

Análisis de la estabilidad de micro-cápsulas elaboradas con diferentes combinaciones de material de pared, incorporadas en matrices alimentarias

Myriam Marinelda Córdoba Leyton

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI
Ingeniería de Alimentos

2021

Análisis de la estabilidad de micro-cápsulas elaboradas con diferentes combinaciones de material de pared, incorporadas en matrices alimentarias

Monografía

Realizado por:

Myriam Marinelda Córdoba Leyton

Trabajo para optar al título de Ingeniera de Alimentos

Asesora:

Ingeniera Clemencia Del Socorro Alava Viteri

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI

Ingeniería de Alimentos

2021

Tabla de Contenido

Resumen.....	5
Introducción	7
Planteamiento del Problema	9
Justificación	12
Objetivos.....	14
Objetivo General.....	14
Objetivos Específicos.....	14
Marco Teórico.....	15
Micro-encapsulación.....	15
Materiales de pared o agentes encapsulantes	15
<i>Goma Arábiga (GA)</i>	16
<i>Maltodextrina (MD)</i>	16
<i>Quitosano</i>	17
<i>Gelatina</i>	18
<i>Proteínas</i>	19
Técnicas de Encapsulación o micro-encapsulación	19
Secado por aspersión.....	20
Co-extrusión o Extrusión Centrífuga	20

Extrusión	21
Aspersión por Enfriamiento o Congelación.....	21
Liofilización	22
Aplicación de micro-encapsulados en matrices alimentarias	24
Matrices alimentarias	24
<i>Alimentos Funcionales</i>	24
<i>Alimentos Fortificados</i>	26
Materiales de pared y las combinaciones que son utilizadas para el microencapsulado en la industria alimentaria.....	27
Técnicas de micro-encapsulación y su incidencia en la estabilidad del microencapsulado incorporado en matrices alimentarias	35
Efecto de las condiciones de proceso de la matriz alimentaria en la estabilidad del microencapsulado	41
Conclusiones	50
Referencias Bibliográficas.....	53

Resumen

Esta monografía tuvo como propósito establecer las características de los materiales de pared utilizados en la micro-encapsulación y su estabilidad en diferentes procesos y matrices alimentarias. Para ello se abordaron temáticas que tienen que ver con los materiales de pared, las técnicas de micro-encapsulación y los efectos de proceso en la fortificación de matrices alimentarias.

Estudios indican que, una de las técnicas para obtener alimentos fortificados es la incorporación de micro-cápsulas bajo condiciones controladas de temperatura, acidez, pH, °Brix entre otros, con el fin de que no se presenten cambios en el sabor, olor, textura, y valor nutricional, restando calidad y aceptación del producto final, siendo este uno de los grandes problemas que enfrenta la industria alimentaria. Lo anterior, trajo de manifiesto el estudio integral del alimento visto como una matriz alimentaria, que involucra no solamente el aspecto nutricional sino también, todos aquellos elementos que pueden formar parte de una alimentación saludable.

En la revisión bibliográfica indicó que los materiales de pared empelados en la micro-encapsulación para fortificar alimentos, el más resistente a altas temperaturas es el alginato, soportando temperaturas cercanas a los 72°C; en cambio, materiales como maltodextrina y goma arábica son altamente susceptibles de sufrir daños en su estructura cuando son sometidos a más de 60°C, aspecto que limita su utilización en alimentos que deben ser sometidos a altas temperaturas. Además, la técnica de micro-encapsulación más empleada en la industria alimentaria es el secado por aspersión debido a su buena capacidad para micro-encapsular y su bajo costo.

Palabras Clave: Materiales de pared, matrices alimentarias, micro-cápsulas, combinaciones, maltodextrina, goma arábica, micro-encapsulados.

Abstract

The purpose of this monograph was to establish the characteristics of the wall materials used in micro-encapsulation and their stability in different processes and food matrices. For this, issues that have to do with wall materials, micro-encapsulation techniques and process effects in the fortification of food matrices were addressed.

Studies indicate that one of the techniques to obtain fortified foods is the incorporation of micro-capsules under controlled conditions of temperature, acidity, pH, °Brix, among others, so that there are no changes in taste, smell, texture, and nutritional value, reducing the quality and acceptance of the final product, this being one of the great problems faced by the food industry. The foregoing, brought to light the comprehensive study of food seen as a food matrix, which involves not only the nutritional aspect but also all those elements that can be part of a healthy diet.

In the bibliographic review it was indicated that the wall materials used in micro-encapsulation to fortify foods, the most resistant to high temperatures is alginate, withstanding temperatures close to 72 ° C; On the other hand, materials such as maltodextrin and gum arabic are highly susceptible to damage to their structure when they are subjected to more than 60°C, an aspect that limits their use in foods that must be subjected to high temperatures. Furthermore, the most widely used micro-encapsulation technique in the food industry is spray drying due to its good micro-encapsulation capacity and low cost.

Key Words: Wall materials, food matrices, micro-capsules, blends, maltodextrin, gum arabic, micro-encapsulates.

Introducción

La micro-encapsulación es un proceso de construcción de una barrera funcional entre el núcleo y el material de pared para evitar reacciones químicas y físicas y para mantener las propiedades biológicas, funcionales y fisicoquímicas de los materiales del núcleo, (Bakry, et al., 2015). Este proceso puede reducir los sabores desagradables producidos por los ácidos grasos como el omega 3, ciertas vitaminas, y minerales, a la vez permite la liberación temporal de nutrientes, mejora la estabilidad a temperaturas y humedad extremas y reduce la reactividad de los nutrientes con los componentes de una matriz alimentaria, (Kwak et al., 2016). Por tanto, la micro-encapsulación tiene la capacidad de mejorar la estabilidad oxidativa, la termo-estabilidad, la vida útil y la actividad biológica de los materiales del núcleo, al ser incorporadas en una matriz alimentaria.

En el proceso de micro-encapsulación las metodologías utilizadas influyen directamente en la calidad de los ingredientes protegidos, dado que, 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, (Castrillón et al., 2016). Por ello, los materiales de pared juegan un papel de gran importancia para obtener un producto que cumpla con los requerimientos deseados en cuanto se refiere a fortificar matrices alimentarias, (Chamorro, Pacheco, & Tamayo, 2016; Lagares & Dra. Uliana, 2016).

En la micro-encapsulación el material de pared puede afectar la eficiencia del proceso y la estabilidad del producto micro-encapsulado. Por lo anterior, un paso importante en el desarrollo de micro-cápsulas es la elección de un material de pared que cumpla con los criterios requeridos, incluida la resistencia mecánica, la compatibilidad con

el producto, el tamaño de partícula adecuado, (Bakry, et al., 2015). Además, debe poseer propiedades emulsionantes y formadoras de película, biodegradable, baja viscosidad con altos contenidos de sólidos, exhibir baja higroscopicidad y, lo más importante, debe ser de bajo costo, (Farhana et al., 2019; Carneiro et al, 2013).

En la micro-encapsulación, las técnicas de micro-encapsulación son un factor determinante para conservar el material encapsulado. En la industria alimentaria es ampliamente utilizado el método de secado por aspersion por su alta capacidad para micro-encapsular y por su bajo costo, (Castrillón et al., 2016).

Además, en la micro-encapsulación se debe tener presente la elección del alimento que se va a fortificar, dado que, los diferentes procesos tecnológicos que son sometidas las matrices alimentarias pueden deteriorar los materiales de pared, (Boccio & Bressan, 2004).

El objetivo de esta monografía fue analizar los factores que influyen en la estabilidad de las micro-cápsulas elaboradas con diferentes combinaciones de material de pared, incorporadas en matrices alimentarias.

Planteamiento del Problema

Los alimentos se caracterizan por no contener todos los nutrientes esenciales, por lo que su consumo puede causar deficiencias de vitaminas y minerales, (Carrizo S., et al., 2020). Tal es el caso, por ejemplo, de los productos lácteos que carecen de hierro y zinc, (Lic. Zapata et al., 2020), pero tienen un alto contenido de calcio y proteínas, (Uscanga L., et al., 2019), por consiguiente, si la alimentación de una persona se basa especialmente en el consumo de lácteos, seguramente tendrá deficiencias en los nutrientes que este alimento no posee, lo que podría ocasionar fallas en el correcto funcionamiento del cuerpo humano.

En vista de lo anterior, es necesario fortificar los alimentos que se constituyen en la base de la alimentación de poblaciones focalizadas, con el fin de suplir esta deficiencia nutricional que pueda generarse, (Boccio & Bressan, 2004). En ese sentido, los avances tecnológicos apuntan a desarrollar micro-cápsulas que pueden ser utilizadas para almacenar los nutrientes que son incorporados en matrices alimentarias, (Mena & PhD. Bonilla, 2019).

Estas micro-cápsulas son elaboradas con materiales envolventes como, maltodextrina (MD), (Kwak et al., 2016), goma arábiga (GA), (Moghadam, et al., 2019), como también, micro-cápsulas que fueron elaboradas con diferentes combinaciones de agentes encapsulantes como: maltodextrina y goma arábiga, (Vallejo & Dra. Cabrera, 2019), lecitina de soya, quitosano y maltodextrina, etc, (Aquilani, et al., 2018); sin embargo, varios estudios apuntan a que las micro-cápsulas no tienen la misma estabilidad cuando son incorporadas en matrices alimentarias.

Al respecto (Bakry, et al., 2015) afirma que la micro-encapsulación es un proceso de construcción de una barrera funcional entre el núcleo y el material de pared para evitar reacciones químicas y físicas, para mantener las propiedades biológicas y funcionales de

los materiales del núcleo. Complementario a estos planteamientos (Boccio & Bressan, 2004) manifiestan que pueden haber dificultades en la fortificación de alimentos cuando se emplean micro-cápsulas, las cuales, pueden estar relacionadas con la elección del alimento que se va a fortificar, la naturaleza del fortificante que se va a incorporar al alimento y el material de pared, aspectos que pueden ocasionar cambios en las características sensoriales de los alimentos fortificados y valor nutricional, restando calidad y aceptación del producto final, siendo este uno de los grandes problemas que se enfrenta la industria alimentaria al producir alimentos fortificados con micro-cápsulas. En este sentido, (Capillo, et al., 2019), emplearon maltodextrina y goma arábiga como materiales de pared, las micro-cápsulas fueron incorporadas en productos de panificación, dando como resultado pardeamiento en el producto, con un aspecto poco agradable para el consumidor.

En el estudio realizado por (Rubilar, et al., 2012), incorporaron micro-cápsulas en sopas en polvo y la vida útil del producto disminuyó. Esta situación cobra relevancia si se tiene en cuenta que la fortificación de los alimentos es una de las estrategias más empleadas para incrementar el valor nutritivo de un alimento. Al respecto, (Serpa, et al., 2015), expone que los nutrientes más utilizados para ser micro-encapsulados para fortificar alimentos son: hierro, proteínas, vitaminas y omega 3, 6 y 9. Por tanto, la revisión y análisis de la información que se realice sobre esta temática es relevante para determinar la estabilidad de las micro-cápsulas elaboradas con diferentes combinaciones de material de pared, para fortificar matrices alimentarias.

Pregunta problema

¿La estabilidad de la microcápsula que se incorpora en matrices alimentarias está

condicionada a las combinaciones de material de pared, como factor de decisión para su utilización?

Justificación

En la fortificación de matrices alimentarias se obtienen alimentos con propiedades funcionales, los cuales permiten mejorar la salud del ser humano. En este sentido, (Castro Zech B.; 2013) afirma que los alimentos funcionales brindan grandes beneficios para la salud de las personas que los consuman, puesto que, estos son considerados un nicho que, además de satisfacer las necesidades nutricionales esenciales del ser humano, promueven una buena salud y pueden ayudar a prevenir Enfermedades Cardiovasculares (ECV). Además, (Kyeong et al., 2017), exponen que el objetivo de los alimentos funcionales es beneficiar la salud de las personas porque en este tipo de alimentos se incrementa el valor nutricional. A la vez (Serpa, et al., 2015), manifiestan que la fortificación con micronutrientes en los alimentos que hacen parte de la canasta básica familiar, es una de las estrategias más empleadas para prevenir y corregir las deficiencias nutricionales y diversas enfermedades.

La fortificación de alimentos se puede realizar incorporando el micronutriente directamente en la pauta de elaboración de la matriz alimentaria o a través de la micro-encapsulación de las sustancias fortificantes. Al respecto (Kyeong et al., 2017), expone que, en la industria alimentaria, la micro-encapsulación ha contribuido al desarrollo de alimentos funcionales que contienen ingredientes bioactivos naturales, cuyas bioactividades se controlan, protegen y conservan en cápsulas.

En lo que concierne a la micro-encapsulación, esta es empleada en la fortificación de alimentos porque contribuye para que el nutriente no esté en contacto directo con el alimento, lo que hace que la incorporación de micro-cápsulas en matrices alimentarias pueda prevenir el deterioro de las sustancias a emplear como fortificante del alimento, a

causa de la oxidación o deterioro cuando son expuestas a diferentes temperaturas, cambios en variables de control como acidez, pH, °Brix que pueden generar inconvenientes a la hora de fortificar un alimento. En este sentido, (Mena & PhD. Bonilla, 2019) indican que la micro-encapsulación de nutrientes brinda beneficios en el mantenimiento de la estabilidad frente a condiciones externas de luz, pH, temperatura y oxígeno con posibilidad de un mayor aprovechamiento de los nutrientes previniendo la degradación sensorial al usarlos como suplementos alimenticios en alimentos elaborados.

(Kwak et al., 2016), aseveran que la micro-encapsulación puede reducir los sabores desagradables producidos por ciertas vitaminas y minerales, también, permiten la liberación temporal de nutrientes, mejoran la estabilidad a temperaturas y humedad extremas y reducen la reactividad de los nutrientes con otros ingredientes. Adicional, (Firtin & Yesilcubuk, 2020), exponen que la incorporación de micro-cápsulas en matrices alimentarias se vuelve mucho más fácil, ya que los compuestos líquidos quedan atrapados en una matriz sólida, permitiendo ser más aplicables, enmascarando sabores, olores y aromas considerados desagradables, los cuales se originan muchas veces al reaccionar con ciertos compuestos de los ingredientes alimenticios y con factores ambientales externos; en ese sentido, la encapsulación, mejora la estabilidad y vida útil del alimento.

Se evidencia entonces, que la micro-encapsulación promete aspectos favorables en la fortificación de productos alimenticios, lo que hace importante estudiar sobre el material de pared, sus combinaciones empleadas en el micro-encapsulado y su comportamiento cuando son incorporadas a matrices alimentarias.

Objetivos

Objetivo General

Analizar los factores que influyen en la estabilidad de las micro-cápsulas elaboradas con diferentes combinaciones de material de pared, incorporadas en matrices alimentarias.

Objetivos Específicos

Investigar sobre los materiales de pared y las combinaciones que son utilizados para el microencapsulado en la industria alimentaria

Identificar las técnicas de micro-encapsulación y su incidencia en la estabilidad de los micro-encapsulados incorporados en matrices alimentarias.

Analizar el efecto de las condiciones de proceso de la matriz alimentaria en la estabilidad del microencapsulado.

Marco Teórico

Micro-encapsulación

La micro-encapsulación es una técnica que se ha aplicado para preservar y/o proteger numerosos ingredientes, se puede considerar una forma especial de empaquetar materiales sólidos, líquidos y gaseosos en miniatura. (Bakry, et al., 2015; Csernoch C., Gallo. & Mazzobre M., 2015; Silva E., et al., 2018). El material en particular puede ser cubierto de manera individual para protegerlo del ambiente, de la reacción con otros compuestos o para impedir que sufran reacciones de oxidación debido a la luz o al oxígeno, lo que permite proteger del ambiente a sustancias sólidas o líquidas, divididas en pequeñas partículas o gotas (fase interna), recubriéndose con una película de carbohidratos u otro material polimérico (pared), (López, 2010).

La industria alimentaria a nivel mundial está comenzando a aplicar tecnología en los alimentos a través de la micro-encapsulación, en donde las micro-cápsulas están conformadas por una membrana polimérica porosa, semipermeable, esférica, delgada y fuerte, contenedora de una sustancia activa, (Lagares & Dra. Uliana, 2016).

Introducir los ácidos grasos poliinsaturados, como los de aceite de pescado, hierro, vitaminas y minerales de manera directa en los alimentos, conducen a la disminución de la vida útil y puede incidir en la aceptabilidad del consumidor, (Ing. Alim. Páez, Dra. Zaritzky, & Dr. Reinheimer, 2013). Se debe tener en cuenta que el contacto con el oxígeno, la luz, la calefacción y la irradiación acelera la oxidación de lípidos, y demás nutrientes, disminuyendo la estabilidad y la vida útil de los productos alimenticios fortificados, por ello, la oxidación provoca 3 problemas principales: da lugar a la formación de malos sabores, reduce el valor nutricional en matrices alimentarias, y se producen radicales libres formados durante la oxidación, por este motivo, éstas sustancias que son incorporadas a los

alimentos deben estar protegidas contra la oxidación, el pH, °Brix, lo que se logra, generalmente, por medio de encapsulación de sustancias a utilizar como fortificantes, las protege de la luz, el daño por calor, y suprimir o retrasar su oxidación, (Carneiro et al, 2013; López, 2010). 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, (Reyes, M., & Vélez, J., 2015).

En matrices alimentarias, las aplicaciones de esta técnica, ayuda a que los materiales de pared empleados resistan las condiciones de procesamiento y empaçado; mejorando sabor, aroma, estabilidad, valor nutritivo y apariencia, (Chamorro, Pacheco, & Tamayo, 2016).

Materiales de pared o agentes encapsulantes

En la Industria alimentaria los materiales de pared que se utilizan para la micro-encapsulación de nutrientes pueden ser la gelatina, goma arábica, maltodextrina, proteína de lactosuero, lecitina de soja, quitosano, entre otras, al respecto su finalidad es proteger el producto encapsulado de la luz, el oxígeno y de los procesos tecnológicos que es sometida una matriz alimentaria, (Lagares & Dra. Uliana, 2016).

Goma Arábica (GA)

La goma arábica es uno de los materiales de pared más comunes que se utilizan en la micro-encapsulación, esta presenta características deseables para ser un buen agente encapsulante por su alta solubilidad, baja viscosidad y buenas propiedades emulsionantes, (Carneiro et al, 2013).

Por sus características de baja viscosidad, buena eficiencia, solubilidad y formación de emulsiones, es el agente encapsulante que reúne las mejores características para ser

utilizado como agente encapsulante, (Farhana et al., 2019; Moghadam, et al., 2019). Cabe anotar que la goma arábica es un polisacárido complejo con una estructura altamente ramificada, con una cadena principal formada por unidades D-galactopiranosas que es capaz de producir emulsiones estables en un amplio rango de pH. Por lo anterior la goma arábica puede utilizarse como recubrimiento de materiales en combinación con otros encapsulantes, como por ejemplo la goma xantana, maltodextrina, o con almidón modificado y maltodextrina a la vez, es relevante tener en cuenta que no se puede utilizar en altas concentraciones ya que tiende a adherirse en las paredes del atomizador durante el proceso, (Arteaga A. & Arteaga H., 2016).

Maltodextrina (MD)

La maltodextrina es un almidón hidrolizado comúnmente utilizado como material de pared en la micro-encapsulación de ingredientes alimentarios, debido a que, ofrece ventajas como costo relativamente bajo, aroma y sabor neutro, baja viscosidad a altas concentraciones de sólidos y buena protección contra la oxidación; el mayor problema de este material de pared es su baja capacidad emulsionante, por esta razón, se recomienda usar maltodextrina en combinación con otros biopolímeros tensoactivos, como goma arábica, (Carneiro et al, 2013).

La maltodextrina, es elaborada por métodos de hidrólisis ácida o enzimática de los almidones, constituida por una mezcla de carbohidratos con diferentes grados de polimerización, la cual presenta diferentes propiedades fisicoquímicas y funcionales, que la han convertido en uno de los aditivos más ampliamente utilizados en la micro-encapsulación de nutrientes, vitaminas, ácidos grasos, etc, dado que la maltodextrina es una buena solución entre el costo y la efectividad; porque tiene baja viscosidad a alta

proporción de sólidos, está disponible en diferentes pesos moleculares, es inodora, incolora y permite la formación de polvos de libre flujo sin enmascarar el sabor original, esto hace que se extensivamente utilizados en la industria de alimentos, (Arteaga A. & Arteaga H., 2016).

La apariencia de la maltodextrina es un polvo blanco cremoso altamente higroscópico, que tiene un bajo o moderado sabor dulce, de alta solubilidad en agua, y baja viscosidad en soluciones concentradas permitiendo incrementar el contenido de sólidos de las emulsiones, siendo beneficioso para la retención del núcleo durante el secado por atomización; (Vallejo & Dra. Cabrera, 2019). El mismo autor manifiesta que la maltodextrina tiene una capacidad de emulsión pobre, pero en combinación con goma arábica, proteína de suero o almidones modificados, se obtienen buenos resultados en cuanto a la protección del núcleo, por la rápida formación de una pared densa durante el secado.

Quitosano

El quitosano es un polisacárido lineal compuesto de cadenas distribuidas aleatoriamente de β - (1-4) D-glucosamina (unidades desacetiladas) y N-acetil-D-glucosamina (unidad acetilada), se produce a partir del tratamiento de conchas de quitina de camarones y otros crustáceos con una sustancia alcalina como hidróxido de sodio; es bastante utilizado en la industria alimenticia debido a que no es toxico, y a la capacidad de formar películas; también se caracteriza por su alta mucoadhesión y resistencia a la tracción mecánica que es sometida durante el proceso de elaboración de una matriz alimentaria, (Bonilla, 2018).

Gelatina

La Gelatina es un coloide gel (es decir, una mezcla semisólida a temperatura ambiente), incolora, translúcida, quebradiza e insípida, que se obtiene a partir del colágeno procedente del tejido conectivo de animales, es un polímero compuesto de aminoácidos en donde el grado de polimerización, la naturaleza de los monómeros, la secuencia en la cadena proteica determina sus propiedades generales; siendo líquidas en agua caliente y sólidas en agua fría, (Bonilla, 2018).

Proteínas

Dentro de las proteínas vamos a encontrar lecitina de soya, proteína de suero, las cuales son agentes encapsulantes o materiales de pared utilizados por la industria alimentaria para la micro-encapsulación de componentes utilizados en la fortificación de matrices alimentarias; las moléculas de estas proteínas, se adsorben en la superficie de las gotas de aceite presentes en la emulsión, formando una capa protectora alrededor de ellas, reduciendo la tensión superficial; además, poseen propiedades estabilizantes, porque tienen gran solubilidad y habilidad de interactuar con el agua, generando repulsión entre las gotas de aceite formando una membrana interfacial resistente, impidiendo la floculación y la coalescencia de la emulsión, (Bastida & Dr. Pérez, 2019).

En los últimos años, la proteína de soya, la proteína de suero de leche y caseínatos se han estudiado por su potencial uso como materiales de pared en la encapsulación de aceites y sabores mediante secado por aspersion, (Bastida & Dr. Pérez, 2019). El autor manifiesta que los principales problemas que se tienen al utilizar este tipo de proteínas es que dependen de factores como pH, fuerza iónica y temperatura; al respecto, si el pH de la emulsión inicial alcanza el punto isoeléctrico de la proteína utilizada, el biopolímero

perderá sus propiedades emulsificantes y la emulsión resultante se vuelve inestable y no es apta para el proceso de encapsulación.

La proteína de suero de leche, es una sustancia acuosa remanente después de la coagulación de la caseína en la leche, a través de la adición de ácido o a través de la acción de una enzima; su composición varía considerablemente, dependiendo del origen de la leche y los procesos de manufactura involucrados, (Bastida & Dr. Pérez, 2019). En cuanto a las propiedades funcionales se le atribuyen: solubilidad, espumado, gelación, emulsificación, elasticidad, viscosidad y características sensoriales que favorecen uso como emulsificantes, facilitando la fina dispersión del material a encapsular debido a la actividad superficial, capacidad de emulsificación y su alta hidrofobicidad, permitiendo la interacción apolar con el material a encapsular; sin embargo presenta desventajas como su alto costo y la inestabilidad en medios acuosos, (Bastida & Dr. Pérez, 2019).

Técnicas de Encapsulación o micro-encapsulación

En la industria alimentaria las técnicas de encapsulación más empleadas son, secado por aspersión, Co-extrusión o extrusión centrífuga, extrusión, aspersión por enfriamiento o congelación y liofilización.

Secado por aspersión

El secado por aspersión proporciona una eficiencia de encapsulación relativamente alta, en donde la mayor eficiencia de encapsulación que se alcanza con el secado por aspersión, se encuentra entre 96 y 100%, (Castrillón et al., 2016). El secado por aspersión es una operación unitaria mediante la cual un producto líquido es atomizado en una corriente de gas caliente para obtener un polvo instantáneamente, para ello el líquido inicial alimentado

al aspersor puede ser una solución, una emulsión o una suspensión, (Ing. Solís & Ing. López, 2018). Este tipo de secado es de los más utilizados en la industria agroalimentaria.

El secado por aspersión involucra tres etapas: preparación de la dispersión, solución o emulsión, homogeneización y atomización, este método 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 y la sustancia a encapsular, es rodeada por una matriz protectora, normalmente un polímero como goma, maltodextrina, almidón y carboximetilcelulosa, (Castrillón et al., 2016).

Co-extrusión o Extrusión Centrífuga

Es un tipo de tecnología de extrusión que se utiliza muy comúnmente en los procesos de micro-encapsulación, para su aplicación utilizan boquillas que consisten en orificios concéntricos, en donde la solución de polímero acuoso calentado fluye a través del tubo exterior y el aceite a encapsular fluye a través del tubo interior y, finalmente, los fluidos se descargan en un flujo de movimiento del fluido portador; el tamaño de las micro-cápsulas obtenidas por este método son de 500 a 1.000 micras, siendo estas micro-cápsulas de tamaño grandes para ser incorporadas en alimentos, ya que las partículas por encima de aproximadamente 100 micras impacta sensación en la boca, (Chamorro, Pacheco, & Tamayo, 2016).

Extrusión o Pulverización

La extrusión es otra tecnología potencial empleada en los procesos de micro-encapsulación, esta tecnología puede ser utilizada para producir productos encapsulados de

alta densidad, (Chamorro, Pacheco, & Tamayo, 2016). Esta técnica de micro-encapsulación se ha utilizado casi exclusivamente para la micro-encapsulación de aceites en una matriz de hidratos de carbono, (Contreras, Dr. Pérez, & M. en C.Q. Alpizar, 2019). Cabe resaltar que el enfoque fundamental de esta tecnología ha sido el secado por pulverización debido a que los productos extruidos son menos porosos; sin embargo, también se ha observado que el costo de extrusión es casi el doble del secado por pulverización y el uso de extrusores de husillo a alta presión genera altas fuerzas de cizallamiento que son perjudiciales para la estabilidad del material de núcleo sensible como el aceite de omega-3, (Chamorro, Pacheco, & Tamayo, 2016).

Aspersión por Enfriamiento o Congelación

Este método es considerado uno de los más adecuados para el secado de materiales biológicos y alimentos sensibles; usualmente es empleado para encapsular compuestos químicos como sulfato ferroso, vitaminas, minerales, acidulantes, sabores y aromas, productos de panadería, sopas en polvo, etc, para micro-encapsular con este método se 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, las micro-cápsulas podrían liberar su contenido cuando la temperatura del producto alimenticio aumenta por encima de la temperatura de fundición de la grasa o cera y una reducción de la temperatura produce una solidificación del lípido pared generando atrapamiento de la sustancia activa en el centro de la cápsula, (Castrillón et al., 2016).

Liofilización

Esta técnica también es conocida como secado en frío o criodesecación, es la técnica más adecuada para la deshidratación de todos los materiales sensibles al calor y para la micro-encapsulación de nutrientes, vitaminas, ácidos grasos, etc; este proceso de deshidratación se realiza a temperaturas y presiones bajas garantizando una retención de compuestos volátiles, siendo una operación multietapa que estabiliza los materiales a través de cuatro operaciones principales como: la congelación, la sublimación, la desorción y finalmente el almacenamiento; este método se inicia por congelar el producto, a continuación, el hielo es sublimado desde el estado sólido al vacío, finalmente, el agua no congelada es eliminada por evaporación a presión reducida, (Contreras, Dr. Pérez, & M. en C.Q. Alpizar, 2019).

Un proceso exitoso de liofilización conserva la mayoría de las propiedades iniciales de la materia prima, como la forma, las dimensiones, el aspecto, el sabor, el color, la textura y la actividad biológica; observando la eficacia de micro-encapsulación en la protección o la liberación controlada del material del núcleo, dependiendo principalmente de la composición y la estructura del material de pared, siendo los más utilizados: goma arábiga, maltodextrina, almidones emulsionantes, proteína de suero de leche, etc., (Contreras, Dr. Pérez, & M. en C.Q. Alpizar, 2019).

Aplicación de micro-encapsulados en matrices alimentarias

La micro-encapsulación de componentes bioactivos se puede utilizar para muchas aplicaciones en la industria alimentaria: por ejemplo, para el control de la reacción oxidativa, enmascarar sabores, colores y olores, extender la vida útil, etc; estas aplicaciones de micro-encapsulados cobran cada día más atención por la industria alimentaria porque protegen los nutrientes de los factores que pueden alterar su viabilidad en el producto final, (Ing. Alim. Páez, Dra. Zaritzky, & Dr. Reinheimer, 2013).

En la industria alimentaria, la micro-encapsulación ha contribuido al desarrollo de alimentos funcionales que contienen ingredientes bioactivos naturales, cuyas bioactividades se controlan, protegen y conservan en cápsulas, siendo las principales matrices alimentarias empleadas para incorporar micro-encapsulados los productos lácteos, bebidas como jugos y néctares, mermeladas, productos cárnicos entre ellos las salchichas y hamburguesas, (Kyeong et al., 2017).

Matrices alimentarias

La matriz alimentaria es una variedad heterogénea de varios componentes, como partículas inorgánicas, compuestos bioquímicos y microflora autóctona, en sí es el conjunto de componentes, nutrientes y no nutrientes de los alimentos y sus relaciones moleculares, una matriz alimentaria va un poco más allá del alimento como tal, una matriz incorpora un análisis bromatológico de cuáles son los nutrientes que tiene ese alimento, cuáles son las funciones que tienen esos nutrientes que lo pueden caracterizar como un alimento funcional y una matriz alimentaria evalúa toda la cadena de producción, evalúa la calidad de las materias primas, el proceso, el producto terminado, haciendo una evaluación integral del

alimento de sus características fisicoquímicas, bromatológicas y sensoriales, incluyendo la estandarización de proceso del producto funcional, (Yun W., Joelle K.; 2015).

Alimentos Funcionales.

Se consideran alimentos funcionales aquellos que se han demostrado científicamente que afectan beneficiosamente a una o varias funciones del organismo, de manera que proporcionan un mejor estado de salud y bienestar, además, ejercen un papel preventivo ya que reducen los factores de riesgo que provocan la aparición de enfermedades, (Dr Aranceta J. & Prof. Serra L., S.F.).

El término “alimento funcional” fue propuesto en Japón en el año 1980 para su reglamentación, define a los “alimentos funcionales para uso específico de salud”, (Luengo, E.; 2007). Por ello, cuando se habla de un alimento funcional quiere decir que este aporta los nutrientes básicos y que cuenta con uno o más componentes diferenciados que mejoran las funciones fisiológicas del organismo que lo consuma; estos se desarrollan por medio de la incorporación de elementos específicos o compuestos bioactivos, como prebióticos, probióticos, péptidos bioactivos, carotenoides, vitaminas, compuestos fenólicos, fitoestrógenos, ácidos grasos o lípidos estructurados en sistemas alimentarios, (Arias et al., 2018). Se estima que los alimentos funcionales son útiles en el mantenimiento de una buena salud física y mental, en la reducción del riesgo de enfermedades crónico-degenerativas, además de sus funciones nutricionales básicas, (Luengo, E.; 2007).

Las principales funciones a que se hace referencia en este concepto están en relación con un óptimo crecimiento y desarrollo, con el mantenimiento de la normal actividad del sistema cardiovascular, con la prevención de enfermedades cardiovasculares, hepáticas y

degenerativas, también, ofertan alimentos que corrigen, modulan o influyen de diversa forma en otros órganos y sistemas: endocrino, ginecológico, digestivo, osteoarticular, renal o nervioso, (Luengo, E.; 2007).

Alimentos Fortificados

Los productos fortificados, son aquellos a los que se ha adicionado entre el 10% y 100% del valor de referencia para vitaminas, minerales, proteínas y fibra dietaria; en este sentido, si el nutriente adicionado cubre del 10 al 19% del valor de referencia, el alimento se declara "alto en" determinado nutriente o "buena fuente de" si contiene más del 20%, de acuerdo con la normativa colombiana vigente, siendo los cereales para el desayuno, las pastas, las bebidas, las vitaminas A, C y B1 y los minerales hierro, zinc y calcio los nutrientes más adicionados para la fortificación voluntaria, (Villaquirán, Burbano, & Bucheli, 2018).

Materiales de pared y las combinaciones que son utilizadas para el microencapsulado en la industria alimentaria.

La micro-encapsulación es definida por (Csernoch C., Gallo. & Mazzobre M., 2015; Silva E., et al., 2018), como el proceso mediante el cual ciertas sustancias bioactivas como sabores, aromas, colorantes, drogas, vitaminas, aceites esenciales, etc., son introducidas en una matriz o sistema pared con el objetivo de controlar su liberación, para protegerlos frente a procesos como oxidación, evaporación, degradación térmica o migración en el alimento. Así mismo, (Bakry, et al., 2015), afirman que la micro-encapsulación es un proceso de construcción de una barrera funcional entre el núcleo y el material de pared para evitar reacciones químicas y físicas y para mantener las propiedades biológicas, funcionales y fisicoquímicas de los materiales del núcleo. A su vez (Arteaga A. & Arteaga H., 2016) explican que la micro-encapsulación es el proceso de empaquetamiento de materiales sólidos, líquidos o gaseosos a través de la aplicación de una cubierta fina denominada pared o membrana semipermeable, fuerte y delgada de un material polimérico que rodea y contiene a la sustancia de interés, denominada centro o núcleo activo.

En la micro-encapsulación es fundamental la realización de la emulsión a emplear, la cual, según (Rubiano K., 2015), debe ser lo suficientemente estable para garantizar una micro-encapsulación adecuada, con una alta retención del componente activo, para alcanzar este objetivo, se hace necesario la adición de agentes con propiedades de superficie, que debido a su naturaleza permiten que se adsorban en la interfase de la emulsión y la formación de agregados que confieren mayor estabilidad, evitando problemas como coalescencia, floculación y separación de fases. Se concluye que la micro-encapsulación es realizada con éxito cuando se obtiene una elevada retención del material a micro-encapsular.

Las micro-cápsulas obtenidas a través del proceso de micro-encapsulación son empleadas en diversas industrias como señala (Silva E., et al., 2018), las cuales, son empleadas en la industria textil, metalúrgica, química, alimenticia, farmacéutica y medicina; respecto al área de alimentos, las aplicaciones de esta técnica se han ido incrementando debido a la necesidad de proteger a los materiales encapsulados de factores como oxidación, calor, olores desagradables, humedad, entre otros factores, permitiendo mantener su estabilidad y viabilidad en matrices alimentarias.

En la micro-encapsulación se han estudiado distintos polímeros naturales o materiales de pared, que son utilizados con el fin de desarrollar nuevos sistemas de encapsulación como maltodextrinas, sólidos de jarabe de maíz, goma arábiga y almidones modificados, éstos materiales de pared deben tener la capacidad de proporcionar una emulsión estable durante el proceso de secado y tener muy buenas propiedades de formación de película para proveer una capa que proteja al ingrediente activo de la oxidación, (Csernoch C., Gallo. & Mazzobre M., 2015).

La micro-encapsulación puede considerarse como una técnica que se puede utilizar en la industria alimentaria con el propósito de preservar los ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs) como el Omega 3, 6 y 9, proteínas, hierro, vitaminas, entre otros; al respecto, autores como (Conto, Porto, & Joy, 2012) respaldan el papel protector de los micro-encapsulados cuando afirman que estos tienen la finalidad de proteger a sustancias contenidas en estas micro-cápsulas de la oxidación o deterioro al estar expuestas a altas o bajas temperaturas, en contacto con el oxígeno, limitando que se produzca olores y sabores desagradables durante el procesamiento y almacenamiento o que puedan ser característicos de las sustancias micro-encapsuladas, teniendo en cuenta que su finalidad puede ser la fortificación de matrices alimentarias.

La fortificación de los alimentos es una de las estrategias más empleadas y efectivas para incrementar el valor nutritivo de un alimento, cuyo propósito es beneficiar la salud de las personas, aunque puede presentar inconvenientes con la incorporación de micro-encapsulados, (Serpa, et al., 2015). Por tal razón, surge la necesidad de analizar los diferentes materiales de pared y sus combinaciones para la micro-encapsulación de compuestos nutricionales.

En la actualidad, la industria alimentaria está utilizando una gran variedad de biopolímeros como material de pared para formar encapsulaciones o microencapsulaciones de sustancias nutricionales que pueden ser incorporadas en matrices alimentarias; estas micro-cápsulas son elaboradas con materiales envoltentes como el quitosano, gomas naturales, almidones modificados, ceras, proteínas, maltodextrina (Kwak et al., 2016), goma arábica (Moghadam, et al., 2019), licopeno, pectina, caseinato y lecitina de soya, etc. (Aquilani, et al., 2018). También se pueden encontrar artículos científicos, microcápsulas elaboradas haciendo combinaciones de agentes encapsulantes como: maltodextrina y goma arábica (Vallejo & Dra. Cabrera, 2019) esta combinación de materiales de pared, los emplearon para micro-encapsular sulfato de hierro, logrando una eficiencia de encapsulado de 49,84%. La misma combinación de material de pared emplearon (Carneiro et al, 2013), para micro-encapsular aceite de linaza, consiguieron una alta eficiencia de encapsulación del 80% y una alta retención de material del núcleo. (Aquilani, et al., 2018) emplearon lecitina de soya con quitosano y maltodextrina en la microencapsulación de aceite de pescado y en la formulación de hamburguesas, obtuvieron buenos resultados en la fortificación de este producto cárnico. También, (Solomando, Antequera & Perez, 2020) utilizaron la lecitina de soya con quitosano y maltodextrina para fortificar hamburguesas

con micro-encapsulados de aceite de pescado, lograron que el encapsulado es adecuado para fortificar salchichas.

En la micro-encapsulación de nutrientes, es importante considerar el tipo de material de pared a emplear de manera que éstos deben ser inertes y resistentes al trabajo mecánico que pueden darse durante la incorporación al alimento, (Domínguez et al., 2017). En estudios realizados por (Mena & PhD. Bonilla, 2019), utilizaron para la micro-encapsulación, la combinación de los materiales de pared, goma arábiga y maltodextrina, obtuvieron que estos son altamente susceptibles a altas temperaturas porque las moléculas de agua a temperaturas superiores a 50 - 60°C se vuelven más activas debido al aumento de su nivel de energía que disminuye la estabilidad y descomponen los sitios estructurales del agua en el material adsorbente o agentes encapsulantes, afectando la estabilidad de la vida útil de las micro-cápsulas al ser incorporadas en una matriz alimentaria. Otros estudios como (D.P.R. Ascheri, 1999) encontraron el mismo resultado, donde emplearon goma arábiga y maltodextrina, como material encapsulante, éstos se desestabilizaron al aumentar la temperatura del proceso pudiendo afectar la vida útil de las micro-cápsulas, en una matriz alimentaria. Por tal razón, la temperatura juega un rol importante al momento de emplear micro partículas en la fortificación de alimentos.

Por su parte, (Carneiro et al, 2013), utilizaron combinaciones de maltodextrina con diferentes materiales de pared en la micro-encapsulación de aceite de linaza por el método de secado por atomización, empleando las combinaciones de materiales de pared de maltodextrina con goma arábiga, maltodextrina con concentrado de proteína de suero (WPC) y maltodextrina con dos tipos de almidón modificado (Hi-Cap y Capsul), la mejor eficiencia de encapsulación la obtuvieron para maltodextrina: almidón modificado (Hi-Cap), seguida de la combinación maltodextrina: almidón modificado (Capsul), y la menor

eficiencia de encapsulación fue para maltodextrina: proteína de suero (WPC), que también, mostró una deficiente estabilidad de la emulsión debido a que las partículas eran huecas, con el material activo incrustado en la matriz del material de pared, pero, presento mejor protección al material activo contra la oxidación de lípidos; en este estudio los autores no realizaron la incorporación de las micro-cápsulas en matrices alimentarias.

Por su parte (Domínguez et al., 2017) elaboraron micro-cápsulas con maltodextrina, goma arábiga y caseinato; en el primer paso, emplearon una solución de 120 kg de agua (80%), 19,5 kg de maltodextrina (13%), 9 kg de caseinato (6%) y 1,5 kg de goma arábiga (1%) a 75°C, mantuvieron esta temperatura hasta completar la disolución de los componentes, luego, la solución la enfriaron a 40°C y añadieron 10 kg de aceite de pescado, en el segundo paso, homogenizaron la mezcla anterior a 80°C durante 2 h, en el paso final, secaron la mezcla anterior usando un secador por pulverización, al finalizar este proceso las micro-cápsulas quedaron con un 35% de contenido de aceite de pescado micro-encapsulado, el estudio mostró que la maltodextrina y la goma arábiga son excelentes agentes encapsulantes que se pueden emplear en la micro-encapsulación; además, en este estudio encontraron que al reemplazar la grasa dorsal de cerdo por aceite de pescado micro-encapsulado afectó significativamente el contenido de carbohidratos, ya que los valores más altos observaron para las salchichas de frankfurt fabricadas con aceite de pescado micro-encapsulado, éstos resultados podrían estar relacionado con los materiales de pared empleados en la micro-encapsulación (maltodextrina, goma arábiga y caseinato), dado que la maltodextrina es un almidón modificado, por tal razón al ser utilizada como material de pared los alimentos fortificados con estas micro-cápsulas se incrementa el contenido de carbohidratos.

(Gowda et al., 2018) prepararon un helado reemplazando la grasa de la leche con micro-cápsulas de aceite de linaza a niveles de 3, 4 y 5%, manteniendo la grasa total en un 10% y los sólidos totales en un 36%, después de la suplementación, el aceite de linaza lo encapsularon con proteínas de suero de leche, para la formulación del helado, todos los ingredientes secos, excepto las micro-cápsulas de aceite de linaza y los ingredientes húmedos los mezclaron para preparar la mezcla de helado a 60-70°C, en seguida homogeneizaron a 2500 psi de presión a una temperatura de $65 \pm 2^\circ\text{C}$, las micro-cápsulas las agregaron en dos etapas: (1) antes de la homogeneización y, (2) después de la homogeneización; posteriormente, la mezcla la pasteurizaron por lotes a $85 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 5 min, en seguida realizaron un enfriamiento inmediato a 4°C, después envejecieron la mezcla de helado durante 24 h, el envasado lo realizaron a una temperatura de 5 a 7°C, y almacenaron el helado a $-18 \pm 2^\circ\text{C}$.

En las condiciones mencionadas anteriormente, (Gowda et al., 2018) no tuvieron diferencias significativas entre las puntuaciones sensoriales para el color y apariencia del helado preparado mediante la adición de micro-cápsulas, esto puede atribuirse a la naturaleza del micro-encapsulado del aceite de linaza y la no disponibilidad de aceite libre / superficial en la preparación de las micro-cápsulas que utilizaron para la fortificación del helado; además, en el presente estudio, el tamaño de las micro-cápsulas de aceite de linaza que obtuvieron, eran del 82 a 10.01 μm y después de la homogenización quedaron a un tamaño de 0,2–2 μm , la homogeneización alteró las partículas, por esta razón, reducen el tamaño de las partículas a 0,2–2 μm . Por lo tanto, las puntuaciones sensoriales más bajas se presentaron en las muestras en las que se fortificaron con micro-cápsulas de aceite de linaza, antes de la homogeneización, esto se puede explicar debido a la liberación de aceite de linaza de las micro-cápsulas y la posterior producción de sabores desagradables debido a

su oxidación, en base a estos resultados, la etapa, que seleccionaron para la adición de las micro-cápsulas en el helado, es después del proceso de homogeneización de la mezcla de helado.

(Gowda et al., 2018) también, encontraron que las micro-cápsulas de aceite de linaza permanecieron estables a la pasteurización, en la prueba del índice de peróxido del helado fortificado con micro-cápsulas, los autores reportan que no hubo diferencias significativas con respecto al control, hasta los primeros 15 días de almacenamiento, sin embargo, a medida que avanzó el período de almacenamiento, los peróxidos aumentaron y alcanzaron el máximo en el día 30 de almacenamiento, lo que indica la formación de hidroperóxidos al nivel máximo durante este periodo de tiempo, luego disminuyó en el día 60 de almacenamiento y a partir del día 75 en adelante los peróxidos aumentaron, esto podría estar relacionado con las propiedades antioxidantes de las proteínas del suero utilizadas para la preparación de micro-cápsulas de aceite de linaza, dado que los aminoácidos de las proteínas del suero muestran un comportamiento de unión a metales y, por lo tanto, actúan como antioxidantes.

Además en la industria alimentaria emplean el alginato de sodio como material de pared, este se comporta bien en la fortificación de productos cárnicos, como lo demuestra en el estudio realizado por (Teresinha R., 2017), quien incorporo micro-cápsulas de chía y linaza en hamburguesas, en la micro-encapsulación empleó alginato de sodio al 2%, con este material de pared, obtuvo una eficiencia del 86% de micro-encapsulación, éstos resultados demuestran que el material de pared empleado es eficiente para encapsular la mayor cantidad de aceite de chía y de linaza, a su vez, las micro-cápsulas soportan la temperatura del proceso, máximo 72°C durante 20min, sin que esto afecte las características fisicoquímicas del producto final.

Las investigaciones realizadas por (Teresinha R., 2017), acerca de los diferentes materiales de pared mostraron que la selección del material de pared como las propiedades de la emulsión, estabilidad, viscosidad y tamaño de las gotas, pueden afectar la eficiencia del proceso y la estabilidad del producto micro-encapsulado, debido a que una micro-encapsulación exitosa debe resultar en un polvo con un mínimo de aceite superficial y máxima retención del material activo.

Se concluye que, la selección de combinaciones de materiales de pared afecta tanto a las propiedades de la emulsión como a las características de las partículas después del secado y durante el almacenamiento; está bien descrito que las características de la emulsión como la estabilidad, viscosidad, tamaño de las gotas, así como las propiedades del polvo como el aceite superficial, el tamaño de partícula, la densidad, la morfología y la estabilidad oxidativa, están influenciadas por el tipo de material de pared utilizado, por lo que es importante que el material de pared seleccionado sea soluble en el disolvente de elección, que produzca membranas homogéneas, con la porosidad y el tamaño deseado, en general sea estable en las condiciones ambientales y de las matrices alimentarias a incorporar las micro-cápsulas.

Técnicas de micro-encapsulación y su incidencia en la estabilidad del microencapsulado incorporado en matrices alimentarias

En la industria alimentaria existen varios métodos o técnicas para la micro-encapsulación de nutrientes empleados en la fortificación de matrices alimentarias, siendo los más utilizados el secado por aspersión, pulverización, atomización, liofilización, entre otras, (Bakry, et al., 2015). En gran parte esto se debe a las ventajas que presentan estas técnicas a la hora de producir micro-cápsulas, pudiéndose emplear diversos agentes encapsulantes como materiales de pared, equipos económicos y su simplicidad en la técnica; por lo anterior, hace que estas técnicas sean la alternativa más viable, sencilla y económica para producir micro-cápsulas con la finalidad de fortificar matrices alimentarias, (Castrillón et al., 2016).

De acuerdo con (Carneiro et al, 2013), el secado por pulverización es un proceso ampliamente utilizado para la micro-encapsulación de aceites y sabores, este método de micro-encapsulación da como resultado polvos de buena calidad, baja actividad de agua, de fácil manejo, almacenamiento y también protege el material activo contra reacciones indeseables.

(Umesha, et al., 2015), en sus investigaciones evaluaron el método de secado por pulverización, para micro-encapsular aceite de semilla de berro, utilizando proteína de suero de leche como material de pared. El micro-encapsulado contenía 25 g de semilla de berro, obtuvieron una eficiencia de micro-encapsulación del 64,8% y un tamaño de partícula de $15,4 \pm 9,1$ micrones, éstas micro-cápsulas las incorporaron en galletas, las cuales, no presentaron cambios significativos en sus propiedades fisicoquímicas, por lo que se deduce que la micro-encapsulación por el método de pulverización y empleando como

material de pared la proteína concentrada de suero se puede fortificar productos de panificación.

(Umesha, et al., 2015)., en su investigación incluyeron el almacenamiento de las galletas en tres condiciones de almacenamiento diferentes, así: 90% HR / 38°C durante 3 meses, 30-40% HR / 38-40°C durante 4 meses y 65% HR / 27 °C durante 5 meses. Las galletas almacenadas a 90% HR / 38°C tuvieron un mes de vida útil, mientras que a 30-40% HR / 38-40°C y 65% HR / 27°C, fue de 4 y 5 meses de vida útil, respectivamente, los autores encontraron que la micro-encapsulación ofrece protección oxidativa al alfa-linolénico (ALA) durante el horneado manteniendo la vida útil de las galletas durante el almacenamiento a largo plazo. Por lo tanto, el aceite de semilla de berro micro-encapsulado se puede incorporar y complementar para aumentar los niveles de alfa-linolénico (ALA) en galletas y otros productos de panificación que necesitarían ser sometidos a altas temperaturas durante su proceso de elaboración.

Además, (Solomando J., & Pérez T., 2020), secaron por el método pulverización emulsiones monocapa (Mo) y multicapa (Mu) de aceite de pescado, para la microencapsulación, la velocidad del aspirador lo ajustaron al 80%, la velocidad de alimentación de 1 l/h, con una temperatura de entrada de 180°C y temperatura de salida, la cual, varió de 85 a 90°C, los polvos secos que obtuvieron los almacenaron en recipientes a 4°C hasta su incorporación a los productos cárnicos.

Al fortificar salchichas obtuvieron buenos resultados debido a que las micro-cápsulas no generaron alteraciones al producto final; lo anterior indica que al micro-encapsular aceite de pescado con el método de pulverización puede tenerse un efecto significativo en matrices cárnicas para productos cocidos como salchichas, porque incrementa el porcentaje de ácido eicosapentaenoico (EPA) y ácido docosahexaenoico

(DHA) disponible en el producto final, estos resultados dan motivo para estudiar en el desarrollo de alimentos con características funcionales de origen cárnico que proporcionen perfiles de lípidos más saludables y promuevan la salud y el bienestar de las personas a partir de micro-cápsulas obtenidas por el método de pulverización utilizando como material de pared lecitina + quitosano-maltodextrina, (Solomando J., & Pérez T., 2020).

(Domínguez et al., 2017), utilizó la técnica de secado por pulverización en la micro-encapsulación de aceite de pescado, emplearon un secador por pulverización, con el cual secaron el homogeneizado a temperatura ambiente durante el proceso de secado por pulverización, ajustaron la velocidad de alimentación del aspirador 75 L/h, con una temperatura de entrada de 180°C y temperatura de salida de 80°C, este proceso de secado duró 3 h. Con la técnica de secado por pulverización (Domínguez et al., 2017), consiguieron un polvo de aceite de pescado micro-encapsulado que contenía un 35% de aceite de pescado, indicando que la técnica de micro-encapsulación empleada es viable, puesto que se puede obtener micro-cápsulas con un alto porcentaje de aceite encapsulado.

Por su parte, (Goyal et al., 2016), emplearon la técnica de secado por pulverización, lograron buenos resultados; los autores en la micro-encapsulación de aceite de linaza mezclaron bien los materiales de pared caseinato de sodio, concentrado de proteína de suero, goma arábiga y maltodextrinas, el aceite de linaza lo homogenizaron a baja presión (69 bar a 20 l por hora), con ello obtuvieron emulsiones gruesas, a continuación, sometieron la emulsión a una homogeneización de alta presión (241.31 bares a 20 LPH). Los autores, las emulsiones las secaron por el método de pulverización, ajustando las temperaturas de entrada y salida del secador entre $170 \pm 1^\circ\text{C}$ y $75 \pm 1^\circ\text{C}$, respectivamente, las micro-cápsulas de aceite de linaza las empaquetaron por separado en un paquete de papel de aluminio (grosor: 80-100 μm) y las almacenaron a temperatura ambiente (30 -

35°C) hasta su posterior uso para la fortificación de yogur indio (*El dahi*). Al respecto (Goyal et al., 2016) informan que las micro-cápsulas de aceite de linaza podrían utilizarse para la fortificación de diversos productos alimenticios, debido a que éstas micro-cápsulas presentan una buena estabilidad en el yogur fortificado con micro-cápsulas de aceite de linaza.

Con relación a la técnica de micro-encapsulación atomización (Vallejo & Dra. Cabrera, 2019), señalan que esta técnica transforma una solución de alimentación, que va de un estado líquido a un estado seco y articulado por aspersión de la solución a un medio caliente de secado, donde, su principio de operación es remover la humedad por la aplicación de calor a la alimentación y controlar la humedad en el medio de secado a través de un sistema convectivo. Esta técnica empleada en la micro-encapsulación presenta sus ventajas, como lo señalan (Córdova & Nakamatsu, 2018) al informar que las propiedades físicas del producto, tales como el tamaño, forma de partículas y contenido de humedad, se pueden controlar a través de la configuración del equipo empleado y la manipulación de las variables del proceso (flujo de entrada y temperatura del secado), debido a que se pueden obtener micro partículas pequeñas, lo cual es un aspecto muy importante a tener en cuenta a la hora de fortificar un alimento, entre más pequeña sea la microcápsula, el alimento fortificado va tener menos posibilidades de que sea alterado en sus características sensoriales, el hecho de fortificar con micro-cápsulas de tamaño grande, genera cambios en la textura del producto.

(Aquilani, et al., 2018), emplearon el método de atomización para realizar la micro-encapsulación de ácidos grasos polinsaturados (AGPI) de omega-3 extraído del aceite de pescado, en multicapa (Mu); la velocidad del aspirador lo ajustaron al 80%, la velocidad de alimentación del 1 l/h, la temperatura de entrada 180°C y la temperatura de salida varió de

85 a 90°C; el aceite de omega-3 micro-encapsulado por este método, las incorporaron en hamburguesas y las almacenaron en congelación y refrigeración; las hamburguesas almacenadas en congelación, presentaron una pérdida de ácido docosahexaenoico (DHA) y omega-3, con respecto a las hamburguesas que las almacenaron en refrigeración, esto probablemente se debió a una serie de posibles mecanismos que ocurren durante el método de micro-encapsulación empleado, que pudo haber promovido la degradación del omega -3.

De la misma manera (Vallejo & Dra. Cabrera, 2019), emplearon el método de atomización para micro-encapsular hierro, en el proceso ajustaron el aire de entrada a 160°, 180° y 200°C; para un total de 3 muestras, además fijaron la velocidad de alimentación de la bomba peristáltica en un valor de 5, en las condiciones de operación, obtuvieron una eficiencia de encapsulamiento del 49,84%, consiguieron resultados favorables en la muestra 3 a una temperatura de entrada de aire de 200°C, temperatura de salida de aire del 95°C y una relación de mezcla 40:60 (goma arábiga: maltodextrina), por lo que se deduce que la goma arábiga debe ser menor la cantidad que la maltodextrina, para obtener buenos resultados en la micro-encapsulación de nutrientes y el proceso de atomización se debe ajustar la temperatura de entrada a 200°C y de salida a 95°C, para lograr una microcápsula apta para ser incorporada en matrices alimentarias.

En el estudio realizado por (Teresinha R., 2017), para la micro-encapsulación de aceite de chía y linaza, empleó el método de gelificación iónica externa, donde demostró que el proceso de micro-encapsulación, no cambió el perfil de ácidos grasos de la chía y la linaza.

Se deduce que, en la selección del método utilizado para micro-encapsular es necesario tener en cuenta aspectos como la calidad de los ingredientes protegidos, el

tamaño de cápsula deseado, el material a encapsular, el costo y las propiedades físicas y químicas del recubrimiento; lo anterior, porque el material encapsulado tiene una naturaleza, propiedades y características diferentes que hacen que se comporten de manera particular en los diferentes procesos tecnológicos a los cuales son sometidos y el método de encapsulación se elige de acuerdo a la aplicación requerida, el tamaño de cápsula requerido, el material a encapsular, el costo y las propiedades físicas y químicas del recubrimiento.

Efecto de las condiciones de proceso de la matriz alimentaria en la estabilidad del microencapsulado

(Serpa, et al., 2015), informan que la micro-encapsulación es ampliamente utilizada por la industria alimentaria para incorporar nutrientes en una matriz alimentaria, con el propósito de beneficiar la salud de las personas que consuman estos alimentos fortificados. Además, la micro-encapsulación se utiliza principalmente para aumentar la estabilidad y la vida útil del producto que se encapsula, facilitar la manipulación del producto y controlar la entrega o liberación de materiales objetivo para varias aplicaciones industriales; en la industria alimentaria, la micro-encapsulación ha contribuido al desarrollo de alimentos funcionales que contienen ingredientes bioactivos naturales, cuyas bioactividades se controlan, protegen y conservan en micro-cápsulas, (Kyeong et al., 2017).

(Capillo, et al., 2019), en sus investigaciones en productos de panificación, los autores encontraron que, al incorporar micro-cápsulas en matrices alimentarias, con agentes encapsulantes como goma arábica y maltodextrina se generan reacciones de caramelización y de maillard en el momento del horneado originando pardeamiento. Con respecto a lo mencionado, la reacción de caramelización se debe a que las altas temperaturas (horneo) provoca oscurecimiento por el contenido de azúcares de la maltodextrina y en algunos casos, formación de grietas en la superficie dando un aspecto poco agradable para el consumidor.

En el estudio realizado por (Rubilar, et al., 2012), incorporaron micro-cápsulas en sopas en polvo, encontraron que la vida útil disminuyó de 12 meses a 8; las razones que presenta el estudio las relacionaron con la adsorción de humedad por parte de la goma arábica durante el tiempo de almacenamiento del producto. Por otra parte, (Aquilani, et al.,

2018), en ensayos sobre micro-encapsulados de omega 3 a base de maltodextrina, lecitina de soya y quitosano en productos cárnicos como hamburguesas, en el proceso de cocción observaron que en el producto final los materiales del micro-encapsulado absorbieron agua del producto, dando como resultado una deficiente textura y palatabilidad. Del mismo modo, investigaciones adelantadas por (Conto, Porto, & Joy, 2012), incorporaron micro-cápsulas de Omega 3 con maltodextrina y goma arábica al pan blanco, la concentración de micro-cápsulas de Omega 3 provocó una reducción del volumen específico del pan, debido a que la adición de estas pueden diluir el gluten, aspecto que relacionaron con la composición del material del micro-encapsulado, lo que interfirió con la retención de gases durante el proceso de cocción, así mismo provocó una disminución en la calidad de textura del pan blanco, porque presentó una mayor retención de agua en la miga del pan, obteniendo panes con presencia de manchas blancas y oscuras, probablemente, indican los autores debido al material de las micro-cápsulas ocasionando una menor aceptación de los panes.

En cuanto a investigaciones relacionadas con la producción de alimentos incorporados con micro-encapsulados de omega 3, se encontraron estudios efectuados por (Estrada, Boeneke, Bechel, Sathivel, 2011, 5764); Citado por: (Chamorro, Pacheco, & Tamayo, 2016), en este caso, los autores desarrollaron un yogur de fresa que contenía aceite de salmón micro-encapsulado con maltodextrina y goma arábica, la fortificación de este producto lácteo con micro-cápsulas no tuvo efecto significativo sobre el pH o sinéresis del yogur, no obstante, presentó ligeras diferencias en la coloración y la oxidación en comparación con el yogur control, aspectos que no presentaron diferencias relevantes, logrando tener buenos resultados. Así mismo (Reyes, M., & Vélez, J., 2015), formularon un

yogur asentado enriquecido con micro-cápsulas de omega 3, a base de goma arábica y maltodextrina, obteniendo un yogur con una buena acción de retención de agua, lo que contribuyó al efecto de malla en la red tridimensional del gel formado en el yogur, favoreciendo su funcionalidad y sus características fisicoquímicas como consistencia, viscosidad y color.

Es interesante anotar que en el estudio realizado por (Gowda et al., 2018), reportaron que los atributos sensoriales como color, apariencia, cuerpo y textura del helado fortificado con micro-encapsulados de omega-3 y el control, no difirieron significativamente durante el período de almacenamiento, sin embargo, las puntuaciones de cuerpo, textura y sensación en la boca disminuyeron gradualmente para las muestras de helado con sabor a mantequilla escocesa durante el almacenamiento, estos resultados podrían atribuirse a la formación de cristales de hielo en la superficie debido a la fluctuación de temperatura durante el almacenamiento, para lo cual, reportaron que la fortificación con micro-cápsulas de omega-3 no afectó negativamente el sabor del helado hasta los 90 días de almacenamiento, después de este periodo, observaron una disminución significativa en las puntuaciones de sabor del helado fortificado con micro-cápsulas, esto podría deberse a la generación de peróxidos durante períodos de almacenamiento superiores a 90 días.

Por su parte, (Goyal et al., 2016), prepararon un yogur indio (El *dahi*), emplearon leche entera de búfalo, la estandarizaron mediante el método cuadrado de Pearson de tal manera que contenía un total de 3% de grasa y 8,5% de sólidos no grasos, en seguida adicionaron las micro-cápsulas de aceite de linaza, posteriormente pasteurizaron a 80°C durante 5 min y luego enfriaron a 45°C; el cultivo iniciador lo inocularon a razón de 2 g / 100 ml de leche para cada lote y empacaron en vasos de plástico esterilizados con UV de

100 ml, la incubación la llevaron a cabo a $45 \pm 1^\circ\text{C}$ durante aproximadamente 5-6 h, finalmente llevaron el yogur *dahi* a almacenamiento a una temperatura de 4 a 7°C . En este experimento, las micro-cápsulas de aceite de linaza en lo relacionado a la textura, no tuvieron diferencias significativas entre el control y el yogur *dahi* con incorporación de micro-cápsulas, estos resultados podrían atribuirse a que las propiedades gelificantes de las proteínas del suero son más bajas en comparación con las caseínas.

También (Goyal et al., 2016), no observaron diferencias significativas entre las puntuaciones de sabor del control y el yogur *dahi* fortificado al 1 y 2%, sin embargo, las muestras del yogur *dahi* que fortificaron al 3% mostraron puntuaciones de sabor significativamente más baja en cuanto a aceptabilidad en comparación con el control; las puntuaciones de sabor más bajas en yogur *dahi* fortificado al 3% podría deberse a la presencia de una mayor cantidad de aceite de linaza en el producto y la menor aceptabilidad en términos de sabor también puede estar asociada con la liberación de una cantidad ligeramente mayor de aceite de linaza encapsulado durante el proceso de pasteurización o fermentación. En general, se deduce que el yogur *dahi* fortificado al 1 y al 2% reportaron un perfil sensorial similar al del control. Por lo tanto, las micro-cápsulas de aceite de linaza incorporadas en yogur *dahi* presentan una buena estabilidad y aceptación del producto final porque el yogur *dahi* fortificado no presentó cambios en sus características sensorial.

Micro-cápsulas elaboradas por (Teresinha R., 2017), empleó alginato de sodio al 2% para micro-encapsular aceite de chía y linaza, el cual fueron incorporadas en hamburguesas que sustituyó el 50% del tocino por aceite micro-encapsulado; el estudio mostró que el proceso no debe superar la temperatura de 72°C durante 20 minutos, porque a temperaturas superiores las micro-cápsulas se explotan, por otra parte evaluando el pH de la hamburguesa que contenía el micro-encapsulado se obtuvo que se mantiene estable en pH

que están por debajo de 7,5 lo que indica que el material de pared se disuelve solo en pH alcalinos. El estudio concluyó que el alginato de sodio es un excelente material de pared para micro-encapsular e incorporar en la formulación de productos cárnicos cuando el proceso indica que los rangos de pH sean inferiores a 7,5, porque hay estabilidad del material de pared.

Con respecto a la sustitución del tocino con aceite micro-encapsulado, (Teresinha R., 2017), obtuvo resultados no favorables, debido a que, las hamburguesas cocidas reformuladas mostraron cambios fisicoquímicos al presentar una reducción en el contenido de humedad, esto se atribuyó a una mayor pérdida de agua durante la cocción debido a la sustitución del tocino por carne magra, lo que generó una disminución de la retención de humedad, a la vez, disminuyó el tamaño de las hamburguesas; más, sin embargo, las micro-cápsulas no afectaron en la elasticidad y masticabilidad, por ello, las hamburguesas fueron más cohesivas debido a un mayor contenido de proteína disponible lo que permitió formar una red de proteínas aumentando la cohesión, por tanto, la reformulación de hamburguesas incorporadas con micro-cápsulas de aceite de chía y de linaza fue eficiente para obtener hamburguesas incorporadas con aceite de chía y linaza desde el punto de vista de elasticidad y masticabilidad.

En otros estudios relacionados con productos cárnicos, como los trabajados por (Solomando J., & Pérez T., 2020), elaboraron salchichas incorporando micro-cápsulas elaboradas con materiales de pared el quitosano, maltodextrina y lecitina de soya, en la formulación de las salchichas, las micro-cápsulas se incorporaron en la etapa de amasado, las salchichas se pasteurizaron en un baño de agua a 85°C durante 30min, empacaron al vacío y almacenaron a temperatura de refrigeración (0–5°C) durante 4 meses; los lotes enriquecidos con multicapa (Mu) mostraron mayores cantidades de ácido

docosahexaenoico (DHA), esto podría explicarse por la capa adicional de quitosano en la pared del lote con multicapa (Mu) del micro-encapsulado que evita contactos y reactividad con agua, oxígeno, hierro y otros promotores oxidantes durante el proceso de cocción y almacenamiento, minimizando la oxidación del ácido graso poliinsaturado (PUFA) n-3 encapsulados, las salchichas no se vieron afectadas por la adición de micro-cápsulas de aceite de pescado.

A su vez, (Dominguez et al., 2017), formuló salchichas tipo Frankfurt; utilizando carne de cerdo fresca, fabricaron tres lotes diferentes: el primer lote de control (CO), lo prepararon con grasa de cerdo pre-emulsionada; el segundo lote lo enriquecieron con aceite de pescado micro-encapsulado (ME), en este lote, el 50% de la grasa dorsal de cerdo lo sustituyeron con aceite de pescado micro-encapsulado; y un tercer lote lo enriquecieron con una mezcla de aceite de oliva y pescado (MO), el 50% de la grasa dorsal del cerdo lo sustituyeron por una mezcla de aceite de oliva y pescado extra virgen (en proporción 1: 1), la temperatura final de la masa la mantuvieron por debajo de 8°C durante toda la preparación; después de la emulsificación, la masa de carne la embutieron en tripas de colágeno de 25 mm. A continuación, las salchichas crudas las cocinaron a 90°C durante 20 min.

Al realizar el análisis de resultados al producto final, (Dominguez et al., 2017), encontraron que el lote con aceite de pescado micro-encapsulado (ME) presentó los valores de pH más bajos; este hecho podría estar relacionado con el bajo valor de pH (4,98) que presentaba el micro-encapsulado, el lote que formularon con aceite de pescado micro-encapsulado (ME) los valores de amarillez fueron más altos en comparación con los otros dos lotes, este hecho podría estar relacionado con el color amarillo del aceite de pescado, y el contenido de grasa fue del 14,41%, este comportamiento puede deberse a que el aceite de

pescado micro-encapsulado contenía solo un 35% de aceite de pescado, además pudo estar relacionado con la carne magra que emplearon en la formulación de salchichas con micro-encapsulado (ME), lo que disminuiría la cantidad de grasa en el producto final.

El reemplazo parcial de la grasa dorsal de cerdo en las salchichas, provocó un aumento significativo ($P < 0,001$) en los terpenos totales, estas diferencias se relacionaron con el hecho de que las salchichas modificadas tenían mayores cantidades de p-xileno, β -mirceno, α -terpineno y limoneno que el lote de control; estos resultados confirmaron que los embutidos formulados con aceite de pescado micro-encapsulado presentaron una mayor oxidación lipídica que los embutidos control, este hecho podría estar relacionado con el proceso de micro-encapsulación y con las condiciones de almacenamiento del polvo micro-encapsulado, (Dominguez et al., 2017).

Los estudios en cuanto a la fortificación de alimentos con micro-encapsulados muestran que puede presentar inconvenientes, los cuales, se relacionan con la elección del alimento que se va a fortificar, también, con la naturaleza del fortificante que se va a incorporar al alimento porque, en general aquellos compuestos que tienen una adecuada biodisponibilidad presentan cambios en las características sensoriales de los alimentos fortificados con micro-cápsulas, convirtiéndolos en poco aceptables para su consumo.

La fortificación de alimentos tiene que pasar por todas las etapas de un determinado proceso tecnológico que implican tratamiento del alimento a diferentes temperaturas, cambios en variables de control como acidez, pH, °Brix que pueden ocasionar inconvenientes para fortificar el alimento dando como resultado cambios en el sabor, olor, textura, y valor nutricional restando calidad y aceptación del producto final, siendo este uno de los grandes problemas que se enfrenta la industria alimentaria al producir alimentos

fortificados con micro-cápsulas, por tanto, es necesario tener en cuenta el comportamiento de los agentes encapsulantes en aspectos como temperatura a la cual se adiciona la micro-cápsula al alimento porque puede haber desestabilización del material encapsulante; también es importante considerar el tipo de material de pared, de manera que sea inerte y resistente al trabajo mecánico que puede darse durante la incorporación al alimento o matriz alimentaria.

En la revisión bibliográfica que se hizo, no se encontraron estudios que hayan incorporado micro-encapsulados en alimentos como: vegetales frescos, semi-procesados y procesados, mermeladas, conservas, néctares y jugos; si no que se encontraron estudios en alimentos como en algunas líneas de procesados cárnicos, lácteos y panificación.

Los estudios indican que la maltodextrina y goma arábica empleados como material de pared, en la micro-encapsulación de nutrientes, se las puede utilizar para fortificar matrices lácteas como el yogur, debido a que estos materiales no alteran las características sensoriales del producto, lo que se puede convertir en un alimento funcional con muy buenas expectativas en cuanto a aceptabilidad por los consumidores.

Las pruebas se deben enfocar y aterrizar en la fortificación de quesos, con micro-cápsulas a base de maltodextrina y goma arábica, para determinar los efectos que pueden ocasionar estos materiales en las características fisicoquímicas de los quesos. Las investigaciones indicaron que utilizar maltodextrina y goma arábica en la fortificación de productos cárnicos y de panadería no soportan altas temperaturas, generan reacción de maillard en el horneado dando mal aspecto al producto de panificación. En los productos cárnicos la goma arábica, en altas temperaturas se diluye lo que ocasiona gelificación del

producto, alterando las características sensoriales y físicas, debido a que el aceite es liberado en el producto. Para la fortificación de productos cárnicos y de panificación es aconsejable utilizar combinaciones entre los diferentes materiales de pared como: maltodextrina, lecitina de soya y quitosano; maltodextrina y proteína de suero y únicamente alginato porque estos materiales soportan altas temperaturas de proceso.

Conclusiones

A partir de la revisión bibliográfica que se hizo sobre el material de estudio, se concluye que:

Los materiales de pared deben tener la capacidad de proporcionar una emulsión estable durante el proceso de secado y tener muy buenas propiedades de formación de película para proveer una capa que proteja al ingrediente activo (omega 3) de la oxidación o deterioro al estar expuestas a altas o bajas temperaturas, con el fin de que no se produzcan olores y sabores desagradables en la fortificación de matrices alimentarias

La maltodextrina y la goma arábica, al ser utilizados como material de pared en la micro-encapsulación, son materiales altamente susceptibles a altas temperaturas (50°C o 60°C) que son sometidos las matrices alimentarias a fortificar, lo que pueden desestabilizar el material encapsulante descomponiéndose en sus componentes estructurales, dando como resultado productos poco aceptables.

La maltodextrina por ser un almidón modificado ocasiona un incremento en el contenido de carbohidratos, por ello al ser utilizada como material de pared en la micro-encapsulación, las matrices alimentarias fortificadas con éstas micro-cápsulas, presentan alteración en el contenido de carbohidratos, dando diferencias significativas en las características sensoriales del producto.

La proteína de suero puede ser un buen material de pared a utilizar en la micro-encapsulación de nutrientes para la formulación de helados fortificados, siempre y cuando en la pauta de elaboración las micro-cápsulas sean incorporadas después de la homogenización con el fin de que no sufran alteraciones en el tamaño de las partículas de las micro-cápsulas.

El alginato es el material de pared que se comporta bien en la micro-encapsulación dado que la eficiencia es del 86% para encapsular la mayor cantidad de aceite, a la vez resiste los procesos mecánicos que es sometida una matriz alimentaria, principalmente en la fortificación de productos cárnicos (hamburguesas).

La técnica más utilizada para la micro-encapsulación de nutrientes es el secado por pulverización por ser la alternativa más económica para producir micro-cápsulas a emplear en la fortificación de matrices alimentarias. A la vez, esta técnica permite obtener polvos de buena calidad con baja actividad de agua, de fácil manejo, almacenamiento y protege al material encapsulado de reacciones indeseables.

La micro-encapsulación por el método de pulverización y utilizando como material de pared la proteína de suero, se puede obtener micro-cápsulas que permiten la fortificación de productos de panificación (galletas), dado que la vida útil del producto aumenta durante el almacenamiento a largo plazo, además, brinda protección oxidativa al alfa-linolénico (ALA) durante el horneado.

El método de atomización una de sus ventajas es que permite obtener micro-cápsulas de tamaño pequeño lo que favorece en la fortificación de matrices alimentarias porque el producto fortificado va a presentar menos posibilidades de alterar sus características sensoriales.

Para obtener una buena eficiencia en el encapsulamiento (49,84%), es indispensable ajustar la temperatura de entrada del aire a 200°C y de salida a 95°C, con lo cual se estaría obteniendo micro-cápsulas aptas para fortificar matrices alimentarias.

Micro-encapsulados de omega 3 utilizando combinaciones de material de pared maltodextrina, lecitina de soya y quitosano para la fortificación de productos cárnicos como hamburguesas, en el proceso de cocción los materiales del microencapsulado absorbieron

agua del producto, dando como resultado una, deficiente textura y palatabilidad. Por tanto, estas combinaciones de materiales de pared no son propicios en la micro-encapsulación dado que alteran las características sensoriales del producto final.

Las combinaciones de material de pared que contengan maltodextrina y goma arábica, no son adecuadas para micro-encapsular si se desea utilizarlos en productos de panificación debido a que éstas micro-cápsulas presentan una mayor retención de agua en la miga del pan, no soportan altas temperaturas, generan reacción de maillard en el horneado dando mal aspecto y limita la aceptación del producto final.

En la fortificación de matrices lácteas como el yogur, se puede utilizar como material de pared en la micro-encapsulación de nutrientes, combinación de maltodextrina y goma arábica porque los resultados de las investigaciones mostraron que éstas micro-cápsulas no ocasionan efectos significativos en el yogur, logrando tener una buena acción de retención de agua, consistencia, viscosidad y color.

Referencias Bibliográficas

- Aquilani , C., Perez , Sirtori, Jiménez , & Pugliese . (2018). *Enrichment of Cinta Senese burgers with omega-3 fatty acids. Effect of type of addition and storage conditions on quality characteristics*. Italia: Department of Agrifood Production and Environmental Sciences, School of Agriculture, University of Florence, Italy. Recuperado el 4 de Septiembre de 2020, de <http://grasasyaceites.revistas.csic.es/index.php/grasasyaceites/article/view/1702/2225>
- Arias L., D., Montañó D., L.N., Velasco S., M.A. y Martínez G., J. (2018). Alimentos funcionales: avances de aplicación en agroindustria. *Revista Tecnura*, 22(57), (pp. 55 – 68). Recuperado el 20 de Noviembre de 2019, de <https://doi.org/10.14483/22487638.12178>
- Arteaga A., & Arteaga H. (2016). *Optimización de la capacidad antioxidante, contenido de antocianinas y capacidad de rehidratación en polvo de arándano (Vaccinium corymbosum) microencapsulado con mezclas de hidrocoloides*. (U. N. Trujillo, Ed.) Trujillo - Perú: Scientia Agropecuaria 7 (3): 191 – 200. Recuperado el 12 de Agosto de 2020, de <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v7nspe/a05v7nspe.pdf>
- Bakry, A., Abbas, S., & Liang, L. (2015). Micro-encapsulación *de aceites: una revisión completa de beneficios, técnicas y aplicaciones* (Vol. Volumen 15). Revisiones integrales en ciencia alimentaria y seguridad alimentaria. Recuperado el 7 de Septiembre de 2020, de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1541-4337.12179>

- Bastida , M., & Dr. Pérez , C. (2019). Micro-encapsulación de Aceite Esencial de Naranja Empleando Mezclas de Polisacárido-Proteína como Agentes Encapsulantes. *Universidad Autónoma del Estado de México*, (pp: 27 - 30). Recuperado el 17 de Septiembre de 2020, de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/104754/Tesis%20Miguel%20Angel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Boccio, J., & Bressan, J. (2004). Fortificación de alimentos con hierro y zinc: pros y contras desde un punto de vista alimenticio y nutricional. *Revista de Nutrição*, vol.17 no.1. Recuperado el 5 de Marzo de 2020, de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-52732004000100008
- Bonilla , A. (2018). Optimización del proceso de micro-encapsulación de B-caroteno basado en el método de coacervación compleja. *Universidad Técnica Federico Santa María*, (pp: 10 - 35). Recuperado el 17 de Septiembre de 2020, de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/42718/3560900255050UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Capillo, N., Navarro, K, & Santisteban, O. (2019). Efecto de la adición del extracto hidroetanólico de semilla de ungurahui (*Oenocarpus bataua* Mart.) en forma libre y microencapsulado sobre la calidad de la galleta. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Química e Ingeniería Química*, (pp: 126 - 129). Recuperado el 29 de febrero de 2020, de file:///C:/Users/suario/Downloads/Capillo_hn%20(1).pdf

Carneiro , H., Tonon, R., Grosso, C., & Hubienger , M. (2013). *Eficiencia de encapsulación y estabilidad oxidativa del aceite de linaza microencapsulado por secado por atomización utilizando diferentes combinaciones de materiales de pared* (Vols. Volumen 115, Número 4). Recuperado el 7 de Septiembre de 2020, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877412001756>

Carrizo S., Moreno A., Guy J., Rollán G., (2020). La pasta de quinua fermentada con bacterias del ácido láctico previene las deficiencias nutricionales en ratones. *Internacional de Investigación Alimentaria*. Volumen 27. Recuperado el 9 de octubre de 2020, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996919306210>

Castrillón, P., Vargas, J., & Rendón, D. (2016). Encapsulación de DHA/EPA mediante secado por aspersión: identificación de metodologías de proceso y agentes encapsulantes compatibles. *Corporación Universitaria Lasallista. Facultad de Ingeniería. Especialización, Alimentación y Nutrición*, (pp. 28 - 30). Recuperado el 11 de Enero de 2020, de http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1767/1/Encapsulacion_de_DHAEPA.pdf

Castro Zech B., (2013). *Análisis de diseño de oportunidades a partir de derivados Nutricionales de las Microalgas en la Industria de Alimentos*. (pp. 13 - 20). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Industrial. Recuperado el 3 de Septiembre de 2019, de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/114822/Ana%cc%81lisis-y->

[diseño-de-oportunidades-de-negocios-a-partir-de-derivados-nutricionales-de-las-microalgas-en-la-industria-de-alimentos.pdf?sequence=4&isAllowed=y](#)

Chamorro, A., Pacheco, M., & Tamayo, M. (2016). Estudio científico sobre la adición de Omega-3 (DHA/EPA) para el mejoramiento cognitivo de niños menores de cinco (5) años. *Corporación Universitaria Lasallista. Especialización en alimentación y nutrición*, (pp. 74 – 80; 96 - 97). Recuperado el 10 de Enero de 2020, de http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1771/1/Estudio_cientifico_adicion_Omega3.pdf

Conto, L., Porto, R., & Joy, C. (2012). Efectos de la adición de omega-3 microencapsulado y extracto de romero en la calidad tecnológica y sensorial del pan blanco. *LWT - Ciencia y Tecnología de Alimentos, Volumen 45, Número 1* . Recuperado el 4 de Marzo de 2020, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643811002283>

Contreras , M., Dr. Pérez , C., & M. en C.Q. Alpizar , E. (Abril de 2019). Evaluación de las Propiedades Encapsulantes de Ácidos Grasos Poli-Insaturados micro-encapsulados en diferentes Matrices Proteínicas. *Universidad Autónoma del Estado de México*, (pp: 8 - 25). Recuperado el 17 de Septiembre de 2020, de <http://148.215.1.182/bitstream/handle/20.500.11799/104808/Tesis%20Miriam%20Contreras%201.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Córdova , D., & Nakamatsu , J. (2018). Formación y caracterización de partículas de quitosana y alginato para encapsulamiento de agentes antioxidantes. *Pontificia Universidad Católica del Perú*, (pp: 13 - 16). Recuperado el 15 de Septiembre de

2020, de
http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/12413/CORDOVA_MARI%c3%91O_DIEGO_PARTICULAS_QUITOSANA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Csernoch Cecilia E., Gallo Alicia D., Mazzobre María F., (2015). Optimización de micro-cápsulas de Antocianinas y Maltodextrina por Liofilizado. Universidad Tecnológica Nacional. Revista Tecnología y Ciencia. Recuperado el 20 de octubre de 2020, de <http://rtyc.utn.edu.ar/index.php/rtyc/article/view/140/132>

D.P.R. Ascheri. (1999). Estudio de las características de adsorción de agua y la estabilidad de las micro-cápsulas de aceite esencial de naranja en la selección del material de la pared. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, vol.19 n.3 . Recuperado el 2 de Marzo de 2020, de http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-20611999000300013&script=sci_arttext#back2

Domínguez, R., Pateiro, M., Agregán, R., & Lorenzo , J. (2017). *Efecto de la sustitución parcial de la grasa dorsal de cerdo por aceite de pescado microencapsulado o una mezcla de pescado y aceite de oliva sobre la calidad de las salchichas tipo salchicha*. Springer. Recuperado el 8 de Septiembre de 2020, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5305698/>

Dr Aranceta J. y Prof. Serra L.; (S.F.). *Guía de alimentos funcionales*. (pp. 6). Instituto Omega 3. Puleva Food y SENC. Recuperado el 6 de Septiembre de 2019, de http://www.fesnad.org/resources/files/Publicaciones/guia_alimentos_funcionales.pdf

- Farhana, N., Hanani , N., Ariff , A., & Wasoh , H. (2019). Micro-encapsulación de *Lactococcus lactis Gh1* con goma arábiga y *Synsepalum dulcificum* mediante secado por atomización para su posible inclusión en yogur funcional. *Moleculus*. Recuperado el 3 de Septiembre de 2020, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6480275/>
- Firtin , B., & Yesilcubuk , N. (2020). Encapsulation of chia seed oil with curcumin and investigation of release behaviour & antioxidant properties of microcapsules during in vitro digestion studies. *LWT, Vol. 134*. Recuperado el 14 de Septiembre de 2020, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643820309361>
- Gowda, A., Sharma , V., & Arora , S. (2018). *Optimización del proceso y estabilidad oxidativa del helado omega-3 enriquecido con micro-cápsulas de aceite de linaza*. Springer. Recuperado el 6 de Septiembre de 2020, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5897289/>
- Goyal , A., Sharma , V., & Sabikhi , L. (2016). *Fortificación de dahi (yogur indio) con ácidos grasos omega-3 utilizando micro-cápsulas de aceite de linaza microencapsulado*. Springer. Recuperado el Septiembre de 5 de 2020, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4921094/>
- Ing. Alim. Páez , R., Dra. Zaritzky , N., & Dr. Reinheimer , J. (2013). Desarrollo de cultivos probióticos deshidratados por secado spray para aplicación en alimentos. Estudios microbiológicos y tecnológicos. *Universidad Nacional de la Plata*. Recuperado el 21 de Septiembre de 2020, de https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/5711/INTA_CRSanta

Fe EEARafaela Paez RB Desarrollo de cultivos probióticos deshidratados.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ing. Solís, M., & Ing. López, O. (2018). Extracción y micro-encapsulación de aceite de linaza (*linum usitatissimum*). *Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencias e Ingeniería de Alimentos*, (pp. 10 - 19). Recuperado el 11 de Enero de 2020, de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28251/1/05%20T.AL.pdf>

Kwak, Chimed, C., & Chang, Y. (2016). *Propiedades fisicoquímicas y sensoriales del queso Appenzeller suplementado con micro-cápsulas en polvo de extracto de tomate durante la maduración*. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*. Recuperado el 30 de Agosto de 2020, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4869552/>

Kyeong, Y., Soo, M., & Churl, H. (2017). *Characteristics of Gouda Cheese Supplemented with Chili Pepper Extract Microcapsules*. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*. Recuperado el 3 de Septiembre de 2020, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5932942/>

Lagares, M., & Dra. Uliana, A. (2016). Leche fortificada con hierro. Un alimento de calidad diferenciada. *Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba*, (pp.16). Recuperado el 10 de Enero de 2020, de <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/2833/Lagares%20M.%20D.%20Leche%20fortificada%20con%20hierro%20microencapsulado...%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Lic. Mg. Zapataa M., Bioq. Rovirosaa A. y Méd. Carmuega E., (2020). Hierro y ácido fólico: natural, enriquecido, fortificado y suplementos. Análisis de las fuentes alimentarias en la Ciudad de Buenos Aires en la Ciudad de Buenos Aires. Arch Argent Pediatr. Recuperado el 9 de octubre de 2020, de https://sap.org.ar/uploads/archivos/general/files_ao_zapata_4-5pdf_1588613801.pdf
- López, O. (2010). Micro-encapsulación de sustancias oleosas mediante secado por aspersión. *Rev Cubana Farm v.44 n.3*. Recuperado el 8 de Enero de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75152010000300013
- Luengo, E. (2007). *Alimentos funcionales y nutraceuticos*. España. Recuperado el 15 de noviembre de 2019, de <https://secardiologia.es/images/publicaciones/libros/2007-sec-monografia-nutraceuticos.pdf>
- Marques, T., Smanioto, J., Moraes, E., & Fagagnin, C. (2019). Development, characterization and viability study of probiotic microcapsules produced by complex coacervation followed by freeze-drying. *Ciencia Rural, vol.49* (no.7). Recuperado el 5 de Septiembre de 2020
- Mena, J., & PhD. Bonilla, P. (2019). Evaluación de estabilidad fisicoquímica y organoléptica de micro-partículas de sulfato ferroso en diferentes clases de alimentos. *Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Químicas. Carrera de Química de Alimentos*, (pp: 6 - 24). Recuperado el 1 de Marzo de 2020, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/18550/1/T-UCE-0008-CQU-118.pdf>

- Moghadam , F., Pourahmad , R., & Azizinezhad , R. (2019). *Use of Fish Oil Nanoencapsulated with Gum Arabic Carrier in Low Fat Probiotic Fermented Milk*. Food Science of Animal Resources . Recuperado el 7 de Septiembre de 2020, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6533394/>
- Reyes, M., & Vélez, J. (2015). *Propiedades Fisicoquímicas y de flujo de un Yogur Asentado enriquecido con micro-cápsulas que contienen Ácidos grasos Omega 3* (Vol. Inf. tecnol. vol.26 no.5). La Serena. Recuperado el 3 de Noviembre de 2019, de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642015000500012
- Rubiano Karla, (2015). Efecto de la adición de agentes de tensión activa en la micro-encapsulación de d-limoneno mediante técnicas de secado por aspersión. Universidad Nacional de Colombia. Facultad Ciencia Agrarias. Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Medellín, Colombia. Recuperado el 18 de octubre de 2020, de <http://bdigital.unal.edu.co/48684/1/1017192145.2015.pdf>
- Rubilar, M, Morales, E., & Shene, C. (2012). Development of a soup powder enriched with microencapsulated linseed oil as a source of omega-3 fatty acids. *European Journal of Lipid Science and Technology, Volume 114, Issue 4*. Recuperado el 1 de Marzo de 2020, de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ejlt.201100378>
- Serpa, A., Vélez, L., & Zuluaga, R. (2015). *Compuestos de hierro para la fortificación de alimentos: El desarrollo de una estrategia nutricional indispensable para países en vía de desarrollo. – Una revisión*. Medellin - Antioquia: Universidad Pontifica

Bolivariana. Recuperado el 30 de Agosto de 2020, de <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v65n4/v65n4a04.pdf>

Silva E., Rebaza R., Tumbajulca M., Vargas Y., Gutierrez A., Valera F. y Arteaga H., (2018). Desarrollo de snack de queso incorporado con micro-cápsulas de oleoresina de rocoto (*Capsicum pubescens*) en deshidratación osmótica. Universidad Nacional de Trujillo. Escuela de Ingeniería Agroindustrial. *Agroind. sci.* 8(1): 49-56. Recuperado el 18 de octubre de 2020, de <file:///C:/Users/MIRIAM%20CORDOBA/Downloads/1963-5770-1-PB.pdf> ó

<https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/view/1963/1889>

Silveira, F., Barin, J., & et, al. (2019). *Improvement of the viability of probiotics (Lactobacillus acidophilus) by multilayer encapsulation* (Vol. Vol. 49 No 49). (C. Rural, Ed.) Santa María: Scielo. Recuperado el 1 de Septiembre de 2020, de https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782019000900751&lang=es

Solomando Juan Carlos, Antequera Teresa, Pérez Palacios Trinidad, (2020). Lipid digestion products in meat derivatives enriched with fish oil microcapsules. *Journal of Functional Foods*, Volume 68, Recuperado el 1 de noviembre de 2020, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464620301407>

Teresinha Rosene, (2017). Aplicação de Óleo Microencapsulado de Chia de Linhaça em Hambúrgueres promovendo a Melhoria do perfil lipídico. Santa Maria, RS. Universidad Federal de Santa María. Centro de Ciencias Rurais. Programa de Pós-graduação em ciencia e tecnologia dos alimentos. Recuperado el 28 de octubre de

2020, de
<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/11788/Heck%2c%20Rosane%20Tereinha.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Tomazelli, Kuhn, & Lamo, (2017). Microencapsulation of essential thyme oil by spray drying and its antimicrobial evaluation against *Vibrio alginolyticus* and *Vibrio parahaemolyticus*. *Brazilian Journal of Biology* . Print version ISSN 1519-6984 Online version ISSN 1678-4375, Vol. 78(No. 2). Recuperado el 30 de agosto de 2020, de https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-

Umesha S., Sai Manohar R., Indiramma A., Akshitha S., Akhilender Naidu K., (2015). Enrichment of biscuits with microencapsulated omega-3 fatty acid (Alpha-linolenic acid) rich Garden cress (*Lepidium sativum*) seed oil: Physical, sensory and storage quality characteristics of biscuits. *LWT - Food Science and Technology*. (pp: 654-661), Volume 62, Issue 1, Part 2. Recuperado el 1 de noviembre de 2020, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643814000942>

Uscanga L., Orozco I., Vázquez R., Aceves G., Albrecht R., & Velázquez M., (2019). Technical position on milk and its derivatives in adult health and disease from the Asociación Mexicana de Gastroenterología and the Asociación Mexicana de Gerontología y Geriatria. *Revista de Gastroenterología de México (English Edition)*, Volume 84, Issue, Pages 357-371. Recuperado el 9 de octubre de 2020, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037509061930062X>

Vallejo , P., & Dra. Cabrera , E. (2019). Micro-encapsulación *del micronutriente hierro mediante secado por atomización para su uso en alimento fortificado*. (F. D.

QUÍMICA, Ed.) Quito: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR. Recuperado el 4 de Agosto de 2020, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/20093/1/T-UCE-0017-IQU-069.pdf>

Villaquirán , Z., Burbano , P., & Bucheli , M. (2018). Diseño de un alimento infantil listo para consumir fortificado con hierro a base de arveja (*Pisum sativum*). *Universidad y Salud*, Vol. 2(No. 1). Recuperado el 21 de Septiembre de 2020, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-71072018000100004&lang=es

Yun Wang, Joelle K. Salazar. (2015). Métodos de detección rápida independientes del cultivo para patógenos bacterianos y toxinas en matrices alimentarias. Revisiones integrales en ciencia de los alimentos y seguridad alimentaria, Volumen 15, Número 1. Recuperado el 4 de mayo de 2021, de: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1541-4337.12175>