo, capaces de acumular cantidades importantes de AGPI, pero que resulta ser un método costoso por las áreas y medios de cultivo, desarrollo de bioreactores y extracción de biocompuestos, entre otros.
- Extracción de DHA/EPA de fosfolípidos extraídos de huevos de Gallina, suplementadas con omega-3: Tecnología emergente con aún pocas aplicaciones pero que también parece promisoria.
- Extracción de aceite rico en omega-3 a partir de semillas de Chía, Canola, Soja y Girasol. Aún no tienen estudios disponibles de conversión de omega-3 a DHA/EPA como tal.

Los aceites de pescado más disponibles en el mercado son aceites extraídos de es especies como: anchoa, capelin, bacalao y hígado de bacalao, arenque, meckerel, menhaden, atún y arco iris. Los contenidos de DHA y EPA varían en los rangos entre 2-28% y 4-33% respectivamente (Lee et al., 2015). Teniendo en cuenta que estos AGPI son altamente no polares con baja solubilidad en agua; los procesos de micro

encapsulación con sistemas basados en emulsiones permiten introducir estos lípidos en productos que tiene una base acuosa. (Zhang, et al, 2014)

Encapsulación de aceite de pescado, agentes encapsulantes

Algunas de las técnicas descritas se han utilizado para encapsular aceites de pescado para incorporación en matrices alimentarias:

Encapsulación usando secado por congelación (Emulsiones liofilizadas)

La liofilización puede ser utilizada para realizar un secado suave de ingredientes sensitivos a bajas temperaturas; esta técnica podría ser usada para productos que contienen aceites de omega 3 (Katrin Heinzelmann, 1999), sin embargo el costo comercial de este proceso es muy alto comparado con técnicas de secado convencionales; esta técnica es usada para tratar ingredientes como bacterias prebióticas. Los polvos producidos por secado por congelación tienden a ser más porosos en su estructura lo que puede disminuir la estabilidad de los mismos e incrementar el costo de transporte y almacenamiento.

Encapsulación usando aspersión por enfriamiento y refrigeración

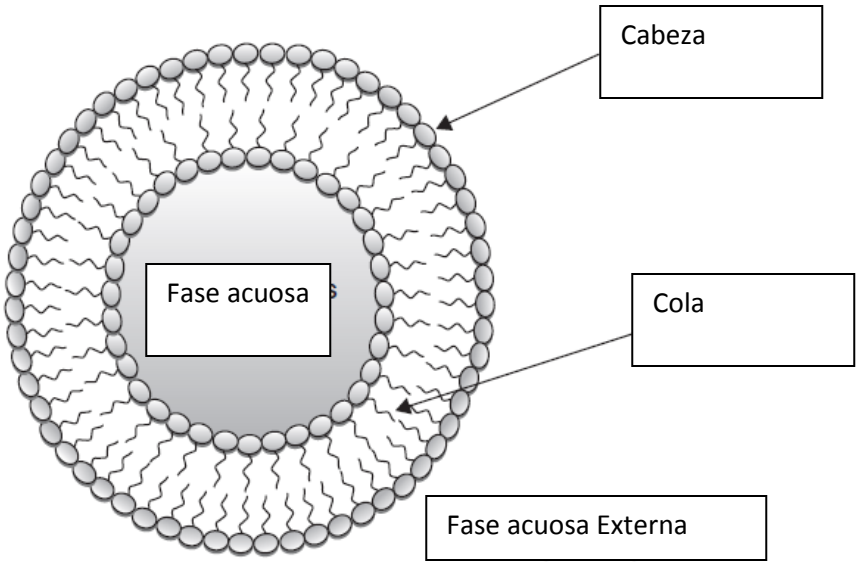
Este proceso es similar al secado por aspersión, ya que involucra la emulsificación de un ingrediente encapsulado en un material de recubrimiento, seguido por la aspersión de la emulsión fuera de la boquilla. La principal diferencia es la temperatura de refrigeración de la cámara y el tipo de material que recubre. En esta técnica se utilizan grasas de alto punto de fusión, como material recubrimiento. Durante el enfriamiento la capa grasosa se solidifica con el ingrediente funcional inmovilizado en ella. Este método ha sido usado para la encapsulación de aceites de omega 3, sin embargo no ha sido exitoso, porque el material del recubrimiento se puede disolver

durante el procesamiento de los alimentos, causando dispersión por ejemplo en bebidas. Aceite de pescado rico en DHA y EPA encapsulado por otros métodos, como secado por aspersión o co-acervación, puede ser sometido a aspersión por enfriamiento, de esta manera por ejemplo un ingrediente encapsulado con una proteína puede ser recubierto por una capa de grasa, sin embargo, si el recubrimiento no es completo la proteína puede migrar al alimento donde se incorpora.(Barrow, et al, 2013)

Encapsulación usando atrapamiento en liposomas

Es una técnica de encapsulación, donde se utilizan liposomas como material recubriente en la protección de ingredientes, que ha sido comúnmente usada en aplicaciones farmacéuticas con el fin de controlar la liberación del ingrediente encapsulado; sin embargo en años recientes esta tecnología fue utilizada en aplicaciones de alimentos. Los fosfolípidos son los agentes encapsulantes más empleados en esta técnica, una vez mezclados con el agua sufren un re arreglo como se muestra en la figura 2.

Ilustración 2. Rearreglo de fosfolípidos en la técnica de atrapamiento por liposomas (Barrow et al., 2013).



Ingredientes solubles en agua y lípidos pueden ser encapsulados al mismo tiempo con esta técnica. Los solubles en agua pueden ser atrapados dentro de las gotas y los solubles en lípidos en el material de recubrimiento. Una de las ventajas de este técnica es que los ingredientes encapsulados exhiben una alta actividad acuosa comparados con otras técnicas como secado por atomización, extrusión y secado por lecho fluilizado. La encapsulación con liposomas de aceites ricos en DHA, por ejemplo, los protege de la peroxidación (Kazuhiro Kubo, Seiji Sekine, 2003). Ha sido demostrado que componentes hidrofóbicos pueden ser incorporados eficientemente en la membrana lipídica del liposoma. Sin embargo los altos costos y la baja estabilidad fisicoquímica durante el proceso limitan su uso en la encapsulación general de aceites ricos en omega 3. (Barrow et al., 2013)

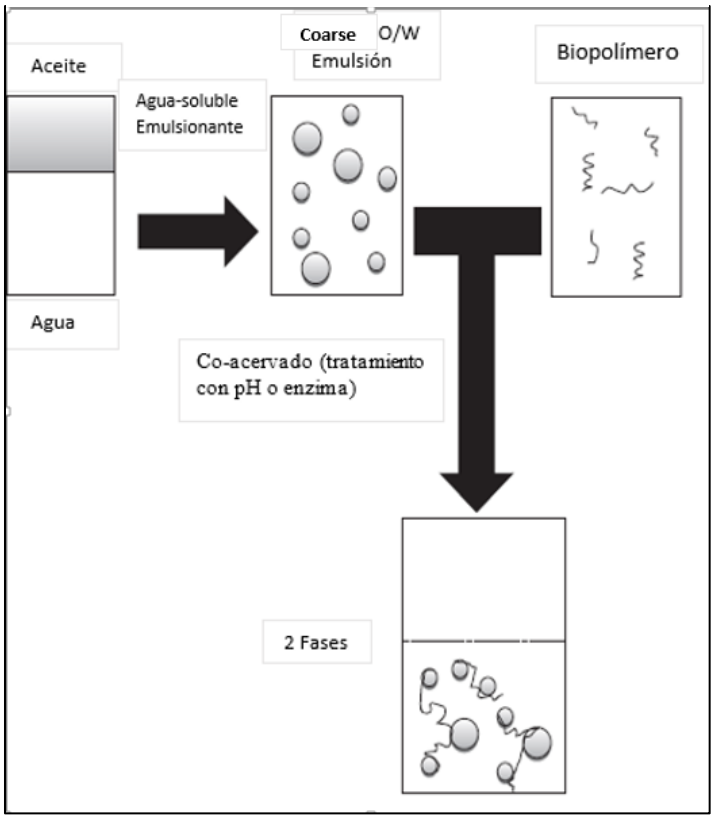
Encapsulación usando complejos de coacervación

La coacervación es un fenómeno que está asociado con las sustancias coloidales. Un sistema coloidal está constituido por dos fases, una líquida continua y otra altamente dispersa en el líquido, formando partículas muy pequeñas.

En algunas ocasiones, la modificación de algunas características en un sistema coloidal, tales como cambio en el pH o la adición de una sal, puede producir una disminución de la solubilidad de la macromolécula, provocando su separación en una nueva fase. De manera que pueden distinguirse, en este sistema, dos zonas, una rica en sustancia coloidal y la otra que contiene una baja proporción de la macromolécula. En la fase rica en coloide, la macromolécula puede quedar constituyendo una fase en forma de pequeñas gotas al estado líquido. Este fenómeno se denomina coacervación y las pequeñas gotas forman el estrato líquido llamado coacervato. Cuando este se forma y en condiciones favorables, puede producir la microencapsulación de pequeñas partículas sólidas o gotas de líquido inmiscibles que se encuentren en la interfase. En la figura 3 se esquematiza el proceso de coacervación donde se obtienen dos fases.

Los complejos por coacervación pueden ser usados para encapsular una gran variedad de ingredientes líquidos incluyendo los aceites de pescado ricos en DHA y EPA. Los complejos coacervados de proteínas-polisacáridos y proteínas-poli fosfatos han sido usados en la encapsulación de aceites de omega 3 con una liberación eficiente en bebidas y variedad de alimentos. Como ejemplos se pueden mencionar materiales encapsulantes como: gelatina-goma arábiga, B-lactoglobulina-pectina, proteína de soya-carragenina, gelatina-hexametafosfato de sodio entre otros (Barrow et al., 2013).

Ilustración 3. Esquema general del proceso de coacervación



Fuente: (Barrow et al., 2013)

Lamprecht y colaboradores, prepararon capsulas enriquecidas con omega 3 usando complejos de coacervación utilizando gelatina y goma acacia. Este trabajo indico que los recubrimientos endurecedores, seguidos de lavados con etanol exhiben una buena estabilidad oxidativa utilizando esta técnica (Lamprecht, 2001).

Dos tipos de complejos de coacervación son usados para encapsular aceites de pescado. El primero se refiere a un núcleo sencillo donde pequeñas gotitas son encapsuladas con un recubrimiento simple, cada partícula contiene primariamente una gotita de aceite. El segundo se refiere a núcleos múltiples que inicia con la disolución de dos polímeros: gelatina y poli fosfato en agua a un pH donde ambos tengan la misma carga, la solución es homogenizada formado una emulsión o/w; la gelatina actúa como

emulsificador en este sistema. En este caso, la coacervación es muy dependiente de pH, puesto que para que la interacción se produzca en buenas condiciones, es necesario que la gelatina se encuentre cargada fuertemente positiva, y esto ocurre cuando la solución está a un pH por debajo de su punto isoeléctrico. Para efectuar la microencapsulación por coacervación, es necesario que, una vez producida la separación de fase, se encuentre en la interfase el material formador del núcleo para que el polímero se deposite formando una película sobre él para lo cual también se ajusta la temperatura. (Barrow et al., 2013).

Una de las mayores ventajas de esta técnica en la encapsulación de aceites de pescado es que se pueden lograr encapsular el ingrediente con una eficiencia hasta del 80% y un tamaño de aprox. 50 µm. Una de las principales desventajas de la técnica es el estrecho rango de pH y de fuerza iónica en el que los coacervados son estables. (Bédié & Turgeon, 2008).

Resumiendo lo anteriormente mencionado para encapsulación de Aceites ricos en omega 3 por técnicas basadas en formación de emulsiones tenemos, **la tabla 1**

Tabla 1: **Resumen de técnicas de encapsulación en aceites de pescado y algunas propiedades obtenidas *(Gouin, 2004; Madene, Jaqquot, Scher, & Desobry, 2006)***

Técnica de encapsulación	Tamaño de partícula	Rendimiento %	Superficie oleosa	Biodisponibilidad
Coacervación simple	20-200 µm	Menor a 60	Baja	Alta
Coacervación compleja	5-200 µm	70 – 90	Muy baja	Alta
Secado por Aspersión	1-50 µm	Menor a 40	Alta	Media
Secado por congelación	1-100 µm	Menor a 40	Alta	Media
Atrapamiento por liposomas	0.1-1 µm	Bajo	NA	Alta
Secado por enfriamiento y refrigeración	20-200 µm	Oct - 20	NA	NA

Encapsulación secado por aspersión

El secado por aspersión es una operación unitaria común para convertir materiales líquidos como soluciones o suspensiones en polvos para mejorar su preservación, facilidad de almacenamiento, transporte, manipulación entre otros.

El producto que se va a secar, se atomiza (para formar una aspersión en pequeñas gotas) y se introduce en una cámara de secado, en donde las gotas se dispersan en una corriente de aire caliente. En las partículas, el agua libre se evapora rápidamente y se secan antes de que puedan llegar a las paredes del secador; el polvo seco que se obtiene se arrastra a través de la corriente de aire y otra parte cae al fondo de la cámara y luego se extrae mediante una corriente de aire hasta un colector de polvos o ciclón.

El concepto de secado por aspersión (Secado por Aspersión) se introdujo con fines comerciales en la década de 1920, y fue plenamente establecido a gran escala en

la década de 1980 (Landman & Masters, 1991; Masters, 2004). Actualmente, el secado por aspersión, es una práctica común en las industrias de alimentos y productos lácteos con la que se puede retener componentes bioactivos y nutrientes durante un período de tiempo más largo.

El secado por aspersión es un proceso en el cual la capacidad de producción puede variar notablemente entre muy baja (gramos de polvo por hora) y muy alta (hasta varias toneladas por hora), según diferentes factores tales como: El líquido o material a secar, la viscosidad de la solución, el flujo de alimentación, la temperatura de secado, la capacidad del equipo, entre otros.

A continuación se enumeran las principales ventajas de los procesos de secado por aspersión con respecto a otros procesos de secado (Mujumdar, 2004).

1. Secado de productos con características predeterminadas (tamaño, densidad, contenido de humedad y contenido de nutrientes) y tipos (polvo fino, gránulos y aglomerados)
2. La calidad del polvo permanece constante en toda la producción cuando las condiciones de secado son constantes
3. Se puede obtener un producto en polvo con un tamaño de partícula pequeño
4. Los productos secos se pueden empacar directamente sin procesos de molienda
5. El deterioro por calor de los productos secos es relativamente pequeño debido al poco tiempo de exposición a secado
6. Versatilidad del proceso, algunos equipos se pueden usar para secar un amplio rango de materiales líquidos.

La energía necesaria para operar el secado por aspersión es relativamente alta en comparación con otros procesos de deshidratación, debido a que no hay deshidratación mecánica involucrada durante este tipo de secado ya que la mayoría de agua se elimina usando solamente energía térmica, por esto el consumo de energía para la evaporación de agua durante el secado por aspersión puede ser 1,5 a 2 veces más alto que con otros procesos de evaporación (≈2250 kJ kg1). **En la tabla 2** se muestra el consumo de energía para diferentes procesos de deshidratación (Jumah, Mujumdar, & Raghavan, 1995; Nastaj, 1991; Straatsma, 1190).

Tabla 2. Consumo de energía en diferentes procesos de deshidratación. Jumah, Mujumdar, & Raghavan, 1995; Nastaj, 1991; Straatsma, 1190).

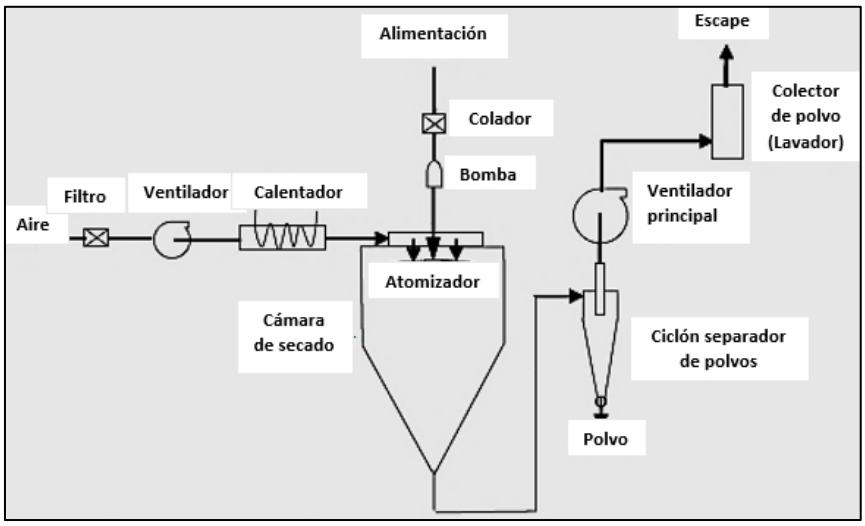
Procesos	**Consumo de energía (kJ por Kg de agua evaporada)**
Procesos por membrana	1400
Evaporador (seis efectos con termo compresión)	220
Secado en frío	>6000
Secado en tambor	2800-6000
Procesos de secado por aspersión:	
1. Proceso de secado simple	5000
2. Proceso integrado con lecho fluidizado	3500

Para la pulverización en gotas individuales se emplean atomizadores que pueden ser rotatorios (disco), boquilla de presión o de tipo neumático. El atomizador generalmente se encuentra en el centro de la cámara de secado.

Durante el secado, la humedad se evapora rápidamente de las gotas suspendidas debido a procesos de transferencia de calor y masa. El secado de las gotas continúa en el interior de la cámara de secado y posteriormente hay una separación de las

partículas secas de los gases de secado las cuales se pueden recoger en un equipo externo o ciclón.

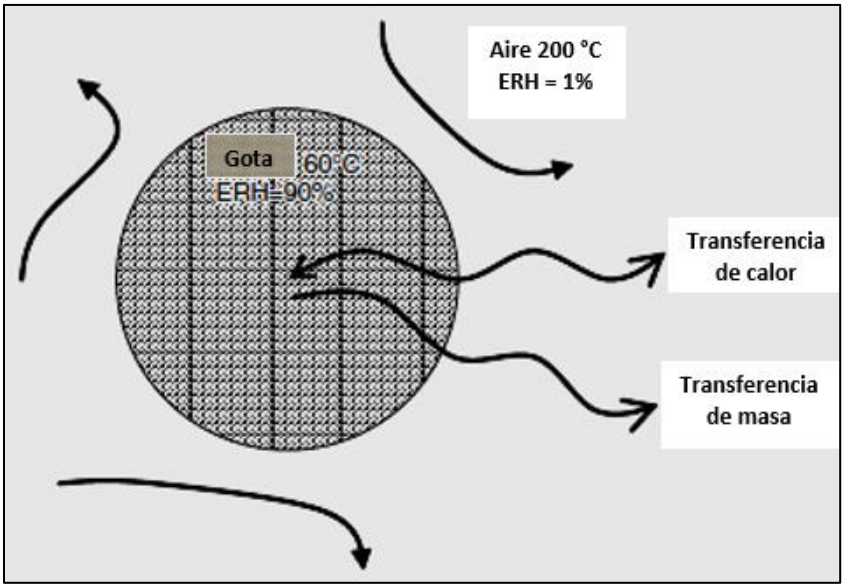
Ilustración 4. Diagrama esquemático del proceso de secado por aspersión Drying Technologies in Food Processing-Wiley-Blackwell (2008) Capitulo N° 4.



El ciclón es un dispositivo mecánico de recolección de polvos en el cual, el aire cargado de partículas penetra tangencialmente en una cámara cilíndrica cónica, en uno o más puntos, y sale de la misma a través de una abertura central. El ciclón es esencialmente una cámara de sedimentación en que la aceleración gravitacional se sustituye con la aceleración centrífuga.

La velocidad de evaporación durante el secado por aspersión está influenciada por diferentes factores como: La temperatura, la presión de vapor, el flujo del aire y el tamaño de partícula entre otros**, figura 5**

Ilustración 5. Diagrama esquemático para el secado de una sola gota, donde la velocidad de secado disminuye con la reducción de la temperatura y presión de vapor (humedad relativa). Drying Technologies in Food Processing-Wiley-Blackwell (2008) Capitulo N° 4.



Componentes de un sistema de secado por aspersión.

Un secador por aspersión o aspersión, debe consistir en al menos cuatro componentes principales, que son:

1. Suministros de fluidos y calor

2. Sistema de atomización

3. Cámara de secado

4. Colectores de producto

Dependiendo del diseño del secador, el número de etapas y el modo de secado, podría haber otros componentes adicionales tales como un secador de lecho fluidizado, secador de cinta, etc.

Suministro de gas y sistema de calefacción

En la mayoría de las operaciones de secado por aspersión relacionadas con los alimentos se utiliza aire tomado del ambiente como un medio de secado. Normalmente, el aire del ambiente se toma con la ayuda de un ventilador centrífugo a través de un sistema de filtro de aire (montado antes del calentador), que consiste en un ventilador de alta velocidad que induce al aire entrante a la cámara de secado pasar a lo largo de todo el sistema incluido el de separación del producto.

El calentamiento del aire puede ser directo con los gases de combustión (que salen desde el quemador). La humedad del aire caliente en la entrada del secador por lo general varía de 4 a 8 g de agua por kg de aire seco. Aire caliente con una humedad más alta (superior de 8 g de agua por kg de aire seco) puede resultar en un producto seco con un contenido de humedad ligeramente mayor.

Por la alta humedad del al aire de secado, otros parámetros de proceso tienen que ser ajustados a fin de compensar los cambios y lograr un producto final con el contenido de humedad deseado. Por ejemplo, se puede instalar una unidad de deshumidificación del aire antes del calentamiento.

El aire puede ser calentado usando diferentes sistemas como: Un sistema de contacto eléctrico, vapor, calentadores de aceite como combustible o de gas.

Por lo general, se monta un extractor de aire después del ciclón o ventilador de tiro inducido, este funciona normalmente a una potencia mayor que la del ventilador de suministro de aire o ventilador de tiro forzado, con el fin de compensar la caída de presión en la cámara de secado, los conductos y los ciclones.

La presión de aire en la cámara de secado es, por lo tanto, ligeramente inferior a la presión atmosférica. Una presión más baja ayuda a evitar la fuga de producto. El aire caliente entra en la cámara de secado a través de un dispersor de aire y esto proporcionar un flujo homogéneo de aire y la mezcla eficaz de aire caliente con las gotas dentro de la cámara.

Sistema de Atomización

La atomización, es la etapa de procesamiento más importante durante el secado por aspersión. Este paso produce una gran área superficial entre las gotas húmedas.

El área interfacial reduce drásticamente el tiempo de eliminación de agua (tiempo de secado) ya que la velocidad de evaporación es directamente proporcional al área de superficie disponible para la transferencia de calor y de masas.

La eficiencia del secado y la eficiencia de recolección de polvo dependen de los atomizadores. El proceso de atomización también influye en la distribución y el tamaño de la gota, la trayectoria y la velocidad, la calidad global del producto, el diseño de la cámara de secado, así como el requerimiento energético.

El tamaño medio de las gotas y su distribución, dependen del tipo de atomizador utilizados, las condiciones de atomización y las características de alimentación tales como la viscosidad, la densidad y la tensión superficial.

La densidad de alimentación tiene un efecto menor sobre las características de pulverización debido a que las gotas atomizadas no muestran una gran diferencia de densidad. La viscosidad y la tensión superficial del líquido tienen otros efectos en las características de secado (tamaño de la gota). La influencia de la viscosidad no es sólo

en el tamaño medio de las gotas y su distribución de tamaño, sino también en la tasa de flujo de alimentación y el patrón de secado. Así mismo, una alimentación con una mayor tensión superficial genera gotas más grandes. Estas características están determinadas por el líquido alimentado, por lo tanto un secador que funcione para un producto no funciona necesariamente para otro.

El dispositivo utilizado para la atomización de líquido se conoce comúnmente como un atomizador. La selección y el funcionamiento del atomizador son de suma importancia para lograr una producción económica y un producto de primera calidad ya que debe trabajar de manera eficaz y fiable.

Los atomizadores pueden ser clasificados en base al tipo de la energía utilizada, el número y la forma de orificios, el modo de funcionamiento (continuo o intermitente) y la geometría de los pulverizadores. Hay principalmente cuatro tipos de atomizadores utilizados en el secado por pulverización comercial.

1. Rueda giratoria / disco (energía centrífuga)

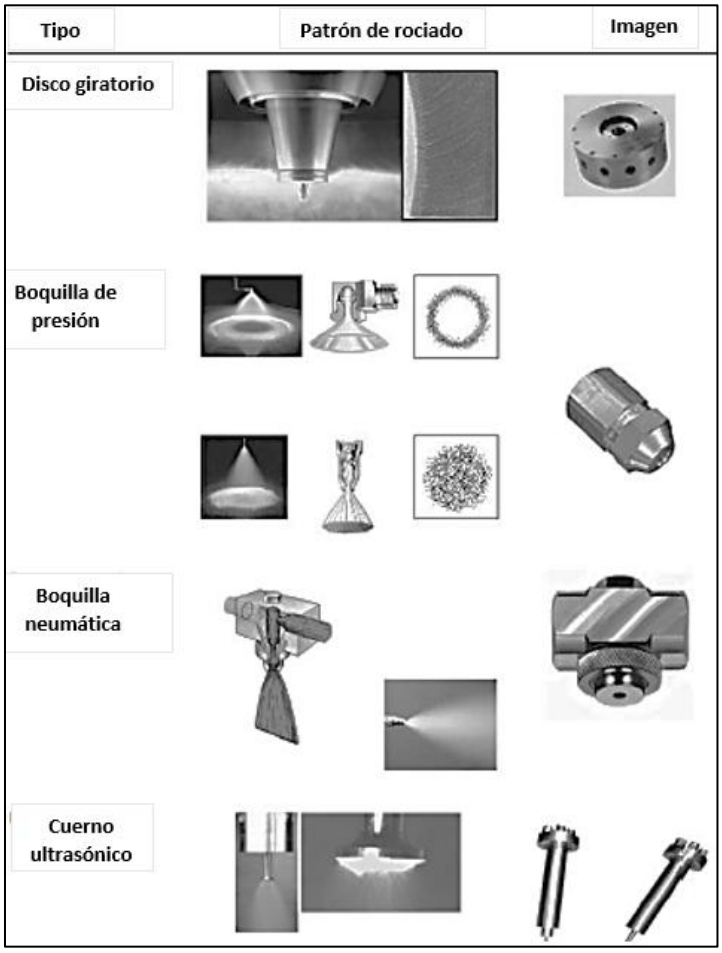
2. Boquillas de presión (energía de presión)

3. Boquillas de dos fluidos, (energía de presión y gas)

4. Sónicas (energía sónica).

El mecanismo de formación de gotas con los atomizadores sónicos es diferente a los tradicionales ya que los atomizadores sónicos utilizan la energía de sonido de alta frecuencia creado por una taza de resonancia sónica la cual se coloca delante de la boquilla.

Ilustración 6. Diferentes tipos de atomizadores usados en secado por aspersión (Pisecky, 1997)



Variables a tener en cuenta en secado por aspersión

El éxito de un secado por aspersión comprende diferentes variables que permiten obtener productos con las características deseadas.

Establecer las condiciones de operación, los tiempos de residencia y la humedad del aire requerido en el secador son variables importantes que permiten prevenir la formación de depósitos de producto semi-seco en las paredes del secador.

Así mismo, la relación entre la temperatura a la salida del secador y el contenido de humedad residual deben ser conocidas para el control del proceso basado en mantener constante la temperatura a la salida.

Por lo anterior se debe establecer condiciones óptimas a la entrada y la salida de la torre por aspersión para tener una atomización completa (Kazuhiro Kubo, Seiji Sekine, 2003).

Por otro lado, el contenido de humedad residual depende de la humedad del aire a la salida de la cámara de secado. En la mayoría de las aplicaciones, las condiciones de humedad a la salida están por debajo de los niveles de la operación de secado. Sin embargo, para productos higroscópicos, la humedad puede ser un factor importante. Para lograr un nivel máximo de secado y maximizar la capacidad de la planta se requiere la deshumidificación del aire a la entrada.

El tamaño óptimo de la cámara de secado y su forma dependen del tamaño de la gota que se quiere secar y la forma de la aspersión producida por el atomizador.

En la cámara de secado, las variables de diseño se deben establecer por medio de pruebas experimentales antes de efectuar el diseño final. En general, el tamaño de

la cámara, la selección del atomizador y los medios auxiliares de separación se determinan de acuerdo con las características físicas del producto que se busque (Masters, 1991).

Hay tres principales parámetros en el secado por aspersión que puede influir en gran medida en las propiedades funcionales del polvo. Estos parámetros son:

1. Los parámetros de atomización relacionados también con la forma y tamaño de las partículas que se buscan en el producto.

2. Las propiedades físicas de la alimentación: humedad, viscosidad, densidad, etc.

3. Las temperaturas máximas del gas a la entrada y salida del secador.

El control y regulación de estos parámetros es muy importante para favorecer la operación del equipo, obtener un producto de calidad predecible y mejorar la economía (costos de operación) ya que hay un mejor rendimiento.

El rendimiento de los secadores de aspersión se expresa generalmente en términos de la eficiencia térmica y la eficiencia de evaporación. Estas, son afectadas principalmente por las condiciones de funcionamiento, principalmente las temperaturas del aire de secado de entrada y salida.

Por lo tanto, el rendimiento del secador por aspersión puede ser mejorado mediante el aumento de la temperatura de entrada del aire y haciendo funcionar el secador a una temperatura de salida tan bajo como lo permita el proceso.

En términos prácticos, la entrada de calor es directamente proporcional a la velocidad de evaporación.

El calor y los balances de masa sobre un secador por aspersión permiten la estimación de la eficiencia de secado, esto constituye una base para el diseño de un secador por aspersión lo que ayuda a minimizar las pérdidas de calor y de productos (Kazuhiro Kubo, Seiji Sekine, 2003).

Es importante considerar que durante el secado por aspersión, las gotas de mayor tamaño, se secan con mayor lentitud. Son ellas las que determinan las dimensiones finales de la cámara. Además, debido a la turbulencia y a la mezcla de gases, las condiciones de desecación son uniformes en todos los puntos de la cámara, excepto en la zona inmediata de la entrada del gas y la zona inmediata a la atomización del producto.

En cuanto a la torre de secado, La principal función de la cámara es encerrar la aspersión que se produce, asegurar que las gotas son secadas con el flujo de gas caliente y suministrar un tiempo de residencia suficiente para evaporar la humedad. Las velocidades de secado iniciales son muy altas en el primer período de secado cuando la mayor parte de humedad se evapora en intervalos de tiempo muy cortos, pero durante el segundo período de secado, las velocidades disminuyen considerablemente y se requiere más tiempo para llevar el producto a la humedad deseada.

Las curvas de secado para una sola gota pueden dar información sobre los tiempos de residencia necesarios. El tiempo mínimo de residencia del producto dentro del secador puede considerarse como el tiempo medio de residencia del aire. El tiempo de residencia está dado por la relación volumen de la cámara de secado y el flujo total

de aire. Es de particular importancia que las gotas no choquen contra las paredes de la cámara cuando todavía están húmedas.

La temperatura es otra variable muy importante. El incremento en la temperatura de entrada disminuye el calor requerido por el secador para generar un producto con determinadas características. El calor consumido por el secador es expresado como la velocidad de calor específico por ejemplo: kilocalorías por kilogramo de agua evaporada o kilocalorías por kilogramo de producto seco obtenido.

Al incrementar la temperatura del material a secar, se reduce el calor requerido para obtener el producto seco. El precalentamiento generalmente se lleva a cabo para reducir la viscosidad en el alimento, prevenir la cristalización del alimento que pueda causar daños en el atomizador entre otros (Masters, 1991).

Así mismo, el contenido de sólidos del producto, se relaciona con la cantidad de humedad evaporada por unidad de peso de polvo producido.

El secado por aspersión es un método donde se pueden perder volátiles y para obtener la máxima utilización del calor se deben alimentar la máxima cantidad de sólidos posibles. Sin embargo, el nivel máximo lo determina dos parámetros: la facilidad para bombear y para atomizar. Incrementos en los sólidos alimentados de 50 a 60% reduce el calor perdido. Si el material se seca a bajas concentraciones de sólidos, el polvo resultante tendrá partículas relativamente pequeñas. Sin embargo, muchos secadores operan con bajos niveles de sólidos y comparativamente bajas temperaturas de secado estas condiciones son dictadas por las propiedades del material o solución a secar tabla 3. (Masters, 1991).

Tabla 3. Efecto del contenido de sólidos del material a secar en la cantidad de humedad evaporada para obtener producto seco en polvo (Contenido de humedad final 2%)

Contenido sólidos (%peso/peso)	Humedad evaporada (KgH2O removida por Kg de polvo seco)	Contenido sólidos (%peso/peso)	Humedad evaporada (KgH2O removida por Kg de polvo seco
5	18,6	50	0,96
10	8,8	55	0,78
15	5,33	60	0,63
20	3,9	65	0,51
25	2,92	70	0,4
30	2,27	75	0,31
35	1,8	80	0,23
40	1,24	85	0,15

Fuente: (Masters, 1991)

La recirculación del aire es un método empleado para el mejor aprovechamiento energético y consiste en reciclar una fracción de la corriente de gas de escape en la cámara de secado.

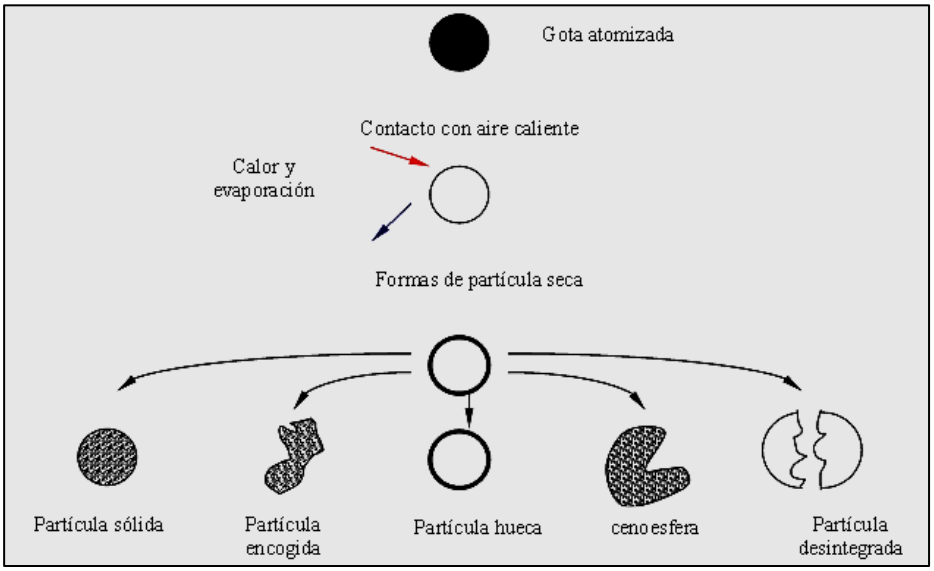
Parte del aire que sale del secador se mezcla con aire nuevo (que es aire ambiental deshumidificado, pero no caliente).

Según las condiciones de secado dadas, las partículas o gotas del material, experimentan cambios sustanciales durante el procesamiento en la cámara de

secado. Se pueden distorsionar, arrugar, fracturar o hinchar dependiendo del comportamiento de contracción, la distribución de tensiones en la superficie y el tipo o la corteza de la partícula (impermeable o permeable, porosa o no porosa, etc.) formado durante el secado.

Con relación a la evaporación de humedad y para entender el mecanismo, se analiza una gota con material coloidal. Cuando la presión de vapor del líquido dentro de la gota excede la presión ambiente, la gota se hincha y se rompe formando partículas sólidas huecas. La aparición de fracturas o huecos en la estructura de la partícula acelera la velocidad se secado debido al acortamiento del camino para el movimiento interno de humedad. Algunas veces esta hinchazón es deliberadamente buscada para que la partícula se seque más rápido (Xiao Chen, Arun S. Mujumdar, 2008).

Ilustración 7. Mecanismo de secado de gotas y formas que puede presentar la partícula seca (Xiao Chen, Arun S. Mujumdar, 2008).



DHA y EPA pueden reaccionar fácilmente con el oxígeno formado especies radicalarias en un proceso de auto oxidación, en el cual hidroperóxidos son formados a través de una reacción de un centro alilico (CH_2 unido a los dobles enlaces). Esos hidroperóxidos son rápidamente degradados para la formación de aldehídos y cetonas, algunos de los cuales alteran las propiedades sensoriales y la funcionalidad del ingrediente; incluso pequeños niveles de oxidación ya son perceptibles al olfato y al gusto. Por ejemplo aldehídos como trans, cis-2,6-nonadienol y trans, cis-3,6-nonadienol; formados durante el auto oxidación, producen un olor y sabor desagradable. Es por esto que la encapsulación por secado por aspersión junto con el uso de antioxidantes resulta ser una combinación eficaz para conservar estos compuestos y que pueden ser incorporados en alimentos o bebidas (Barrow et al., 2013).

El polvo que se obtiene por secado por aspersión, del aceite de pescado, puede tener un tamaño de partícula que oscila entre 10-15 µm, para ser adicionado dentro de diversas matrices alimentarias (Gharsallaoui, Roudaut, Chambin, Voilley, & Saurel, 2007; Nedovic, Kalusevic, Manojlovic, Levic, & Bugarski, 2011)

La estructura de las capsulas obtenidas por secado por aspersión usualmente comprende un ingrediente activo principal atrapado en una matriz o polímero protector. El primer paso es emulsificar el ingrediente activo en una dispersión concentrada hasta que pequeñas gotas de 1 a 3 µm sean formadas. Diferentes sistemas de emulsiones, como simples o multicapas de O/W han sido empleadas para iniciar la encapsulación de aceites ricos en omega 3. (Barrow et al., 2013)

Comparado con otras técnicas, el uso de secado por atomización genera ciertas ventajas, tales como: flexibilidad, economía, disponibilidad de equipos para obtener desde gramos de compuesto encapsulado hasta toneladas. Otra ventaja importante es la variedad de materiales de recubrimiento que pueden utilizarse. Sin embargo existen algunas desventajas al utilizar esta técnica, la primera es que el proceso puede ser muy diferente usando un equipo u otro. El tamaño de partícula puede ser difícil de controlar cuando no se tienen condiciones uniformes en la cámara de secado. Por último la carga del ingrediente encapsulado puede ser baja en las emulsiones secadas por aspersión, alrededor de un 20-30%, y el contenido de aceite en la superficie puede ser alto, lo cual tiene implicaciones negativas a nivel sensorial; por lo anterior es de gran importancia la selección de un encapsulante adecuado que afecte lo menos posible las características sensoriales del producto (Nedovic et al., 2011).

La técnica de secado por aspersión fue diseñada originalmente como un proceso de deshidratación para remover agua y diseñar productos en forma de polvo. El rango de temperatura usado generalmente está entre 180°C - 220°C y 60 - 80°C para la entrada y salida del aire.

Cuando se utiliza el secado por aspersión para encapsulación, los núcleos son disueltos o suspendidos en un líquido y empiezan a ser encapsulados en la matriz o compuesto que actúa como recubrimiento. Se utilizan altas temperaturas para evaporar el agua del material de recubrimiento durante la solidificación, lo que permite que el núcleo se mantenga a una temperatura por debajo de 100°C (Barrow et al., 2013). Más del 90% de los aceites ricos en omega 3 encapsulados son obtenidos por secado por aspersión (Lee et al., 2015)

Varios materiales encapsulantes han sido utilizados en la técnica de secado de aceites de pescado por secado por aspersión. La estabilidad de las capsulas obtenidas esta determina por la permeabilidad al oxigeno que tenga el material del recubrimiento; se han utilizado mezclas de caseinato de sodio y maltodextrina, donde el radio del material re cubriente y el valor de equivalencia de dextrosa de la maltodextrina DE, influencian la estabilidad oxidativa de las capsulas. Kagami et al, demostraron que la adición de Maltodextrina con DE 18 a una matriz de caseinato de sodio incrementan la estabilidad oxidativa de las capsulas (Kagami, Sugimura, Fujishima, Kometani, & Matsumura, 2003); sin embargo pueden presentarse reacciones de Maillard que generan pardeamientos indeseados cuando se usan estos dos materiales, incluso desde el momento de la fabricación de la emulsión puede presentarse oxidación anticipada (Barrow et al., 2013)

Recientes estudios han demostrado la posibilidad de usar almidones modificados, como n-octenil succianato derivatizado (n-OSA) como material encapsulante junto con jarabe de glucosa como agente llenante para dar estabilidad al polvo obtenido por secado por aspersión (Drusch, Serfert, & Van Den Heuvel, 2006); evitando que quede aceite libre en la superficie, utilizando este recubrimiento y manteniendo la temperatura de secado lo más baja posible

Varios estudios han propuesto como mejorar la estabilidad oxidativa de los compuestos obtenidos desde los productos de reacción de Maillard que pueden formarse por el calentamiento de la mezcla de proteínas y carbohidratos, previo a la preparación de la emulsión. Los productos de la reacción pueden exhibir buenas propiedades antioxidantes y emulsificantes y pueden formar una capa estable y robusta

alrededor de las gotas de aceite; lo que hace que sean buenos como materiales encapsulantes en la estabilización del aceite. Se han reportado productos encapsulado estables a partir de una matriz de proteínas (caseinato de sodio, proteína asilada de soya) y carbohidratos (glucosa, jarabe de glucosa seco, oligosacáridos), usando los productos de reacción de Maillard formados por calentamiento (60 - 100°C entre 30 - 90 min) de las mezclas solidas de proteínas y carbohidratos antes de la emulsificación. (Barrow et al., 2013)

La estabilidad de los ácidos grasos poliinsaturados a los rangos de temperatura utilizados en el secado por aspersión es aún un tema de discusión. Se han realizado estudios en los cuales el secado se hace por etapas con el fin de evaluar la estabilidad de las capsulas obtenidos; bajo la premisa de posible oxidación por altas temperaturas utilizadas. En estas etapas se ha utilizado granulación por aspersión con un temperatura máxima de 70 °C seguida de recubrimiento pelicular utilizando la técnica de lecho fluilizado, con rango de temperatura de 30 - 40 °C. Para la primera etapa se obtienen productos entre 350 - 650 µm que fueron almacenadas por 6 semanas para seguimiento de estabilidad; muestras sometidas a lecho fluilizado fueron observadas de la misma manera. Investigaciones como estas concluyeron que la estabilidad de los ácidos grasos poliinsaturados depende de la cantidad de DHA y EPA en el aceite y que las capsulas obtenidas de la primera etapa (granulación por aspersión) fueron más estables; ya que una doble exposición a secado puede ser no beneficiosa para la estabilidad de los compuestos; por lo tanto el material encapsulante en un proceso de secado por aspersión juega un papel fundamental y protector ante la oxidación. (Anwar, Weissbrodt, & Kunz, 2010)

Dentro de las matrices encapsulantes para secado de aceites de pescado, la fibra de salvado de arroz soluble, resulta ser un material interesante que puede reducir la peroxidación lipídica de la emulsión inicialmente formada antes del proceso de secado. El principal componente de esta fibra es la hemicelulosa, la cual exhibe baja permeabilidad de oxígeno en películas hechas con este producto y esto puede reducir la oxidación lipídica de los núcleos durante el secado por aspersión y el posterior almacenamiento. Se aumenta la eficiencia de los resultados cuando en la emulsión junto con la fibra se tiene caseinato de sodio. El tamaño de partícula obtenido al utilizar este producto para el proceso es de 8 - 62 µm aproximadamente. El proceso de encapsulación por secado por aspersión, más común se da en co-corriente, la temperatura de calefacción se puede ajustar desde 27°C a 180 °C, para lo cual se puede utilizar una resistencia eléctrica, en el ciclón queda el polvo seco de mayor tamaño de partícula quedando como el polvo más fino retenido en los filtros. Estos polvos obtenidos demuestran una buena estabilidad oxidativa cuando se almacenan a temperaturas de 20 y 40°C. La temperatura de entrada del aire puede estar en 27°C y la temperatura de salida del aire hasta la obtención de polvo es de 83°C; bajo estos parámetros se puede obtener una eficiencia en la encapsulación del 57%. (Wan, David, Jr, Bechtel, & Sathivel, 2011)

Otros experimentos de encapsulación indican que previo al proceso por secado por aspersión de ácidos grasos poliinsaturados, una alternativa puede ser la esterificación de los mismos con Acido L-ascórbico, que puede retardar el proceso de oxidación una vez se termine el proceso de encapsulación con un concentrado de proteína de soya, maltodextrina o goma arábiga (Gharsallaoui & Chambin, 2007)

Otras condiciones de secado para emulsiones de maltodextrina y goma arábiga han empleado temperaturas de entrada y salida de 180 y 95°C respectivamente usando caseinato de sodio como encapsulante y también 200°C y 110°C respectivamente con maltodextrina y goma arábiga. El grado de hidrolisis de la maltodextrina es un factor a considerar, ya que equivalentes de dextrosa muy bajos no tienen efecto positivo; se ha demostrado que por la interacción existente entre la goma arábiga y los lípidos se previene su oxidación. El mecanismo propuesto está relacionado con las propiedades de la goma arábiga de adsorberse en la interface aceite/agua formando una película visco elástica, donde los lípidos contribuyen con la coherencia de la estructura a través de la formación de empalmes o uniones por medio de góticas de aceite en los anclajes de las cadenas de la goma arábiga.(Lopez, 2010).

La selección de los mejores materiales de recubrimiento y técnica de encapsulación, son los pasos determinantes en la efectividad del proceso final y calidad del producto obtenido. Algunos estudios demuestran que la granulación por aspersión es un buen método para producir aceite de pescado en polvo a bajas temperaturas (máx. 70°C); sin embargo no existen muchos estudios que comparen esta técnica con el secado por aspersión o secado por congelación. Utilizando un aceite de pescado rico en DHA y EPA como núcleo y materiales encapsulantes maltodextrina, hidroxi propil betaciclodextrina y OSA-Starch; se han comparado las técnicas de encapsulación por secado por aspersión, granulación por aspersión y secado por congelación. Para la primera la temperatura de entrada fue de 180°C y la temperatura de salida de 85°C. Para el proceso de granulación la temperatura fue de 50-70°C; para una temperatura final del producto de 30-40°C. El secado por congelación se realizó a una temperatura

de -70 ° C. Si bien la técnica de granulación por aspersión demostró la mayor eficiencia en el proceso de encapsulación y protección contra la oxidación de los núcleos, el fenómeno de aglomeración presentado afecta el tamaño de partícula, ocasionando heterogeneidad mayor que lo obtenido por la técnica de secado por aspersión que tiene una eficiencia intermedia en comparación con las otras técnicas, generándose una reducción importante en tiempo y costo de proceso (Anwar & Kunz, 2011)

Aplicación DHA y EPA encapsulado, estudio de mercado y algunas recomendaciones de ingesta

Los alimentos lipolifilicos funcionales, han empezado a tener un gran interés por sus múltiples beneficios; dentro de los que se pueden mencionar su alto valor nutricional, su capacidad antioxidante, sus propiedades antiinflamatorias entre otros. El reto se centra en hacer que este tipo de alimentos tenga una mayor aceptabilidad ante el gusto de los consumidores y mayor estabilidad durante su tiempo de vida útil; haciendo algunos de ellos solubles en agua, protegiéndolos de la oxidación debido a sus ingredientes lipídicos y aumentando la biodisponibilidad de los mismos una vez son consumidos. La encapsulación entonces toma fuerza como una tecnología emergente para incorporar estos compuestos funcionales como, DHA y EPA, dentro de las matrices alimentarias. Se han usado nano partículas sólidas lipídicas y lípidos nanos estructurados obtenidos por encapsulación con vehículos que comprenden: carbohidratos, proteínas, polímeros o combinaciones entre ellos. Estos vehículos formando las nano formulas con los ingredientes, por su resistencia, incrementan el tiempo de residencia del ingrediente durante du paso por el tracto gastro intestinal,

mejoran la estabilidad del producto en la matriz, son biodegradables y aplicables a varios sistemas.(Shin, Kim, & Park, 2015)

La conversión de largas cadenas de aceites poliinsaturados, como aceites de pescado, en polvos, es muy atractiva dentro de la industria alimenticia. Los polvos que contienen los aceites encapsulados son más convenientes para dosificar dentro de los alimentos y disminuyen el riesgo de olores indeseables por la fuente de origen. (Augustin & Sanguansri, 2012)

El sector del mercado más grande para los ingredientes nutraceuticos encapsulados está en los ácidos grasos derivados del omega-3. Los consumidores globales gastaron en el 2011 USD 13 billones. La mayoría de estos productos incluidos en suplementos dietarios. El omega-3 encapsulado se encuentra disponible haciendo parte de emulsiones o como polvos presentes en un amplio rango de productos alimenticios: Formulas infantiles, yogur, pan, pastas, snacks, jugos, salsas, jamón, filetes de pescado entre otros. Otras formas de presentación son las capsulas de gelatina blanda con grandes cantidades de DHA y EPA que pueden hacer parte o no de un multivitamínico. (Augustin & Sanguansri, 2012)

El enriquecimiento de alimentos con DHA y EPA se está haciendo común y es importante lograr cuantificar la cantidad de ácidos grasos en el producto alimenticio enriquecido con el propósito de declarar las propiedades pertinentes en el etiquetado. Para este fin se pueden utilizar técnicas que van desde la extracción del analito hasta, trans esterificación del mismo para análisis final por cromatografía. Se han realizado estudios de inclusión de DHA y EPA encapsulados en cereales de desayuno, pan, barras de cereal y muffins; en los cuales se han podido declarar niveles de

enriquecimiento con los núcleos, según los resultados analíticos obtenidos de la extracción y medición de los mismos; según lo reportado porcentajes de recuperación superior al 50% se han establecido en estos alimentos. (Zhu, Svendsen, Jaepelt, Moughan, & Rutherfurd, 2011)

La suplementación con aceite de pescado en forma directa o encapsulado, es hoy en día una estrategia muy recomendada para mujeres en embarazo y en etapa lactante, para asegurar la fuente de ácidos grasos poliinsaturados, que son componentes críticos de ingesta en estas etapas ya que tienen influencias vitales por ejemplo en la visión y desarrollo cognitivo de los niños. Los suplementos que contienen grandes cantidades de ácidos grasos polinsaturado, especialmente DHA, son generalmente suministrados juntos con vitaminas y minerales en forma encapsulada. De igual manera estos suplementos son mejor aceptados por las mujeres debido a sus efectos sensoriales negativos. (Sandgruber & Buettner, 2012)

Productos de panadería y pastas empiezan a ser la categoría de alimentos más usados para incorporar ingredientes funcionales marinos, ya que son alcanzables por el promedio de la población. En Europa por ejemplo, el consumo de pan enriquecido con ácidos grasos provenientes de omega 3 ha aumentado, ya que lo reconocen como un alimento saludable, estimulando a futuro el uso de este vehículo para ser enriquecido con otros ingredientes nutritivos. La tecnología para incorporar este tipo de productos está basada en el uso de polvos obtenidos por encapsulación por secado por aspersión. Incluso se han realizado estudios in vivo con seguimiento de los compuestos en plasma y su relación con disminución de enfermedades cardiovasculares.(Kadam & Prabhasankar, 2010)

Existe un creciente interés por incluir lípidos nutraceuticos, como los ácidos grasos poliinsaturados, dentro de bebidas funcionales. Estos ingredientes pueden ser mezclados con algún componente oleoso que tenga la bebida, homogenizado con el fin de obtener bebidas en emulsión o encapsulados con vehículos compatibles para luego ser adicionados y diluidos en las bebidas. La eficiencia de la incorporación va a depender de las características fisicoquímicas de la bebida, solubilidad del ingrediente, coeficiente de partición agua-aceite, estabilidad química entre otras propiedades. (Piorkowski & McClements, 2014)

Las recomendaciones corrientes de ingesta de DHA+EPA para la población general, están asociadas con la relación que existe entre el consumo de estos y la prevención de enfermedades cardiovasculares. Debido a la baja eficiencia de la conversión de ALA a EPA/DHA en el organismo, el efecto deseable puede ser alcanzable con el consumo directo de EPA y DHA. Existen ciertas recomendaciones de consumo por ejemplo de pescado dos veces por semana para alcanzar este fin. La recomendación de ingesta de EPA + DHA varía entre 200 (Reino Unido) a 680 (Bélgica) mg por día. La organización mundial de la salud recomienda para la población general una ingesta entre 200 y 1000 mg por semana. La asociación americana del corazón recomienda 430 mg de EPA + DHA por día para la población general. La agencia de seguridad alimentaria Europea, EFSA, propone valores de referencia de 250 mg de EPA + DHA por día. Sin embargo pese a lo anterior no hay una regulación clara de valores diarios de referencia como existen para las vitaminas y minerales y a la cual se acogen muchos países. Hoy en día solo son recomendaciones basadas en estudios de eficacia. (Komprda, 2012)

En Colombia según la resolución 333 del 2011, tampoco existen valores de referencia de ingesta diaria para DHA/EPA, como nutrientes, y tampoco está especificada la ingesta diaria recomendad como grasa poliinsaturada. Solo establece el documento que se puede declarar contenido alto de ácidos grasos de omega 3 cuando el alimento tiene un contenido de al menos 80 mg de DHA+EPA o buena fuente cuando tienen 40 mg de DHA+EPA; sin embargo no se hace recomendación de ingesta para efectos benéficos; cosa contraria a lo que ocurre con las organizaciones internacionales. (Colombia Ministerio de la Proteccion Social, 2011)

Las importaciones de los aceites derivados de pescado, omega 3 en polvo o en capsulas, productos con DHA y EPA en polvo, en Colombia; no tienen una posición arancelaria única. Según la Base de datos SICEX (consultada en diciembre del 2015: Sisduan Colombia Importaciones Detallado); se tienen cantidades aproximadas de productos importados a diferentes industrias dentro de las que están productos alimenticios, alimentación animal, productos de belleza y cosmética entre otras.

Bajo la posición arancelaria 1504209000 FATS AND OILS AND THEIR FRACTIONS OF FISH. EXCEPT LIVER OILS; tenemos en el 2015, 780 ton de producto importado; donde los mayores consumidores son fabricantes de capsulas de gelatina blanda (230 ton) y alimentación animal (530 ton).

Con la posición arancelaria 1504201000 que también relaciona FATS AND OILS AND THEIR FRACTIONS OF FISH. EXCEPT LIVER OILS; se han importado en el 2015, 1724 toneladas de productos; centralizadas en una única compañía especialista en producción de omega 3 y sus ácidos grasos poliinsaturados en diferentes concentraciones. Naturomega es pionera en la región Andina en el tratamiento de estos

aceites para obtención de estos ingredientes funcionales para la industria farma y alimenticia.

Conclusiones y Recomendaciones

La Técnica de encapsulación, es un proceso eficaz para la protección de ingredientes sensibles a la oxidación. Productos lipídicos ricos den DHA y EPA, por ejemplo, mejoran su estabilidad y desempeño sensoriales una vez son sometidos a procesos de secado utilizando esta Técnica.

La combinación de materiales encapsulantes como carbohidratos y proteínas, en proporciones adecuadas, es una vía adecuada para encapsular aceite de pescado rico en DHA y EPA, mediante la Técnica de secado por aspersión.

En la técnica de encapsulación y secado por aspersión se pueden emplear diferentes materiales como agentes de recubrimientos, las características del producto final dependen tanto de esto como de otros parámetros: el tamaño de la torre, el tipo de atomizador, las condiciones de secado, entre otras. El control y regulación de estas variables es relevante para favorecer la operación del equipo y obtener un producto de calidad adecuada.

De acuerdo con revisión bibliográfica realizada, hay un gran potencial para la industria alimenticia local con la incorporación de ingredientes de valor agregado como la son DHA/EPA, por lo cual es recomendable continuar con estudios que permitan determinar cuál de las metodologías actuales es la más apropiada para encapsular estos ingredientes utilizando secado por aspersión, esto ayudara ampliar el rango de aplicaciones en la fabricación de alimentos para que tengan una mayor aceptabilidad ante el gusto de los consumidores y mayor estabilidad durante su vida útil.

Referencias

Adolfo, R., & Huertas, P. (2011). Revisión : Microencapsulación de Alimentos. *Food Science and Technology* 63(2), 5669–5684

Anwar, S. H., & Kunz, B. (2011). The influence of drying methods on the stabilization of fish oil microcapsules: Comparison of spray granulation, spray drying, and freeze-drying. *Journal of Food Engineering*, 105(2), 367–378. http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.02.047

Anwar, S. H., Weissbrodt, J., & Kunz, B. (2010). Microencapsulation of Fish Oil by Spray Granulation and Fluid Bed Film Coating. *Journal of Food Science*, 75(6). http://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01665.x

Arab-tehrany, E., et al., (2012). Beneficial effects and oxidative stability of polyunsaturated fatty acids. *Trends in Food Science & Technology*, 25(1), 24–33. http://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.12.002

Astolfi-filho, Z., Souza, A. C., Reipert, É. C. D., & Telis, V. R. N. (2005). encapsulação de Suco de maracujá por co-cristalização com sacarose . *Cinética de cristalização e propriedades físicas* 1, 25(4), 795–801.

Augustin, M. A., & Sanguansri, L. (2012). 2 - Challenges in developing delivery systems for food additives, nutraceuticals and dietary supplements. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Elsevier Masson SAS. http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1533/9780857095909.1.19

Barrow, C. J., Wang, B., Adhikari, B., & Liu, H. (2013). Spray drying and encapsulation of omega-3 oils. Food enrichment with omega-3 fatty acids. Woodhead Publishing Limited. http://doi.org/10.1533/9780857098863.2.194

Bédié, G. K., & Turgeon, S. L. (2008). Formation of native whey protein isolate–low methoxyl pectin complexes as a matrix for hydro-soluble food ingredient entrapment in acidic foods. *Food Hydrocolloids*, 22(5), 836–844.

Bhandari, K. C., Bhesh, R., & Kamlesh, C. (n.d.). Process and product characteristics. In Spray drying of food materials.

Birberg-thornberg, U., Karlsson, T., Gustafsson, P. A., & Duche, K. (2006). Nutrition and theory of mind — The role of polyunsaturated fatty acids (PUFA) in the development of theory of mind, 75, 33–41. http://doi.org/10.1016/j.plefa.2006.04.001

Carrero, J. J., et al., (2005). Efectos cardiovasculares de los ácidos grasos omega-3 y alternativas para incrementar su ingesta. *Nutricion Hospitalaria*, 20(1), 63–69.

Colombia Ministerio de la Proteccion Social. (2011). Resolución Número 333 De 2011, 2011, 56.

Cubana, R. (2010). Microencapsulación de sustancias oleosas mediante secado por aspersión 44(3), 381–389.

Drover, J. R., et al., (2012). Early Human Development A randomized trial of DHA intake during infancy : School readiness and receptive vocabulary at 2 – 3. 5 years of age, 88, 885–891. http://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2012.07.007

Drusch, S., Serfert, Y., & Van Den Heuvel, A. (2006). Physicochemical characterization and oxidative stability of fish oil encapsulated in an amorphous matrix containing trehalose. *Food Research International*, 39(7), 807–815.

Dutta, P. K., Tripathi, S., Mehrotra, G. K., & Dutta, J. (2009). Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications. *Food Chemistry*, 114(4), 1173–1182. http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.047

Favaro-trindade, C. S., et al.,(2010). Food Hydrocolloids The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate. *Food Hydrocolloids*, 24(4), 336–340. http://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.10.012

Fuchs, M., et al.,(2006). Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration, 75, 27–35. http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.047

Gharsallaoui, A., & Chambin, O. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients : An overview. *Food Research International*, 40, 1107–1121. http://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.004

Gouin, S. (2004). Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in Food Science & Technology*, 15(7-8), 330–347.

Hadian, Z., Ali, M., Reza, H., & Barzegar, M. (2014). Formulation , Characterization and Optimization of Liposomes Containing Eicosapentaenoic and Docosahexaenoic Acids ; A Methodology Approach, 12(April 2013), 393–404.

Hughes, B. H., Brian Perkins, L., Calder, B. L., & Skonberg, D. I. (2012). Fish oil fortification of soft goat cheese. *Journal of Food Science*, 77(2), S128–33. http://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02560.x

James, M. J., Gibson, R. a, & Cleland, L. G. (2000). Dietary polyunsaturated fatty acids and inflammatory mediator production. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 71(1 Suppl), 343S–8S.

Jumah, R., Mujumdar, A. ., & Raghavan, V. G. . (1995). Control of industrial dryers. In Handbook of Industrial Drying (2nd edn, p. Cap. 43). New YorK.

Kadam, S. U., & Prabhasankar, P. (2010). Marine foods as functional ingredients in bakery and pasta products. *Food Research International*, 43(8), 1975–1980. http://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.06.007

Kagami, Y., Sugimura, S., Fujishima, N., Kometani, T., & Matsumura, Y. (2003). Oxidative stability, structure, and physical characteristics of microcapsules formed by spary drying of fish oil with protein and dextrin wall materials. *J Food Sci*, 68(2248-2255).

Katrin Heinzelmann, K. F. (1999). Using freezing and drying techniques of emulsions for the microencapsulation of fish oil to improve oxidation stabilit. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 12(3-6), 223–229.

Kazuhiro Kubo, Seiji Sekine, M. S. (2003). Docosahexaenoic acid-containing phosphatidylethanolamine in the external layer of liposomes protects docosahexaenoic acid from 2,2′-azobis(2-aminopropane)dihydrochloride-mediated lipid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 410(1), 141–148.

Komprda, T. (2012). Eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids as inflammation-modulating and lipid homeostasis influencing nutraceuticals: A review. *Journal of Functional Foods*, 4, 25–38. http://doi.org/10.1016/j.jff.2011.10.008

Kris-Etherton, P. M., Grieger, J. a., & Etherton, T. D. (2009). Dietary reference intakes for DHA and EPA. Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids, 81(2-3), 99–104. http://doi.org/10.1016/j.plefa.2009.05.011

Kulozik, U., Heidebach, T., & Fo, P. (2009). Food Hydrocolloids Microencapsulation of probiotic cells by means of rennet-gelation of milk proteins, 23, 1670–1677. http://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.01.006

Lamprecht, A. (2001). Influences of process parameters on preparation of microparticle used carrier system for omega-3 unsaturated fatty acid ethyl esters used in supplementary nutrition. *Journal of Microencapsulation*, 18, 347–357.

Landman, N., & Masters, K. (1991). Spray Drying Handbook (5th edn).

Larsson, S. C., Kumlin, M., Ingelman-sundberg, M., & Wolk, A. (2004). Dietary long-chain n ϫ 3 fatty acids for the prevention of cancer : a review of potential mechanisms 1 – 3.

Lee, S., Zealand, N., & Ying, D. Y. (2015**).** Encapsulation of fish oils. Delivery and controlled release of bioactives in foods and nutraceuticals. Woodhead Publishing Limited. http://doi.org/10.1533/9781845694210.3.370

Leimann, F. V, Gonçalves, O. H., Machado, R. A. F., & Bolzan, A. (2009). Antimicrobial activity of microencapsulated lemongrass essential oil and the effect of experimental parameters on microcapsules size and morphology. *Materials Science & Engineering C*, 29(2), 430–436. http://doi.org/10.1016/j.msec.2008.08.025

Lopez, O. (2010). Microencapsulación de sustancias oleosas mediante secado por aspersión Microencapsulation of oily substances by spray drying. *Revista Cubana de Farmacia*, 44(3), 381–389.

López-pousa, S., & Lombardía, C. (2008). Ácidos grasos poliinsaturados omega-3 y enfermedad de Alzheimer, 2–3.

Lu, F. S. H., & Norziah, M. H. (2011). Contribution of microencapsulated n-3 pufa powder, 604, 596–604. http://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2010.00505.x

Madene, A., Jaqquot, M., Scher, J., & Desobry, S. (2006). Flavour encapsulation and controlled release-a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 41, 3039–3046.

Marcuzzo, E., Sensidoni, A., Debeaufort, F., & Voilley, A. (2010). Encapsulation of aroma compounds in biopolymeric emulsion based edible films to control flavour release. *Carbohydrate Polymers*, 80(3), 984–988. http://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.01.016

Masters, K. (2004). Current market-driven spray drying development activities. *Drying Technology*, 22(6), 1351–1370.

Masters, K. (1991). Spray drying Handbook (5 edición). London.

Masters, K. (1994). Scale-up of spray dryers. *Drying Technology*, 12(1-2), 235–257.

Matía-Matína, P., & Charro-Salgadob, A. (2006). Ácidos grasos esenciales. *Bienestar y salud*, (1.590), 29–34.

Membranes, C., Depressed, F., & Patients, F. (2008). Omega-3 polyunsaturated fatty acids in red blood, 35(12), 406–412.

Moreno-pe, S., & Fernandez-lorente, G. (2014). Selective Ethanolysis of Fish Oil Catalyzed by Immobilized Lipases, 63–69. http://doi.org/10.1007/s11746-013-2348-3

Mujumdar, A. (2004). Research and development in drying: Recent trends and future prospects. *Drying Technology*, 22(1 y 2), 1–26.

Murúa-pagola, B., Beristain-guevara, C. I., & Martínez-bustos, 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. http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.09.035

Nastaj, J. (1991). Amathematical modeling of heat transfer in freeze drying. *In Drying* 91 (pp. 405–413).

Nedovic, V., Kalusevic, A., Manojlovic, V., Levic, S., & Bugarski, B. (2011). An overview of encapsulation technologies for food applications. *Procedia Food Science*, 1, 1806–1815. http://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.265

Parize, A. L., et al.,(2008). Microencapsulation of the natural urucum pigment with chitosan by spray drying in different solvents, 7(17), 3107–3114.

Park, H. G., et al., (2006). Effect of enriched rotifers on growth , survival , and composition of larval Atlantic cod (Gadus morhua), 295. http://doi.org/10.1016/j.icesjms.2005.10.011

Piorkowski, D. T., & McClements, D. J. (2014). Beverage emulsions: Recent developments in formulation, production, and applications. *Food Hydrocolloids*, 42, 5–41. http://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.07.009

Pisecky, J. (1997). Handbook of Milk Powder Manufacture.

Saénz, C., Tapia, S., Chávez, J., & Robert, P. (2009). Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (Opuntia ficus-indica). *Food Chemistry*, 114(2), 616–622. http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.095

Sandgruber, S., & Buettner, A. (2012). Comparative human-sensory evaluation and quantitative comparison of odour-active oxidation markers of encapsulated fish oil products used for supplementation during pregnancy and the breastfeeding period. *Food Chemistry*, 133(2), 458–466. http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.01.072

Saravanan, P., Davidson, N. C., Schmidt, E. B., & Calder, P. C. (2010). Cardiovascular eff ects of marine omega-3 fatty acids, 6736(10), 1–11. http://doi.org/10.1016/S0140-6736(10)60445-X

Semyonov, D., et al., (2010). Microencapsulation of Lactobacillus paracasei by spray freeze drying. *Food Research International*, 43(1), 193–202. http://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.028

Shin, G. H., Kim, J. T., & Park, H. J. (2015). Recent developments in nanoformulations of lipophilic functional foods. *Trends in Food Science & Technology*. Elsevier Ltd. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224415001727

Sinclair, A. J., Begg, D., Michael, H., & Weisinger, R. S. (2007). Omega 3 fatty acids and the brain : review of studies in depression, 16(Suppl l), 391–397.

Straatsma, J. (1190). Reduction of energy consumption of the milk powder production by computer optimization. Innovation Energetique et Industrie Agro-alimentaire. In Internationale Symposium AFME (pp. 209–217).

Technology, I. (2007). DHA and EPA in Dairy Foods, (February).

Tsai, C. J., Liu, C. C., Hung, L. B., & Pan, B. S. (2012). TMAH-catalyzed transesterification of EPA and DHA in encapsulated fish oil products. JAOCS, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 89(1), 9–16. http://doi.org/10.1007/s11746-011-1880-2

Valenzuela, A., & Sanhueza, J. (2009). Aceites De Origen Marino; Su Importancia En La Nutrición Y En La Ciencia De Alimentos. *Revista Chilena de Nutrición*, 36(1), 246–257.

Wan, Y., David, J., Jr, B., Bechtel, P. J., & Sathivel, S. (2011). Microencapsulation of Menhaden Fish Oil Containing Soluble Rice Bran Fiber Using Spray Drying Technology. Food Engineering & Physical Properties, 76(4). http://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02111.x

Xiao Dong Chen, A. S., & Mujumdar, A. . (2008). Drying Technologies in Food Processing.

Ying, T., & Li, S. M. (2014). Comparative analysis of EPA and DHA in fish oil nutritional capsules by GC-MS. http://doi.org/10.1186/1476-511X-13-190

Zhang, Z., Andrew, E., & Julian, D. (2014). Encapsulation, protection, and release of polyunsaturated lipids using biopolymer-based hydrogel particles. *FRIN*, 64, 520–526. http://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.07.020

Zhu, X., Svendsen, C., Jaepelt, K. B., Moughan, P. J., & Rutherfurd, S. M. (2011). A comparison of selected methods for determining eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid in cereal-based foods. *Food Chemistry*, 125(4), 1320–1327. http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.09.105