



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE
MÉXICO**

FACULTAD DE QUIMICA



**ENCAPSULACIÓN DE SABORIZANTES UTILIZADOS EN
LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS**

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
QUÍMICO EN ALIMENTOS

PRESENTA:

RODRIGO ENTOTE SOTERO

DIRECTORA ACADÉMICA

DRA. ANDREA YAZMIN GUADARRAMA LEZAMA

TOLUCA, MÉXICO

JULIO, 2023

AGRADECIMIENTOS

Proyecto 6736/2022CIB_Evaluación de la bioaccesibilidad de lactobacilos encapsulados por gelación iónica y secado por aspersión, durante la simulación in vitro de la digestión.

INDICE GENERAL

1.0	INTRODUCCIÓN	
2.0	ANTECEDENTES	
3.0	OBJETIVOS	
3.1	Objetivo general	
3.2	Objetivos específicos	
4.0	HIPÓTESIS	
5.0	JUSTIFICACIÓN	
6.0	MARCO TEÓRICO.....	1
6.1	Encapsulación.....	1
6.1.1	Definición de encapsulación	1
6.1.2	Morfología de las microcápsulas.....	2
6.1.3	Encapsulación de compuestos bio-activos.....	3
6.2	Métodos de encapsulación	5
6.2.1	Secado por aspersion.....	8
6.2.2	Liofilización.....	12
6.2.3	Coacervación.....	12
6.2.4	Gelación iónica.....	13
6.2.5	Congelación y enfriamiento por aspersion.....	14
6.2.6	Extrusión.....	14
6.3	Materiales utilizados como encapsulantes.....	15
6.4	Características fisicoquímicas de las microcápsulas.....	19
6.5	Encapsulación en la industria de alimentos.....	20
6.5.1	Importancia de la encapsulación de saborizantes en la industria de alimentos.....	21
6.5.2	Ventajas de la encapsulación en la industria de alimentos.....	21
6.5.3	Desafíos en la industria alimentaria en la encapsulación de alimentos y/o ingredientes.....	22
6.6	Mercado de la encapsulación.....	23

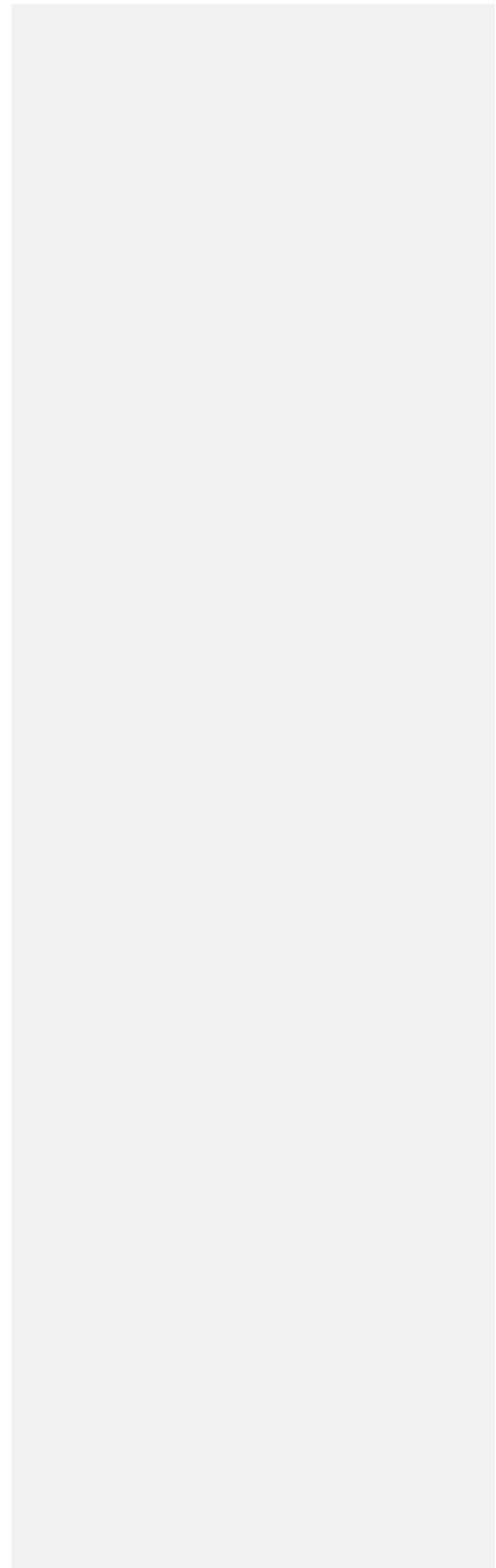
6.6.1 Mercado mundial de encapsulación de ingredientes para adicionar a alimentos por aplicaciones e ingresos.....	23
6.7 Encapsulación de saborizantes	24
6.7.1 Función tecnológica de los saborizantes	24
6.7.2 Características de los saborizantes	26
6.7.3 Producción y demanda de saborizantes para la industria de alimentos	26
6.7.4 Procesos de obtención de saborizantes encapsulados solidos.....	27
6.7.5 Métodos que más se usan para encapsular saborizantes alimentarios	28
7.0 CONCLUSIONES	
8.0 REFERENCIAS	

INDICE DE TABLAS

Tabla	Pag.
1. Microencapsulación de diversos principios activos.....	7
2. Métodos de encapsulación de saborizantes usados en la industria.....	21
3. Métodos más utilizados en la industria de alimentos para encapsular sabores.....	29

INDICE DE FIGURAS

Figura	Pag.
1. Representación de los sistemas de encapsulación: a) tipo depósito, b) tipo matriz, c) tipo matriz recubierta.....	1
2. Tecnología de la encapsulación: rango de tamaño por cada técnica.....	2
3. Tipos de Morfología de microcápsulas.....	3



RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue realizar una revisión bibliográfica sobre las diferentes tecnologías más empleadas en la industria de alimentos para la obtención de saborizantes encapsulados, mostrando la importancia de su uso en la conservación de sus propiedades fisicoquímicas y biológicas para su consumo.

Se hace una breve descripción de los pasos previos a la obtención de saborizantes encapsulados de cada método de obtención, tales como, la formación de emulsiones, los distintos materiales que se utilizan como cubierta o agente encapsulante, y los equipos que se utilizan en cada uno de los procesos, realizando una evaluación de costos de producción y calidad basado en las características fisicoquímicas de las capsulas obtenidas, finalmente se llega a la conclusión que la industria de alimentos utiliza en mayor porcentaje el método de secado por aspersion para producir saborizantes microencapsulados, siempre y cuando se realice con una adecuada selección de las condiciones de operación del equipo (secador), se obtendrá un producto de alta calidad a un costo relativamente bajo.

1.0 INTRODUCCIÓN

La industria alimentaria está en una búsqueda constante de ingredientes y procesos que permitan el mejoramiento y desarrollo de nuevos productos. En la actualidad, uno de los métodos que más se utiliza es la microencapsulación asistida por la técnica de secado por aspersion para conservar las propiedades fisicoquímicas de algunos ingredientes. Se sabe que algunos alimentos y/o ingredientes pierden su actividad biológica por oxidación, cuando se exponen a condiciones ambientales. Debido a esta situación surge la necesidad de aplicar técnicas como lo es la microencapsulación que impiden su degradación o reduce los efectos del envejecimiento de las células en el procesamiento de los alimentos, evitando así la pérdida de sus propiedades funcionales para su aplicación en productos de consumo obteniendo mejores características sensoriales y nutricionales. Esta técnica se ha utilizado para la liberación sostenida o controlada de ciertas sustancias biológicamente activas (sabores, vitaminas o aceites esenciales) y entre otros tipos de sustancias, son introducidas en una matriz o pared encapsulante en donde tienen la ventaja de liberarse gradualmente.

El aroma y sabor (flavor) es un factor determinante en la aceptación de un alimento que impacta directamente en su calidad y aceptación del consumidor, por lo que la industria alimentaria se ha desarrollado para la producción de saborizantes a gran escala. En la actualidad existe una industria especializada que tiene diversos materiales para su producción tales como: los provenientes de plantas y animales, productos fermentados o biotecnológicos y compuestos obtenidos por síntesis química.

En la manufactura de alimentos hay veces que se necesita de saborizantes encapsulados por su uso en forma sólida y que requiere de una mayor vida de anaquel, es por eso que últimamente la industria de alimentos ha realizado en mayor porcentaje la técnica de secado por aspersion debido a que se aplica a sustancias que son sensibles al calor, y así mismo reduce la probabilidad de pigmentar, oxidar y que exista degradación o perdida de aroma y sabor.

2.0 ANTECEDENTES

Actualmente en México y a nivel internacional existe una gran tendencia por el consumo de alimentos naturales y funcionales, por lo que la industria alimentaria ha utilizado de tecnologías como la microencapsulación de ingredientes o materias primas que ha permitido reducir el porcentaje de pérdidas debido al beneficio de aumentar la vida de anaquel en productos alimentarios y minimizar la pérdida de las propiedades funcionales de algunos extractos de frutas y plantas para la elaboración de saborizantes. Al presente trabajo se detallan algunas investigaciones sobre la línea de microencapsulación en el ámbito nacional e internacional.

García (2004) micro encapsuló el jugo de cebada verde mediante secado por aspersión donde al jugo de cebada se le adicionó maltodextrina como agente encapsulante. Las condiciones de operación fueron, temperatura del aire de entrada a 120, 140 y 160°C; a una concentración de maltodextrina de 1,3 y 5%, la velocidad de alimentación fueron 9, 11, y 13 ml/min. Teniendo como resultado diferencias estadísticas entre tratamientos con respecto a las propiedades de rehidratación, contenido de humedad y temperatura, siendo estos los parámetros que más influyeron en el polvo.

Un "Estudio comparativo de tres sistemas de secado para la producción de un polvo deshidratado de fruta" realizado por Ceballos (2008) tuvo como propósito conocer la influencia de algunas de las variables de operación del secado por liofilización, aspersión y vacío sobre propiedades que sirven para identificar la calidad de un polvo deshidratado de fruta, como son la humedad, la solubilidad, la humectabilidad, el color y el contenido de vitamina C. Así mismo poder comparar los tres sistemas de secado desde el punto de vista de la calidad de los productos, propiedades termodinámicas y costos de operación y rentabilidad de las inversiones. La materia prima que utilizó para la experimentación fue la guanábana donde los polvos de guanábana obtenidos por liofilización, aspersión y vacío en general presentaron características de sabor y aroma propias de la guanábana. Los polvos secados por aspersión tuvieron partículas muy finas a

diferencia de los otros dos, factor que influyó grandemente en las propiedades estudiadas.

El secado por atomización es la técnica comercial más antigua para producir aromas encapsulados. El descubrimiento que sucedió accidentalmente en 1937 de que la acetona, adicionada al puré de tomate para ayudar a mantener el color y aroma del producto deshidratado, no se evaporaba en el proceso de secado por atomización, inició su introducción en la industria de los saborizantes [Reineccius, 2006].

3.0 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Analizar cuáles son los saborizantes encapsulados que se usan en la industria de alimentos.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar una búsqueda bibliográfica de los métodos de encapsulación de saborizantes
- Documentar cuales son los saborizantes encapsulados que se aplican en la industria de alimentos.

4.0 HIPOTESIS

La industria de alimentos utiliza en mayor porcentaje el método de secado por aspersión para encapsular diferentes saborizantes que son suministrados como ingredientes o materia prima a los diferentes sectores de la industria alimentaria.

5.0 JUSTIFICACION

En la actualidad la técnica de encapsulación o microencapsulación en la industria de alimentos es utilizada para solucionar el manejo, almacenamiento y utilización de sustancias aromáticas las cuales son inestables por su volatilidad y la interacción con el ambiente. Sin embargo se dificulta el manejo y uso de dichas técnicas y el uso de materiales convenientes debido a que los diferentes estados de los saborizantes algunos presentan alta volatilidad, son hidrofóbicos, lábiles y susceptibles a degradarse ante la presencia de factores ambientales (luz, temperatura, humedad y oxígeno). El secado por aspersión es quizá la técnica más antigua de encapsulación utilizada para la preparación de aditivos, en particular saborizantes, por lo que es necesario saber si es conveniente para la industria enfocarse en dicho método debido al control de las características del producto, como son tamaño de partícula, densidad a granel y contenido de agua, aunque puedan presentar algunas limitaciones en este método cuando la materia prima presenta una alta viscosidad, cuando se desea una alta densidad a granel y cuando los productos son altamente sensibles al calor, como los antibióticos, caldos de fermentación y aceites esenciales. Partiendo de esto el presente trabajo pretende revisar cuales son los saborizantes y técnicas más utilizadas en la industria de alimentos ya que es de suma importancia evaluar los beneficios que éstos aportan para evitar el deterioro de los saborizantes, esto en base a la relación que guarda el agente encapsulante con el material encapsulado, ya que la estabilidad de las microcápsulas dependerá del tipo, y cantidad empleada de algunos materiales de encapsulamiento.

6.0

MARCO TEÓRICO

6.1

Encapsulación

6.1.1 Definición de encapsulación

Es un proceso fisicoquímico o mecánico que permite envolver una partícula sólida, líquida o gaseosa dentro de un material, para poder formar un empaquetado a mili, micro o nano escala, el cual libera su contenido en una condición o tratamiento específico (calentamiento, difusión o presión) (Vila et al., 2015; Zuidam & Nedovic, 2010). Existen 3 diferentes tipos de encapsulados, a) tipo depósito, que consiste en una pared alrededor del material de núcleo, llamado también cápsula; b) tipo matriz, donde el agente activo es dispersado sobre el material de soporte, encontrándose además en la superficie y c) una combinación de ambos tipos de encapsulado, donde la matriz donde se encuentra el agente activo se recubre con una pared (Zuidam & Shimoni, 2009), como se muestra en la figura 1.

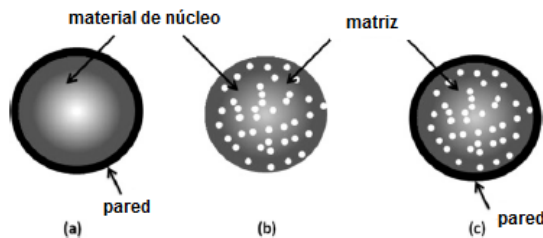


Figura 1. Representación de los sistemas de encapsulación: a) tipo depósito, b) tipo matriz, c) tipo matriz recubierta

Los métodos de encapsulación pueden dividirse en dos grupos: (i) mecánicos, como el secado por pulverización, la congelación/enfriamiento (ii) químicos, como la coacervación, la cocrystalización, la gelificación iónica, la polimerización interfacial y la inclusión molecular, la incompatibilidad polimérica y atrapamiento en liposomas, Sin embargo, uno de los métodos de encapsulación más utilizados es el secado por pulverización (Saifullah et al., 2019)

La selección del método de encapsulación depende del tamaño de partícula requerido, las propiedades físicas y químicas del material de recubrimiento, el mecanismo de liberación requerido y el costo (Parra-Huertas, 2010). En la figura 2 se muestra el intervalo de tamaño de partículas que se pueden obtener por los diferentes métodos de encapsulación.

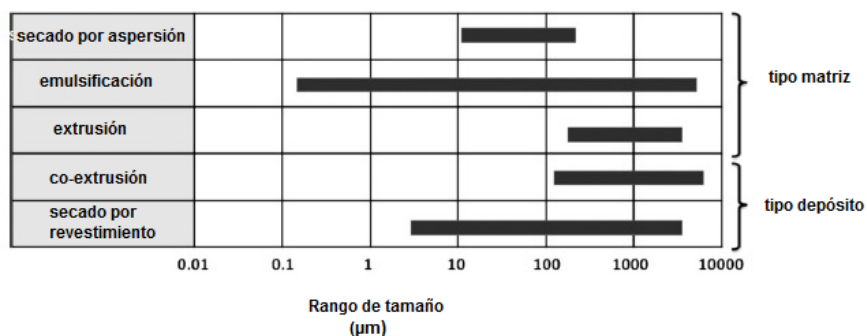


Figura 2. Tecnología de la encapsulación: rango de tamaño por cada técnica

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

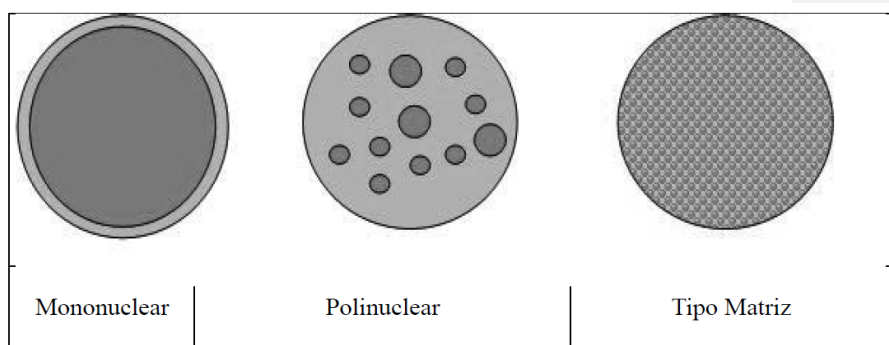
6.1.2 Morfología de las microcápsulas

En una microcápsula, la sustancia que es encapsulada puede llamarse material núcleo, agente activo, fase interna o fase de carga útil y puede ser un material sólido, líquido o gaseoso. La sustancia que encapsula puede ser llamada recubrimiento, membrana, concha, material portador, material pared, fase externa o matriz (Zuidam & Shimoni, 2010, Zhongxiang & Bhesh, 2010).

Las microcápsulas pueden tener formas regulares o irregulares y, sobre la base de su morfología, se pueden clasificar como mononucleares, polinucleares y tipo matriz (Figura 3). Las microcápsulas mononucleares

presentan el recubrimiento alrededor del núcleo, mientras que las cápsulas polinucleares tienen muchos núcleos encerrados dentro del material pared. En la encapsulación tipo matriz, el material núcleo está distribuido homogéneamente dentro del material portador. Adicionalmente a estas tres morfologías básicas, las microcápsulas pueden también ser mononucleares con múltiples paredes, o pueden formar grupos de microcápsulas (Desai & Park, 2005; Ghosh, 2006).

Figura 3. Tipos de Morfología de microcapsulas



Fuente: Modificado de Ghosh (2006).

6.1.3 Encapsulación de compuestos bio-activos

La microencapsulación es una técnica empleada para proteger compuestos activos y nutraceuticos (Ribeiro et al., 2020) y consiste en recubrir de manera uniforme los ingredientes funcionales (vitaminas, enzimas, fenoles, moléculas y células) con una película polimérica para obtener cápsulas de tamaño micrométrico (Dhakal & He, 2020; Ozkan et al., 2019; Ribeiro et al., 2020).

El proceso de encapsulación se puede llevar a cabo en gases, gotas líquidas o pequeñas partículas sólidas (Ozkan et al., 2019). La película actúa como barrera para proteger el compuesto activo del entorno circundante, controlar su liberación, evitar la interacción con otros ingredientes y mejorar la estabilidad de los compuestos (Ribeiro et al., 2020).

En la industria alimentaria, el proceso de encapsulación es útil para el empaquetado de moléculas bioactivas como antioxidantes, minerales, vitaminas y células vivas como los probióticos (Wandrey et al., 2009; De Vos et al., 2010). Los principales objetivos son preservar su estabilidad durante su procesamiento y almacenamiento, así como prevenir interacciones indeseables en la matriz alimentaria.

En el caso de los compuestos antioxidantes dentro de cualquier alimento, su estabilidad depende de las condiciones que involucran el proceso y almacenamiento de los alimentos como la temperatura, la luz y el oxígeno; los cuales limitan o disminuyen su actividad y los beneficios potenciales a la salud. (Nedovic et al., 2011). Para los probióticos como compuestos bioactivos, deben protegerse además del bajo pH en el tracto gastrointestinal y la presencia de sales biliares en el intestino delgado (Zuidam & Nedovic, 2010). Se han utilizado diferentes técnicas de encapsulación con diversos materiales de recubrimiento para retardar la degradación de compuestos bioactivos, como secado en frío (Mourtzinou et al., 2011), nanoemulsión (Donsi et al., 2011; Heidebach et al., 2010), liofilización (Khoramnia et al., 2011) y secado por aspersión (Rocha et al., 2011; Krishnaiah et al., 2009; Arslan et al., 2015).

La incorporación directa de compuestos bioactivos y nutracéuticos en matrices alimentarias presenta dificultades relacionadas con baja solubilidad, defectos en la calidad de los productos (cambios negativos en color, textura, sabor y apariencia), pérdida de la funcionalidad ocasionada por las operaciones de procesamiento y almacenamiento del alimento, y degradación por enzimas digestivas y condiciones ambientales desfavorables (oxígeno, luz y temperatura) (Mohammadian et al., 2020).

La microencapsulación es una solución tecnológica para optimizar la preservación de ingredientes activos en materias primas y alimentos durante su procesamiento y almacenamiento (Favaro-Trindade et al., 2020; Ye et al., 2018). Para reducir su deterioro térmico y lograr su incorporación y liberación controlada en el organismo, se han introducido

varias estrategias de microencapsulación como, por ejemplo, el secado por aspersión (Lucas et al., 2020; Ye et al., 2018).

La incorporación directa de compuestos bioactivos y nutracéuticos en matrices alimentarias presenta dificultades relacionadas con baja solubilidad, defectos en la calidad de los productos (cambios negativos en color, textura, sabor y apariencia), pérdida de la funcionalidad ocasionada por las operaciones de procesamiento y almacenamiento del alimento, y degradación por enzimas digestivas y condiciones ambientales desfavorables (oxígeno, luz y temperatura) (Mohammadian et al., 2020). La microencapsulación es una solución tecnológica para optimizar la preservación de ingredientes activos en materias primas y alimentos durante su procesamiento y almacenamiento (Favaro-Trindade et al., 2020; Ye et al., 2018). Para reducir su deterioro térmico y lograr su incorporación y liberación controlada en el organismo, se han introducido varias estrategias de microencapsulación como, por ejemplo, el secado por aspersión (Lucas et al., 2020; Ye et al., 2018).

6.2 Métodos de encapsulación

La encapsulación de aditivos alimentarios puede ser lograda mediante varios métodos y su elección depende de factores tales como, el tamaño medio de partícula, propiedades físicas y químicas del agente encapsulante y la sustancia a encapsular, las aplicaciones para el material microencapsulado, el mecanismo de liberación deseado y el costo (Yáñez et al., 2002; Desai & Park, 2005).

En general, estos métodos pueden ser divididos en tres grupos (Yáñez et al., 2002, Munin & Edwards-Lévy, 2011):

- **Procesos físicos:** secado por aspersión, extrusión y recubrimiento por aspersión, extrusión centrífuga, lecho fluidizado, empleo de fluidos supercríticos.
- **Procesos fisicoquímicos:** coacervación simple o compleja, atrapamiento en liposomas, gelación iónica, extracción-evaporación del solvente.

• **Procesos químicos:** polimerización interfacial, polimerización in situ, inclusión molecular.

Las microcápsulas pueden ser utilizadas en una gran variedad de aplicaciones, debido a que la versatilidad de la tecnología de microencapsulación ofrece combinaciones ilimitadas de materiales núcleo y pared para su producción (Ghosh, 2006).

Las técnicas de encapsulación pueden ser divididas en dos grupos: químicos y mecánicos (Madene, Scher y Desobry, 2006). En la Figura 4 se observan los principales métodos que se utilizan para encapsular sustancias.

Comentado [AG1]: Construye tu mismo la figura.

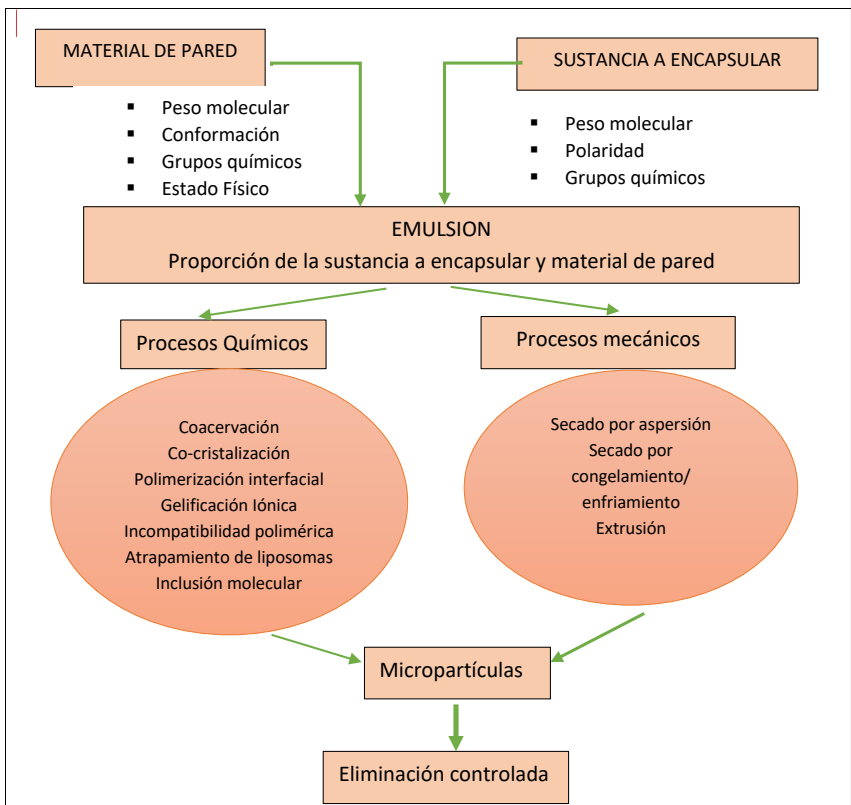


Figura 4. Ilustración esquemática de los diferentes procesos de microencapsulación (Madene, Scher y Desobry, 2006).

Diversos principios activos se han encapsulado, en la Tabla 1 se muestran algunos ejemplos de investigaciones.

Tabla 1. Microencapsulación de diversos principios activos

Material de recubrimiento	Aplicación	Método de encapsulación empleado	Referencia
B-ciclodextrina	Encapsulación de aceite esencial de orégano mexicano	Secado por aspersión	Arana Sánchez et al., 2010
B-ciclodextrina	Encapsulación de extracto etanólico de propóleo	Liofilización	Kalogeropoulos et al., 2009
B-ciclodextrina y almidón modificado	Encapsulación de timol y geraniol	Secado por aspersión y liofilización	Mourtzinis et al., 2008
Ciclodextrina y maltodextrina	Encapsulación de sabor de shiitake	Secado por aspersión	Yoshi et al., 2005
Goma arábiga, goma de mezquite maltodextrina	Encapsulación de saborizante de nuez	Secado por aspersión	Carrillo Navas et al., 2010
Qitosano	Encapsulación de ácido ascórbico	Secado por aspersión	Pulido & Beristain., 2010
Poli (DL-lactida-co-glicolida)	Encapsulación de eugenol y trans-cinamaldehido	Emulsión-avaporación y hiofilización	Gomes et al.,2011
poli(DL-lactida)	Encapsulación de aceite de tomillo	Coacervación	Martins et al., 2011
Mezcla de Maltodextrinas	Encapsulación de extracto de vainilla	Liofilización	Ocampo et al., 2017
Maltodextrina, goma arábiga y emulgentes (caseinato sódico, pectina de bajo metoxilo, Tween 20 y Tween 60	Encapsulación de sabores de d-limoneno	Secado por aspersión	Rubiano et al., 2015.
Goma arábiga/maltodextrina	Encapsulación de aceite esencial de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.)	Secado por aspersión	Flores-Tique, 2017.
Microencapsulación del Ácido Ascórbico con Almidón y Maltodextrina	Encapsulación del Ácido Ascórbico	Secado por Aspersión	Tapia Poveda, 2017.
MEZCLAS DE POLISACÁRIDO-PROTEÍNA	Microencapsulación de aceite esencial de naranja	Secado por aspersión	Bastida Ocampo,2019.

6.2.1 Secado por aspersión

El proceso de encapsulación mediante secado por aspersión se suele realizar en tres etapas: preparación de la emulsión, homogeneización y atomización. El principio del proceso es atomizar el material mientras está en estado líquido, y cuando las pequeñas gotas entran en contacto con el gas caliente, el disolvente se evapora, formando una fina capa del material de revestimiento. En este método, el compuesto a encapsular es recubierto por una matriz generalmente hecha de almidón, almidones modificados, algunas gomas, maltodextrinas y carboximetilcelulosa, entre otros. Debido a su coste relativamente bajo, el almidón es uno de los agentes encapsulantes más utilizados (Ozkan et al., 2019).

El secado por aspersión es la técnica de microencapsulación más antigua, utilizada debido a su capacidad de evaporar la humedad rápidamente y mantener una temperatura baja en las partículas. En esta técnica, la formación de microcápsulas implica la homogeneización de los materiales del núcleo (compuestos bioactivos) y los materiales de la pared (polisacáridos y proteínas) para crear una emulsión seguida de la atomización en la cámara de secado (Dhakal & He, 2020). Este proceso permite el procesamiento de materiales líquidos sensibles al calor sin disminuir significativamente su calidad y su funcionamiento es continuo y económico. Además, se ha señalado que el deterioro por altas temperaturas en el producto es relativamente pequeño debido a los cortos tiempos del procedimiento (Campelo et al., 2018; Cortés-Rojas et al., 2015).

En el proceso de secado por aspersión, la alimentación ingresa a la cámara de secado y allí se atomiza, lo que aumenta la relación superficie/volumen de la gota asperjada y la transferencia de masa y calor. A su vez, las diferencias en la presión de vapor de las gotas y el aire caliente hacen que el disolvente de las gotas se transfiera a la corriente de gas (Poozesh & Bilgili, 2019; Tontul & Topuz, 2017). Dentro de la cámara de secado, una corriente de aire caliente a gran volumen como medio secante entra en contacto con otra corriente de partículas (10-500 μm de

diámetro) con una gran área superficial, a través de la cual ocurre la evaporación de la humedad. Este proceso está sujeto a algunas características de diseño del secador como el tipo de boquilla, las temperaturas de operación, la velocidad de flujo y la presión aplicada (Tan et al., 2015; Wei et al., 2019). El aire se expande adiabáticamente desde la boquilla con pequeños orificios a la cámara de secado y su temperatura cae de forma casi instantánea (Morales-Guzmán et al., 2010).

El secado por aspersión es el proceso más utilizado para microencapsular ingredientes activos, especialmente en la industria alimenticia; debido en gran medida a su bajo costo, buena estabilidad del producto final y eficacia de encapsulación relativamente alta (Favaro et al., 2010).

Es el proceso de atomizar un producto líquido en una corriente de gas caliente para obtener un polvo instantáneamente (Oliveira et al., 2010). La evaporación de agua toma lugar cuando las gotas de solución a secar entran en contacto con el aire caliente del secador. La humedad de la superficie se pierde y es reemplazada por el agua que migra desde el centro de la gota. Por consiguiente, se forma una pared seca alrededor de la gota y finalmente la partícula seca es removida por la corriente de aire (Smith, 2012). El líquido inicial alimentado al aspersor, puede ser una solución, una emulsión o una suspensión (Rutiaga Quiñones et al., 2015). Es una técnica comúnmente utilizada en la producción de ingredientes alimenticios, ya que es viable para su uso a gran escala en aplicaciones industriales. Es probablemente la más económica y efectiva del método de secado industrial (Chávarri et al., 2012). La calidad de los polvos secados por aspersión depende de las características de la solución alimentada (viscosidad, velocidad de flujo, etc.), aire de secado (temperatura, presión y flujo), contacto entre el aire caliente y las gotas de la cámara de secado (flujo en corrientes paralelas o contracorriente, así como el tipo de atomizador utilizado (Ferrari et al., 2012).

Esta tecnología de encapsulación ha sido utilizada para la protección de diversos compuestos bioactivos como los presentes en pulpa de camote (Ahmed et al., 2010), grosella negra (Bakowska & Kolodziejczyk, 2011), y

la encapsulación de cepas probióticas como *L.acidophilus* La-5 (Maciel et al., 2014).

En la siguiente figura se observan las 4 etapas en las que se lleva a cabo el proceso de secado por aspersión (Anandharamakrishnan & Ishwarya, 2015; Rutiaga et al., 2015); posteriormente se describen cada una de ellas:

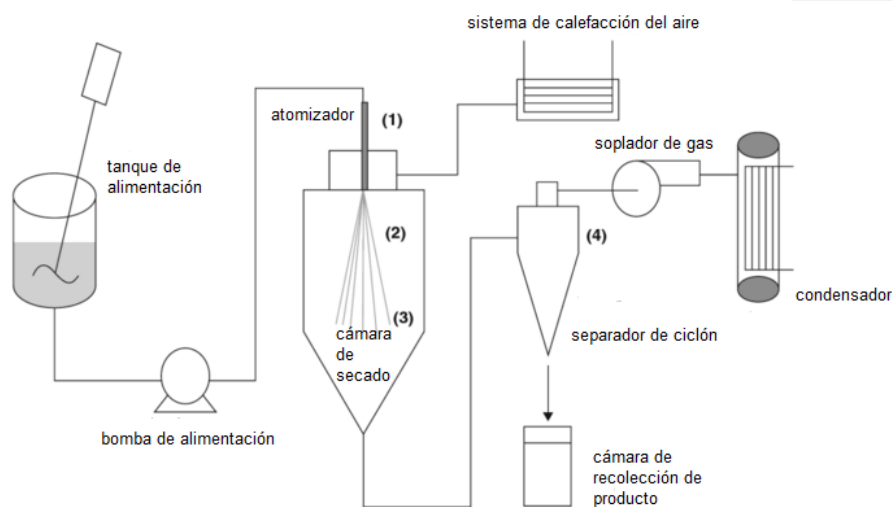


Figura 2. Proceso de secado por aspersión: I) atomización, II) contacto con aire caliente, III) evaporación de humedad, IV) separación del producto seco y aire húmedo

- I. **Atomización.** Atomizar significa asperjar una solución o emulsión en una corriente de aire caliente. El objetivo de la atomización consiste en crear la máxima superficie de transferencia de calor entre el aire seco y el líquido para optimizar la transferencia de masa y calor. Cuanto mayor sea la energía suministrada, más finas serán las gotas formadas.
- II. **Contacto de la gota con el aire caliente.** En esta etapa, las gotas asperjadas tienen un contacto con el aire caliente circundante dentro de la cámara de secado, con lo que logra evaporarse una importante cantidad de agua. Cuando el aire caliente va en la

misma dirección al atomizador, es decir, en corriente paralela la evaporación del agua es instantánea. En este proceso, generalmente las temperaturas de operación del aire de secado van entre 150-220°C, y de salida son de entre 50-80°C.

- III. **Evaporación de la humedad.** El gas caliente provoca un aumento en la temperatura de la gota, lo cual promueve la evaporación de la superficie de la gota y un consecuente encogimiento de la misma. La migración rápida del agua de la superficie de la gota mantiene una velocidad de evaporación constante.
- IV. **Separación del producto seco y aire húmedo.** Se logra por medio de un ciclón colocado fuera de la cámara de secado, donde las partículas de mayor densidad son recuperadas en la cámara de secado, mientras que las finas pasan a través del ciclón para ser separadas del aire húmedo.

El principal factor que debe ser cuidado dentro del secado por aspersión son las temperaturas que se manejan en cada proceso, desde la temperatura de alimentación hasta las del aire de entrada y salida. Estos pueden determinar las propiedades fisicoquímicas, estructurales e incluso químicas de los encapsulados (Rutiaga Quiñones et al., 2015).

Uno de los avances más recientes es la nanoencapsulación mediante secado por aspersión, la cual produce partículas menores de 100 nm (Jafari, 2017). Se requiere de tecnologías de secado por aspersión especiales para producir partículas tan pequeñas, pues las tecnologías convencionales no permite producirlas con un buen rendimiento y con una distribución de tamaño estrecha. Uno de los principales retos es la producción de gotas muy pequeñas que es necesario generar y que los aspersores comunes son incapaces de producir para poderlas convertir en nanopartículas. Otro obstáculo es recolectar las nanopartículas que normalmente se pierden en la corriente de aire del equipo y que el ciclón no puede fácilmente separar (Oliveira et al., 2013).

Todos estos retos hicieron necesario el desarrollo de un equipo de secado por nanoaspersión por la compañía suiza Büchi (Arpagaus et al., 2018).

El secado por atomización o aspersion tiene eficiencia de microencapsulación entre 96 y 100% (López y Gómez, 2008). Los parámetros más importantes para este proceso son: las temperaturas de entrada y salida del aire de secado, el flujo de alimentación y el acondicionamiento de materia prima (García et al., 2004).

6.2.2 Liofilización

La liofilización se basa en la deshidratación por sublimación del agua de un producto congelado. Este proceso se divide en tres etapas: congelación, secado primario (sublimación) y secado secundario (desorción) (Gómez *et al.*, 2018). Es un método ampliamente utilizado en las industrias farmacéutica y alimentaria debido a su simplicidad, flexibilidad y facilidad de escalado. No obstante, en comparación con el secado por aspersion, su costo es 30 a 50 veces mayor, debido principalmente al largo tiempo de operación que puede oscilar entre 8 y 24 horas.

La liofilización se usa para la deshidratación de materiales termosensibles y en comparación con el secado por aspersion, la liofilización tiene una mayor retención de los compuestos volátiles (Bakry *et al.*, 2016). El método es simple y de fácil operación, pero tiene como desventajas un alto consumo energético y tiempo prolongado de operación, que hacen elevar sus costos. Además, puede ocurrir la formación de estructuras porosas que afecta la estabilidad del agente activo.

6.2.3 Coacervación

Este método se define como la separación de dos fases líquidas en un sistema coloidal. Una fase es rica en un polímero (coacervato) y la otra no contiene polímero (disolución de equilibrio o medio de coacervación) (El Asbahani et al., 2015). La coacervación puede ser simple o compleja. En la coacervación simple, existe solo un polímero, mientras que la compleja

involucra la interacción de dos coloides con cargas opuestas (Aloys et al., 2016).

La coacervación simple tiene como ventajas el bajo costo y operación flexible. Para inducir la separación de fase, requiere de sales inorgánicas baratas, mientras que la coacervación compleja es más sensible a los cambios de pH. Por su parte, la coacervación compleja emplea hidrocoloides costosos, pero produce microcápsulas con bajo aceite superficial y alto contenido y estabilidad en comparación con las emulsiones secadas por aspersión (Bakry et al., 2016). Comparada con otros métodos de microencapsulación, la coacervación compleja es un método escalable y ecológico (Aloys et al., 2016).

La coacervación permite una alta eficiencia de encapsulación y controlar el tamaño de partícula. Además, provee protección contra reacciones de degradación, previene la pérdida de compuestos volátiles, un buen control de liberación y mejora la estabilidad de aceites esenciales. Sin embargo, el mayor problema que tiene es la aglomeración de microcápsulas. En general, el procedimiento es operacionalmente complejo y requiere de un control de los parámetros experimentales y es costosa (Carvalho et al., 2016).

6.2.4 Gelación iónica

Entre los distintos métodos de encapsulación existentes, los que operan a baja temperatura son los recomendados para los aceites esenciales, pues se minimiza la pérdida por volatilización. La gelación iónica es uno de ellos y se basa en la interacción iónica entre polímeros cargados opuestamente o entre un polímero y un polianión o polianión (Saravanan & Rao, 2010; De Oliveira et al., 2014), lo que es recomendable cuando el ingrediente activo es hidrofóbico.

El alginato es el material más comúnmente usado para encapsular por este método.

Este polímero aniónico extraído de las algas es muy utilizado en las industrias de ingeniería y biotecnología por su bajo costo y no toxicidad. El alginato tiene la propiedad de formar enlaces iónicos con cationes polivalentes como el ion calcio y como consecuencia, generar una estructura entrecruzada como una red polimérica (Saravanan & Rao, 2010).

Existen dos técnicas de gelación: externa e interna. En la primera, la sal de calcio soluble es adicionada en la emulsión, el tamaño de partícula no puede ser bien controlado y las partículas tienden a coagular antes de adquirir consistencia. La gelación interna se basa en la liberación del ion calcio desde un complejo insoluble en una disolución de alginato de sodio (Gómez et al., 2018).

La calidad de esta encapsulación depende del incremento de la capacidad de carga, la eficiencia de encapsulación y el rendimiento de las microesferas. Este método también es usado para la obtención de micropartículas y nanopartículas de quitosana (Hasheminejad et al., 2019). La mayor limitación de este método es para materiales de baja masa molecular o hidrofílicos, pues estos pueden fácilmente difundirse y liberarse de la red en dependencia del pH del medio (Đorđević et al., 2014).

6.2.5 Congelación y enfriamiento por aspersión

Estos métodos son similares al secado por aspersión. El material activo disuelto o dispersado en una disolución del material soporte es asperjado a través de una boquilla neumática dentro de un reactor, que contiene un medio frío. A causa de ello, el material se solidifica y forma una película recubridora (Carvalho et al., 2016). El punto de fusión del material encapsulante está en el intervalo de 32 °C a 42 °C para la congelación por aspersión y de 45 a 122 °C para el enfriamiento por aspersión. Este método es adecuado para encapsular sustancias que pueden volatilizarse durante el calentamiento, pero su mayor limitación es el alto costo y las condiciones especiales de conservación requeridas (Madene et al., 2006).

6.2.6 Extrusión

La extrusión es un proceso continuo que involucra el trabajo y la compresión sobre un material para formar una masa semi-sólida, que en determinadas condiciones controladas es forzada a fluir a través de una abertura restringida. Generalmente son usados polímeros de carbohidratos con azúcares y se adiciona una pequeña cantidad de agua como plastificante para obtener un fundido eficiente de la matriz (Bakry *et al.*, 2016). Este método puede hacerse mediante tres procesos: inyección en fusión, extrusión en fusión y extrusión centrífuga (coextrusión) (Zuidam & Shimoni, 2010; Bakry *et al.*, 2016).

La extrusión tiene como ventajas que se logra una mayor estabilidad de los aceites esenciales, bajo contenido superficial y buena estabilidad (Zuidam & Shimoni, 2010). Sin embargo, es un proceso mucho más costoso que el secado por aspersión y produce partículas muy grandes (200 a 2 000 μm), lo que limita su uso en varias aplicaciones (Zuidam & Shimoni, 2010).

6.3 Materiales utilizados como encapsulantes

Los materiales que frecuentemente se utilizan para este proceso son: carbohidratos (almidones y derivados, celulosa y derivados, goma arábica, goma tragacanto, alginato, carragenina, xantana, quitosan) y proteínas (gelatina, proteínas de leche, proteínas de suero, gluten, proteína de soya, etc.). También se puede utilizar un solo material o la combinación de ellos, con la finalidad de lograr un efecto sinérgico de los materiales en el encapsulamiento del material bioactivo (Livney 2010; Burgain *et al.*, 2011). A continuación, se describen las características de algunos materiales utilizados en la encapsulación.

- **Maltodextrina (MD)**

La maltodextrina (MD), es un polisacárido obtenido de la hidrólisis parcial del almidón de maíz mediante enzimas hidrolíticas en medio ácido y se clasifican de acuerdo al grado de equivalentes de dextrosa (ED) (Bakowska & Kolodziejczyk, 2011). Su estructura está compuesta por unidades de glucosa ligadas por enlaces α 1-4

glicosídicos. Es un polvo blanco cremoso higroscópico, el cual posee un sabor moderado o poco fuerte sabor dulce (Anandharamakrishnan & Ishwarya, 2015). Es hidrofílico, con baja viscosidad y demuestra protección contra reacciones de oxidación. Como encapsulante de bacterias probióticas; en algunos estudios como el de Anekella & Orsat, 2013, microencapsulando jugo de frambuesa, la MD permitió obtener de un 60 a 80% de supervivencia de *L.acidophilus acidophilus* y *L.rhamnosus*. Además ha sido empleado para la encapsulación de los polifenoles de vino rojo, donde Sanchez et al., 2011 demostraron la habilidad de este material para incrementar la estabilidad de las cápsulas en su almacenamiento. Este polímero, puede utilizarse en combinación con otros materiales como con goma arábica, proteína de suero de leche o almidones modificados para obtener mejores resultados de encapsulación (Fazaeli et al., 2012). Los agentes encapsulantes utilizados en el secado por aspersión de jugos de frutas son la MD y GA. Por su alto peso molecular, son utilizados para evitar problemas de operación en el secado por aspersión, principalmente en productos ricos en azúcares (jugos de frutas), como pegajosidad en la pared de la cámara de secado y transformaciones en la estructura, como colapso y cristalización durante el proceso del alimento y en su almacenamiento (Tonon et al., 2010).

- **Goma Arábica (GA)**

Es el exudado natural de los árboles *acacia senegal*. Es un heteropolisacárido de alto peso molecular, formado por una cadena lineal de moléculas de D-galactosa unidas por enlaces β -1,4 y β -1,6 (Lopera et al., 2009; Parra-Huertas, 2010). La GA es un agente encapsulante efectivo debido a sus propiedades emulsificantes, debido a la poca cantidad de proteína en su composición (Fazaeli et al., 2012). Además, muestra alta solubilidad y baja viscosidad en soluciones acuosas, lo cual facilita el proceso de secado por

aspersión (Frascareli et al., 2012). Farmacológicamente, la GA ha presentado un comportamiento antioxidante y de protección contra toxicidades renales, hepáticas y cardíacas experimentales, aplicadas en ratas (Ali et al., 2009). Se considera como un ingrediente prebiótico ya que estimula el crecimiento de bacterias benéficas que habitan a lo largo del intestino humano o animal, beneficiando con ello al sistema digestivo, inmunidad y eliminación de tóxicos, grasas y excretas (Da Silva et al., 2013). Se conoce que la fibra soluble presente en la goma arábica, aumenta la viabilidad probiótica durante el almacenamiento (Bustos & Borquez, 2013; Rajam et al., 2012). En la encapsulación de un jugo de lichi, la GA junto con la inulina como materiales encapsulantes, mostraron protección a *L. casei*, reduciéndose de 1 a 2 log UFC/g después del proceso de secado, así como de sus compuestos antioxidantes (Kingwatee et al., 2015).

- **Proteínas de suero de leche**

La leche contiene cerca del 3.5% de proteína. Esta fracción proteica se encuentra en un 80% de caseína y 20% de las proteínas del suero de leche. Este último es producto que proviene del proceso de producción de queso, y comprende 4 fracciones proteicas principales: α -lactalbúmina, β -lactoglobulina, inmunoglobina y albúmina de suero, acompañada de otras proteínas (Anandharamakrishnan & Ishwarya, 2015). El suero líquido es la materia prima para la producción de la proteína de suero de leche concentrada (WPC) que es utilizado como material de encapsulación (Gaonkar et al., 2014). Los niveles proteicos de este biopolímero van del 34% a 85%. Estos porcentajes dependen de la fuente de la leche, proceso de obtención del queso, y el tipo de suero utilizado (ácido o dulce).

Estos concentrados son elaborados por la ultrafiltración que consiste de una membrana semipermeable, la cual selectivamente

permite pasar materiales de bajo peso molecular como agua, iones y lactosa, mientras retiene materiales de alto peso molecular como la proteína. El retenido es así concentrado por evaporación o liofilizado (Muñi et al., 2005)

Diferentes autores sugieren la eficiencia de matrices lácteas para proteger la viabilidad de las células durante el secado por la presencia de los componentes de la leche (Doherty et al., 2011; Arslan et al., 2015). Gad et al. (2011) mencionaron que estos materiales poseen una actividad antioxidante, la cual protege el núcleo lipofílico contenido en las microcápsulas, de la oxidación.

▪ **Alginatos**

Los hidrocoloides han sido empleados como matriz debido a su capacidad para absorber agua, fácil manipulación e inocuidad. El alginato es un hidrocoloide que posee tanto estas características como propiedades gelificantes, estabilizantes y espesantes, razones por las cuales ha sido de gran interés para la industria alimentaria. El alginato es descrito como un polisacárido lineal poliiónico e hidrofílico proveniente de algas marinas conformado por dos monómeros en su estructura, el ácido α -L-gulurónico (G) y el ácido β -D-manurónico (M) que se distribuyen en secciones constituyendo homopolímeros tipo G-bloques (-GGG-), M-bloques (-MMM-) o heteropolímeros donde los bloques M y G se alternan (-MGMG-). Tanto la distribución de sus monómeros en la cadena polimérica como la carga y volumen de los grupos carboxílicos confieren al gel formado características de flexibilidad o rigidez dependiendo del contenido en G. Si en su estructura polimérica se tiene mayor cantidad de G-bloques, generalmente el gel es fuerte y frágil, mientras que con la presencia de mayor proporción de M-bloques el gel formado se presenta suave y elástico. El proceso de gelificación ocurre en presencia de cationes multivalentes (excepto el magnesio) donde el ión calcio es el más empleado por la industria alimentaria. La gelificación tiene lugar al producirse una zona de unión entre un G-bloque de una molécula de alginato que se enlaza físicamente a otro G-bloque contenido en otra

molécula de alginato a través del ión calcio. La visualización de la estructura física es denominada modelo “caja de huevos” por Draget (2000), mostrada en la Fig. 2 (Reddy-K. y Reddy, P., 2010).

La selección del material de la pared es un paso importante para el éxito del proceso de microencapsulación. El sistema de paredes de encapsulación está formado por compuestos que tienen grupos hidrófilos y/o hidrófobos, que crean una estructura en forma de red y cuya selección depende del material del núcleo y de las características deseadas de las microcápsulas. Entre los materiales de cubierta típicos para la encapsulación de sabores se encuentran las maltodextrinas (Baranauskienė et al., 2007; Quintanilla-Carvajal et al., 2011; da Costa et al., 2012).

Entre los biopolímeros utilizados frecuentemente como material de pared se encuentra el almidón. Este carbohidrato es una buena alternativa para ser aplicado en la microencapsulación, debido a su bajo costo, es natural, biodegradable, tiende a complementar a los sabores, y entre sus propiedades funcionales presenta baja viscosidad, alta solubilidad deseable en un agente encapsulante. Los almidones son utilizados para retener compuestos volátiles (Nizori et al., 2012).

Los requisitos de un material de pared ideal para el secado por aspersión incluyen un alto grado de solubilidad, buenas propiedades emulsionantes, óptimas cualidades de secado, carácter no higroscópico, sabor suave, baja reactividad y bajo costo (Gómez-Aldapa et al., 2019).

6.4 Características fisicoquímicas de las microcápsulas

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

6.5 Encapsulación en la industria de alimentos

La funcionalidad de los recubrimientos comestibles puede ser mejorada incorporando diferentes sustancias, como antimicrobianos, vitaminas, nutrientes, saborizantes, antioxidantes, colorantes u otro ingrediente funcional que interactúa con el alimento para mejorar su estabilidad, seguridad y calidad, lo que puede ser una alternativa viable para incrementar la vida útil de alimentos mínimamente procesados (Durango et al., 2011). Tales compuestos activos, pueden ser incorporados directamente en la matriz polimérica comestible o pueden ser encapsulados para mejorar su actividad y proteger sus propiedades (Desobry & Debeaufort, 2012).

Una de las principales aplicaciones de la encapsulación de alimentos es la liberación controlada de agentes bioactivos en las industrias alimentaria y nutracéutica. La producción cada vez más compleja de alimentos procesados impulsa la demanda de una liberación controlada de compuestos bioactivos. Las esferas hidrófobas encapsuladas en microesferas sensibles a la humedad ayudan a mejorar la vida útil de los alimentos y bebidas. Las esferas se dispersan homogéneamente en la matriz de microesferas y se disuelven al entrar en contacto con la saliva o el agua. Esto ayuda a liberar los ingredientes encapsulados y a prolongar la sensación de sabor y gusto, ya que la liberación controlada de compuestos bioactivos es una de las principales aplicaciones en masas congeladas, alimentos horneados, confitería, barras saludables, carnes procesadas, postres nutritivos, mezclas de bebidas secas en polvo y otros productos para el bienestar (Markets and markets, 2023).

La Tabla 2 se presenta la frecuencia de uso de los métodos más utilizados en la industria y el estado físico del producto. El secado por atomización es el proceso predominante debido a que opera tanto saborizantes hidrosolubles como liposolubles, tiene un costo aceptable y puede ser escalado fácilmente desde planta piloto hasta producción comercial.

Tabla 2. Métodos de encapsulación de saborizantes usados en la industria

Método de encapsulación	Frecuencia de uso (%)	Estado físico del producto
Secado por atomización	80-85	Sólido vítreo, polvo fino
Enfriamiento por atomización	5-10	B-poli fórmico, partículas finas
Extrusión	2-3	Sólido vítreo partículas
Inyección fundida	2	Sólido vítreo, hilachas
Inclusión molecular	1	Complejo cristalino
Coacervación	<1	Membrana del polímero entrecruzada alrededor de la gota del saborizante
Co-critalización	<1	Azúcar cristalina con el saborizante ocluido

Fuente: Porzio, 2004.

6.5.1 Ventajas de la encapsulación en la industria de alimentos

La encapsulación de ingredientes para adicionar a alimentos es un procedimiento de rutina que tiene aplicaciones en muchas industrias alimentarias como: panadería, carne, confitería, funcionales y conveniencia, entre otros. Los alimentos de conveniencia y funcionales son relativamente nuevos en comparación a los de panadería y confitería, lo que incrementó la necesidad de encapsular nutrientes, sabores y colorantes naturales para este segmento.

Algunas de las principales ventajas de la encapsulación son que ayuda a proporcionar una mayor estabilidad y biodisponibilidad a los ingredientes bioactivos y también ayuda a aumentar la vida útil de los productos alimenticios y mantiene el sabor y el aroma durante un período más largo. La encapsulación se utiliza cada vez más en diversos ámbitos industriales, como los nutraceuticos y los alimentos y bebidas (Markets and markets, 2023).

La industria de alimentos utiliza la tecnología de encapsulación por las siguientes ventajas (Sandoval et al., 2004):

- Disminuir la velocidad de evaporación o de transferencia del material central hacia el medio ambiente externo,

- Controlar la liberación del activo a condiciones predeterminadas, como el cambio de pH o humedad, la aplicación de calor o los estímulos físicos
- Reducir la interacción entre el activo y el ambiente externo (algunos ingredientes son sensibles al calor, la luz y la humedad y otros son altamente reactivos y tienden a oxidarse y volatilizarse),
- Facilitar la manipulación (la encapsulación convierte un líquido a estado sólido
- Previene la agregación, favorece el proceso de mezclado y asegura que el material central se encuentre uniforme en la mezcla),
- Enmascarar el sabor del activo, como ocurre con los ácidos grasos omega 3.

6.5.2 Desafíos en la industria alimentaria en la encapsulación de alimentos y/o ingredientes

Optimizar las propiedades físicas y químicas de las microcápsulas es necesario para lograr la estabilidad de los ingredientes o productos microencapsulados. A los fabricantes les resulta difícil mantener la estabilidad de los ingredientes microencapsulados en condiciones ambientales variables. Los parámetros para la optimización de las propiedades incluyen el tipo de proceso de microencapsulación, el tipo de material o la capacidad de la microesfera. Es necesario optimizar las propiedades de las microcápsulas, como la permeabilidad, la estabilidad mecánica, la viabilidad celular, la liberación controlada, la administración dirigida, la estabilidad del fármaco y la vida útil. Conseguir estos parámetros para lograr la estabilidad en condiciones atmosféricas variables, como la temperatura, la humedad y la presión. Incluso con la adopción de tecnologías avanzadas, persisten algunos retos, como la combinación de ingredientes sensibles a la humedad con alimentos líquidos. Esto se debe a que no se consigue la estabilidad requerida de las microcápsulas en la atmósfera húmeda.

Mantener la estabilidad física óptima de los alimentos microencapsulados durante el procesado y el envasado es un reto importante. No existen

enfoques definidos que se apliquen a la microencapsulación de ingredientes alimentarios. Se requiere una solución personalizada que tenga en cuenta todas las fases de procesado, envasado, almacenamiento y entrega, transporte de alimentos y la necesidad de diferentes desencadenantes de liberación y requisitos de consumo (Markets and markets, 2023)

6.6 Mercado de la encapsulación

6.6.1 Mercado mundial de encapsulación de ingredientes para adicionar a alimentos por aplicaciones e ingresos

El mercado de la encapsulación de alimentos se valoró en 11.500 millones de USD en 2022; se prevé que crezca a una CAGR del 8,2% para alcanzar los 17.000 millones de USD en 2027. El mercado de la encapsulación está creciendo globalmente a un ritmo significativo debido a sus numerosas aplicaciones y múltiples ventajas sobre otras tecnologías. Norteamérica representa la mayor cuota del mercado de la encapsulación de alimentos, siendo EE. UU. el mayor contribuyente. Esto se debe a la presencia de la mayoría de los principales actores del mercado y a la disponibilidad de tecnologías avanzadas.

El mercado en esta región está impulsado por los avances tecnológicos en las técnicas de encapsulación de alimentos, como el creciente consumo de alimentos precocinados que utilizan sabores y colores encapsulados. La mayoría de los principales actores del mercado están presentes en la región. Entre ellos figuran International Flavors and Fragrances Inc (US), Sensient Technologies Corporation (US), Balchem Corporation (US), Encapsys LLC (US), Ingredion Incorporated (US), Cargill (US.), DuPont (US), Aveka Group (US) y Advanced BioNutrition Corp. (US) (Markets and markets, 2023).

6.7 Encapsulación de saborizantes

Las sustancias que se añaden a los alimentos para darles olor y sabor se denominan saborizantes y están constituidos en la mayoría de los casos por mezclas de muchos componentes, que pueden ser naturales u obtenidos por síntesis. La producción de saborizantes requiere de diversas materias primas, tales como: las provenientes de plantas y animales, productos de fermentación o biotecnológicos y compuestos obtenidos por síntesis químicas (Reineccius, 2006).

La microencapsulación en Tecnología de Alimentos ha llegado a ser una propuesta atractiva para transformar aditivos alimenticios líquidos (componentes volátiles, aceites esenciales y oleorresinas) en polvos estables que puedan fluir libremente, que sean fáciles de manejar e incorporar a una mezcla de alimento seco, preservando sus características naturales y optimizando su uso (McNamee et al., 1998). Los aceites esenciales se emplean en productos alimenticios (como saborizantes), perfumes (fragancias y lociones) y productos farmacéuticos (por sus propiedades). (Oosterhaven et al., 1995).

En muchas ocasiones existen alimentos en los que se requiere un saborizante en forma sólida, ya sea porque todos los ingredientes son sólidos, porque se requiere aumentar la vida de anaquel del producto o controlar la liberación durante la conservación. Para tal fin, se hace necesario encapsular al saborizante líquido (Saifullah et al., 2019).

La encapsulación de sabores en matrices portadoras obtenidas por secado por atomización puede proporcionar sabores puros duraderos y enriquecer y fortificar alimentos y bebidas sin degradación de los activos (Aguar et al. 2012; Jafari et al. 2008).

6.7.1 Función tecnológica de los saborizantes

Un saborizante se define como una preparación concentrada, con o sin coadyuvantes, usada para impartir un determinado olor y sabor, con

excepción de los sabores dulce, salado y ácido, no destinada para consumir como tal (IOFI, 1990).

En general, los alimentos consumidos por el hombre contienen naturalmente sustancias aromáticas o formadas durante su preparación, pero muchos otros tienen saborizantes adicionados. Esta adición deliberada, es obligada, en algunos casos, entre ellos:

- i) El saborizante hace al producto. Varios productos no existirían como tales sin la adición de saborizantes (por ejemplo, refrescos, gelatinas, etc.).
- ii) El saborizante identifica al producto. Numerosos productos se diferencian únicamente de sus similares debido al aroma y sabor específicos (por ejemplo, caramelo de limón, helado de chocolate, etc.).
- iii) El saborizante compensa una pérdida. El aditivo es necesario para compensar una pérdida de sustancias aromáticas, producida por las operaciones tecnológicas en la industria, tales como la pasteurización, concentración, etc.

Los saborizantes se pueden clasificar de muy diferentes maneras. Una de ellas es la que se refiere a su presentación: líquidos, emulsiones, pastas y sólidos (en polvo) [Wright, 2002]. Otra clasificación es atendiendo a las características de sus componentes (Cheetham, 2002):

- I. Saborizantes naturales. Pueden aislarse de las frutas y plantas mediante procesos de destilación, maceración, concentración y extracciones con disolventes, que sean capaces de recuperar todos los componentes volátiles que definen el olor y sabor del material del que proceden. Un ejemplo concreto lo constituyen los aceites esenciales.
- II. Saborizantes similares a los naturales. Son los que se obtienen de mezclas de compuestos sintéticos, en la proporción en que se encuentran en la fruta, especia, hierba o planta natural de la cual se quiere imitar su sabor.

III. Saborizantes artificiales. Son creados por la imaginación del saborista, su olor y sabor completos no existen en ningún elemento de la naturaleza.

6.7.2 Características de los saborizantes

El sabor es una característica esencial de los alimentos, que ofrece una primera impresión e influye en las preferencias del consumidor (Mao et al., 2017; Wang et al., 2019). Sin embargo, la mayoría de las sustancias de sabor son inestables, volátiles y fácilmente interactúan con otros compuestos de los alimentos, por lo que causan la pérdida severa de sabor durante el almacenamiento y el transporte (Chen et al., 2018).

La tecnología de encapsulación se ha utilizado ampliamente en la industria alimentaria para controlar los comportamientos indeseables de liberación de sabor.

6.7.3 Producción y demanda de saborizantes para la industria de alimentos

La encapsulación de sabores es una de las técnicas más importantes para fabricar alimentos de alta calidad. Dado que los aromas suelen ser vaporizables e inestables en condiciones de procesado de alimentos o cocción con calor, a menudo es necesario que se conserven de forma estable durante los procesos de fabricación, distribución y almacenamiento.

Además, los consumidores desean propiedades de liberación controlada, incluida la liberación rápida que responda a estímulos, durante la cocción/comida. La encapsulación de sabor se logra comúnmente atrapando moléculas de sabor dentro de portadores coloidales que consisten en materiales de calidad alimentaria, incluidos polisacáridos, proteínas, lípidos y sus complejos, para impedir la pérdida de sabor por volatilización y degradación (Ammari & Schroen, 2018).

La percepción sensorial puede verse alterada como consecuencia de la oxidación, las interacciones químicas o la volatilización de sus componentes lábiles. Con el fin de minimizar el daño de estos procesos

negativos y limitar la degradación o pérdida de aroma durante el procesamiento, la microencapsulación se utiliza en la industria del sabor para atrapar sustancias aromatizantes líquidas, como aceites esenciales, mezclas de aromas y sabores en una matriz de materiales de pared (Junxia et al., 2011; Madene et al., 2006; Milanovic et al., 2010).

La encapsulación de aromas es una tecnología de gran interés en diferentes ámbitos, especialmente en la alimentación, ya que preservar los aromas de los propios productos es una de las principales preocupaciones de los fabricantes. La encapsulación describe diferentes procesos utilizados para recubrir un activo con una pared protectora. Puede utilizarse para tratar sabores o transmitir cierto grado de protección frente a la evaporación, la reacción o incluso la migración en los alimentos. En general, un proceso de microencapsulación en el que el agente activo queda atrapado por un recubrimiento de polímeros que liberan el agente activo en condiciones específicas, se utiliza para proteger el material de las condiciones adversas del medio, promoviendo la estabilidad del producto (Madene et al., 2006).

6.7.4 Procesos de obtención de saborizantes encapsulados sólidos

Los saborizantes en estado sólido son importantes para la industria alimentaria y estos pueden ser producidos por dispersión en un soporte seco o por alguna forma de encapsulación. En la dispersión, el saborizante se adiciona sobre un ingrediente alimentario (almidones y sus derivados, sacarosa, cloruro de sodio, etc.), mientras que la encapsulación está basada en la incorporación del saborizante dentro de una matriz sólida de algún material alimentario (almidones o sus derivados, gomas, proteínas, lípidos, ciclodextrinas o alguna combinación de ellos) (Gibbs et al., 1999).

Todos estos procesos pueden ser usados para convertir un saborizante líquido en una forma sólida fácil de manipular y que se necesita en ese estado para mezclar con otros ingredientes secos. En los casos en que se

requiera conservar el saborizante en polvo por un período de tiempo, se hace imprescindible encapsularlo para su protección. De esta forma, se evitan las pérdidas por evaporación, oxidación, humedad, valores de pH bajos y posibles interacciones con otros componentes. Además, estos procesos pueden ser usados para controlar la liberación del aroma en el producto.

El proceso más simple de producir un saborizante en polvo es por dispersión del saborizante líquido en un soporte seco. Este método es muy económico y permite, si se realiza un buen mezclado, una distribución uniforme del ingrediente activo en un soporte sólido. Las desventajas del proceso son que el principio activo es relativamente diluido y que no hay ninguna protección por el soporte sólido. El contenido de saborizante está limitado entre 2 y 7 % (m/m), pues a mayores adiciones, el producto adquiere una apariencia pegajosa. Por otra parte, las sustancias volátiles pueden evaporarse u oxidarse, debido al contacto con el aire cuando se conserva por períodos prolongados de tiempo (Reineccius, 2006).

6.7.5 Métodos que más se usan para encapsular saborizantes alimentarios

En general, el proceso de encapsulación de componentes sensibles como lo son los sabores y los aromas, consiste en dos pasos: 1) La emulsificación del material activo con una solución densa del encapsulante; y 2) El secado o enfriamiento de las emulsiones.

La selección del proceso de encapsulación considera el tamaño medio de la partícula requerida, las propiedades fisicoquímicas del agente encapsulante, la sustancia a encapsular, las aplicaciones para el material micro encapsulado, el mecanismo de liberación deseado y el costo. De acuerdo con el proceso de encapsulación utilizado, las matrices de encapsulación presentarán varias formas (películas, esferas, partículas irregulares), varias estructuras (porosas o compactas) y varias estructuras físicas (amorfa o cristalina) que influirán en la difusión de sabores o

sustancias externas (oxígeno, disolventes), así como la estabilidad del producto alimenticio durante el almacenamiento (Romo; Alcantar,2023).

Tabla 3. Métodos más utilizados en la industria de alimentos para encapsular sabores.

Método de encapsulación	Material empleado	Saborizante encapsulado	Referencia
Secado por aspersión	Maltodextrina, goma arábica y emulgentes (caseinato sódico, pectina de bajo metoxilo, Tween 20 y Tween 60)	Encapsulación de sabores de d-limoneno	Rubiano et al., 2015.
Secado por aspersión	Goma Arábica , goma de mezquite y maltodextrina DE 10 (GM)	Encapsulación de saborizante de nuez	Carrillo-Navas et al., 2010

El principal objetivo para la encapsulación de un ingrediente es controlar las propiedades de transferencia de masa entre el material activo, el material de pared y el medio ambiente (Dziezak 1988), observando la permeabilidad de la matriz al oxígeno y a los volátiles encapsulados. Reineccius (1991) citó varias razones importantes para encapsular los sabores:

1. Proteger a los volátiles de pérdidas por difusión (evaporación) durante la vida útil de un producto alimenticio.
2. Proteger a los volátiles de interacciones químicas o físicas indeseables o reacciones con otros compuestos en el alimento (sabor-matriz).
3. Minimizar interacciones o reacciones químicas indeseables entre los compuestos de sabores (sabor-sabor), que pudieran degradar el

sabor y potencialmente generar sabores desagradables o pigmentos indeseables. 4. Proteger los volátiles de las reacciones químicas inducidas por luz y/o oxidación.

4. Proveer capacidades de liberación controlada.

5. Facilitar la dispersión de los sabores en los sistemas alimenticios.

La encapsulación de sabores es un término general usado por varios procesos empleados para convertir sabores líquidos en una forma funcional estandarizada. Los sabores son ingredientes indispensables en la preparación de alimentos, no obstante, los sabores comerciales en forma líquida son difíciles de manejar e incorporar a los alimentos. Además, muchos componentes de los sabores exhiben una sensibilidad considerable al oxígeno, luz o calor, por lo que es necesario protegerlos a través de la encapsulación (Qi y Xu 1999). Los beneficios de la encapsulación de sabores son numerosos entre los que se incluyen la conversión de un sabor líquido a un polvo fácilmente manejable, protección de cambios en sabores específicos o componentes de sabores por interacciones, liberación de mayor impacto de sabor en un producto terminado, suministro de partículas visualmente distintas en el alimento y en algunos casos, proporciona funcionalmente la liberación controlada del agente saborizante en una aplicación específica (Porzio 2004).

La industria de sabores depende en gran manera de las técnicas de encapsulación verdadera para convertir sabores líquidos en sólidos ofreciéndoles mayor protección hasta su consumo. Los agentes saborizantes y especias son encapsulados en una gran variedad de procesos y ofrecen numerosas ventajas para los procesadores de alimentos. Los concentrados de sabores son aceites, de naturaleza lipofílica. La microencapsulación ha representado un acercamiento para transformar los saborizantes de alimentos líquidos en polvos estables que sean fáciles de manejar e incorporar a sistemas de alimentos secados.

Los sabores consisten en decenas a centenas de compuestos orgánicos aromáticos volátiles, algunos detectables en rangos de partes por billón. La fuente de sabor puede ser un sabor compuesto (ya sea natural o artificial), una esencia de sabor, un aceite saborizante, un aceite esencial, un extracto de sabor, una reacción de sabor o combinación de estos tipos de sabores.

Los compuestos aromáticos son muy importantes, aunque están en una pequeña concentración y son responsables de aromas típicos de cada fruto. Tenemos aceites esenciales, terpenos (limón: limoneno), ésteres de ácidos (metil-, etil-, propil- de fórmico, acético, butírico), ácidos, alcoholes, aldehídos y taninos (sobre todo en uvas). Los aromas son muy complejos. Los aromas se pueden clasificar en:

- Compuesto impacto: determinado aroma por un compuesto característico, como en la pera, limón y plátano.
- Determinado por unos pocos compuestos: están en la manzana (etilmetilbutirato, hexenal, hexanal) y en la frambuesa.
- Determinado por un elevado número de compuestos y puede ser reproducible, como el de la piña o el melocotón.
- Aroma no reproducible como el de la fresa, por ser muy complejo. (Reineccius 2006).

7.0 CONCLUSIONES

La encapsulación es una técnica que permite el empaquetamiento de alimentos, o materiales como aceites, saborizantes, bacterias probióticas, enzimas, lactosuero, pigmentos vegetales, minerales, vitaminas y aditivos alimenticios. Los principales agentes utilizados para encapsular son polivinil alcohol, alginatos, lípidos, carbohidratos, gomas y proteínas; esta encapsulación se lleva a cabo a través de procesos físicos o mecánicos; en los procesos químicos se encuentran, coacervación, polimerización interfacial, gelificación iónica, incompatibilidad polimérica, atrapamiento en

liposomas, inclusión molecular y en los procesos mecánicos están las técnicas de co-cristalización, secado congelamiento/enfriamiento, extrusión y por último se encuentra la técnica de secado por aspersión, siendo esta la más importante y utilizada en la industria alimentaria.

8.0 REFERENCIAS

AGUIAR, G.; FÁVARO, C.; RAIMUNDO, C. 2012. Microencapsulation of lycopene by spray drying: Characterization, stability and application of microcapsules. *Food Bioprod. Process.* 90(1):37-42.

Ahmed, M., Akter, M., Lee, J. & Eun, J., 2010. Encapsulation by spray drying of bioactive components, physicochemical and morphological properties from purple sweet potato. *LWT- Food Science and Technology*, 43(9), pp. 1307-1312.

Aloys, H., Korma, S. A., Alice, T. M., Chantal, N., Ali A. H., Abed, S. M., & Ildephonse H. (2016). Microencapsulation by complex coacervation: methods, techniques, benefits, and applications - A review. *Am. J. Food Sci. Nutr. Res.*, 3(6), 188-192.

Ammari, A., & Schroen, K. (2018). Flavor retention and release from beverages: A kinetic and thermodynamic perspective. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(38), 9869–9881. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b04459>

Anandharamakrishnan, C. & Ishwarya, S., 2015. *Spray Drying Techniques for Food Ingredient Encapsulation*. s.l.:s.n.

Andes, U. d. I., 2007. *Vicerrectoría de Investigaciones*. [En línea] Available at: <https://investigaciones.uniandes.edu.co/index.php/es/centro-de-microscopia/microscopio-electronico-de-barrido-meb/descripcion-de-la-tecnica-meb> [Último acceso: 6 Septiembre 2016].

Anekella, K. & Orsat, V., 2013. Optimization of microencapsulation of probiotics in raspberry juice by spray drying. *LWT-Food Science and Technology*, Volumen 50, pp. 17-24.

Arana-Sánchez, A., Estarrón-Espinosa, M., Obledo-Vázquez, E. N., Padilla-Camberos, E., Silva-Vázquez, R., & Lugo-Cervantes, E. (2010). Antimicrobial and antioxidant activities of Mexican oregano essential oils (*Lippia graveolens* HBK) with different composition when microencapsulated in β -cyclodextrin. *Letters in Applied Microbiology*, 50(6), 585-590.

Arslan, S., Erbas, M., Tontul, I. & Topuz, A., 2015. Microencapsulation of probiotic *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* with different wall materials by spray drying. *Food Science and Technology*, 63(1), pp. 685-690.

Bakowska-Barczak, A. & Kolodziejczyk, P., 2011. Black currant polyphenols: their storage stability and microencapsulation. *Industrial crops and products*, 34(2), pp. 1301-1309.

Bakry, A. M., Abbas, S., Ali, B., Majeed, H., Abouelwafa, M. Y., Mousa, A., & Liang, L. (2016). Microencapsulation of oils: a comprehensive review of benefits, techniques, and applications. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 15, 143-182.

Baranauskiene, R., Bylaite, E., Zukauskaite, J. and Venskutonis, R.P. (2007). Flavor retention of peppermint (*Mentha piperita* L.) essential oil spray-dried in modified starches during encapsulation and storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55, 3027-3036.

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

Bustos, P. & Borquez, R., 2013. Influence of osmotic stress and encapsulating materials on the stability of autochthonous *Lactobacillus plantarum* after spray drying. *Drying Technology*, Volumen 31, pp. 57-66.

Campelo, P., Sanches, E., De Barros Fernandes, R., Botrel, D., & Borges, S. (2018). Stability of lime essential oil microparticles produced with protein-carbohydrate blends. *Food Research International*, 105, 936-944. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.034>

Carvalho, I. T., Estevinho, B. N., & Santos, L. (2016). Application of microencapsulated essential oils in cosmetic and personal healthcare products—a review. *Int. J. Cosmet. Sci.*, 38, 109-119.

Carrillo-Navas, H. E. C. T. O. R., Cruz-Olivares, J. U. L. I. A. N., Barrera-Pichardo, J. F., & Pérez-Alonso, C. E. S. A. R. (2010). Estabilidad térmica oxidativa de microcápsulas de saborizante de nuez. *Superficies y vacío*, 23, 21-26.

Castro, W. y otros, 2013. Development of probiotic dairy beverages: rheological properties and application of mathematical models in sensory evaluation. *J. Dairy Sci*, Issue 96, pp. 16-25.

Ceballos A. (2008) Estudio comparativo de tres sistemas de secado para la producción de un polvo deshidratado de fruta (Tesis de grado para optar el título de Magister en Ingeniería química) Universidad nacional de Colombia Sede Manizales.

Chávarri, M., Marañón, I. & Villarán, M. C., 2012. Encapsulation Technology to protect probiotic bacteria. *InTech*, Volumen 23, pp. 501-540.

Cheetham, P.S.J.2002. Plant-derived natural sources of flavours. En: TAYLOR. *Food flavour technology*. Sheffield, UK: Sheffield Academic Press Ltd., 2002, p. 105-150.

Cruz, A. y otros, 2010. Processing optimization of probiotic yogurt containing glucose oxidase using response surface methodology. *J. Dairy Sci.*, Issue 93, pp. 5059-5068.

De Vos, P., Faas, M., Spasojevic, M. & Sikkema, J., 2010. Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components. *International Dairy Journal*, 20(4), pp. 292-302.

Dhakal, S., & He, J. (2020). Microencapsulation of vitamins in food applications to prevent losses in processing and storage: a review. *Food Research International*, 137, 109326

Doherty, S. y otros, 2011. Development and characterization of whey protein micro-beads as potential matrices for probiotic protection. *Food Hydrocolloids*, 25(6), pp. 1604-1617.

Don, Q., Chen, M. & Xin, Y., 2012. Alginate-based and protein-based materials of probiotics encapsulation: a review. *The International Journal of Food Science and Technology*, Volumen 2013, pp. 1339-1351.

Đorđević, V., Balanč, B., Belsčak-Cvitanović, A., Lević, S., Trifković, K., Kalušević, A., Kostić, I., Komes, D., Bugarski, B., & Nedovic, V. (2014). Trends in encapsulation technologies for delivery of food bioactive compounds. *Food Eng. Rev.*, 7(4), 452-490.

Donsi, F. y otros, 2011. Encapsulation of bioactive compounds in nanoemulsion-based delivery systems. *Procedia Food Science*, Volumen 1, pp. 1666-1671.

Dziezak, J.D. 1988. Microencapsulation and encapsulated ingredients. Use of microencapsulation can improve ingredient functionality. *Food Technology*, Abril, Pp. 136- 148.

El Asbahani, A., Miladi, K., Badri, W., Sala, M., Aït Addi, E. H., Casabianca, H., El Mousadik, A., Hartmann, D., Jilale, A., Renaud, F. N. R., & Elaissari, A. (2015). Essential oils: From extraction to encapsulation. *Int. J. Pharm.*, 483(1-2), 220-243.

Favaro-Trindade, C., Patel, B., Silva, M., Comunian, T., Federici, E., Jones, O., & Campanella, O. (2020). Microencapsulation as a tool to producing an extruded functional food. *LWT*, 128, 109433. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109433>

Favaro, C., A. Santana, E. Monterrey, M. Trindade and F. Netto. 2010. The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate. *Food Hydrocolloids* 24(4): 336-340.

Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Ashtari, A. & Omid, M., 2012. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and Bioproducts Processing* , 90(4), pp. 667-675.

Ferrari, C. C., Marconi Germer, S. P., Dutra Alvim, I. & De Aguirre, J. M., 2013. Storage Stability of Spray-Dried Blackberry Powder produced with Maltodextrin or Gum Arabic. *Drying Technology: An International Journal*, 31(4), pp. 470-478.

Ferrari, C., Marconi, S. & Aguirre, J., 2012. Effects of spray-drying conditions on the physicochemical properties of blackberry powder.. *Drying Technology*, Volumen 30, pp. 154-163.

Flores-Tique, Y. (2017). Evaluación del efecto antimicrobiano del aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*) aplicado en el pan molde en microencapsulado y pulverizado. (Tesis de pregrado). Universidad Peruana Unión, Lima

Frascareli, E., Silvaa , V., Tonon, R. & Hubinger, M., 2012. Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. *Food and Bioproducts Processing*, 90(3), pp. 413-424.

Gaonkar, A. G., Vasisht, N., Khare, A. R. & Sobel, R., 2014. *Microencapsulation in the food industry: a practical implementation guide*. USA: Academic Press.

García, G., González, M., Ochoa, M. & Medrano, H. (2004). Microencapsulación del jugo de cebada verde mediante secado por aspersión. *Revista Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 4(4), 262-266.

Gómez-Aldapa, C., Castro-Rosas, J., Rangel-Vargas, E., Navarro-Cortez, R., Cabrera-Canales, Z., Díaz-Batalla, L., Martínez-Bustos, F., Guzmán-Ortiz, F., & Falfan-Cortes, R. (2019). A modified Achira (*Canna indica* L.) starch as a wall material for the encapsulation of *Hibiscus sabdariffa* extract using spray drying. *Food Research International*, 119, 547-553. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.031>

Gómez, B., Barba, F. J., Domínguez, R., Putnik, P., Bursać-Kovačević, D., Pateiro, M., Toldrá, F., & Lorenzo, J. M. (2018). Microencapsulation of antioxidant compounds through innovative technologies and its specific application in meat processing. *Trends Food Sci. Technol.*, 82, 135-147.

Gibbs, B.F., Kermasha, S., Alli, I. Y Mulligan, C.N. 1999. Encapsulation in the food industry: a review. *International journal of food sciences and nutrition*, May, vol. 50, no. 3, p. 213-224.

Hasheminejad, N., Khodaiyan, F., & Safari, M. (2019). Improving the antifungal activity of clove essential oil encapsulated by chitosan nanoparticles. *Food Chem.*, 275, 113-122.

Heidebach, T., Forst, P. & Kulozik, U., 2010. Influence of casein-based microencapsulation on freeze-drying and storage of probiotics cells. *J. Food Eng.*, Volumen 98, pp. 309-316.

Jun-xia, X., Hai-yan, Y. and Jian, Y. (2011). Microencapsulation of sweet orange oil by complex coacervation with soybean protein isolate/gum Arabic. *Food Chemistry* 125, 1267- 1272.

Khoramnia, A. y otros, 2011. Enhancement of viability of a probiotic *Lactobacillus* strain for poultry during freeze-drying and storage using the response surface methodology. *Anim. Sci. J.* , Volumen 82, pp. 127-135.

Kingwatee, N. y otros, 2015. Spray drying *Lactobacillus casei* 01 in lychee juice varied carrier materials. *Food Science and Technology*, Volumen 62, pp. 847-853.

Krishnaiah, D. y otros, 2009. Study on retention of bioactive components of *Morinda citrifolia* L. using spray-drying. *J. Appl. Sci.* , Volumen 3092-3097, p. 9.

Lee, I., 2014. Critical pathogenic steps to high risk *Helicobacter pylori* gastritis and gastric carcinogenesis. *World J. Gastroenterol.* , Issue 20, pp. 6412-6419.

Livney, D., 2010. Milk proteins as vehicles for bioactives. *Current Opinion in colloid and interface Science*, Volumen 15, pp. 73-83.

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

López, H. & Gómez, D. (2008). Preparación de microesferas mediante secado por aspersión. *Revista Cubana Farmacia*, 42(3), 0-0. ISSN: 1561-2988.

Lucas, J., Ralaivao, M., Estevinho, B., & Rocha, F. (2020). A new approach for the microencapsulation of curcumin by a spray drying method, in order to value food products. *Powder Technology*, 362, 428-435. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.11.095>

Maciel, G., Chaves, K., Grosso, C. & Gigante, M., 2014. Microencapsulation of *Lactobacillus acidophilus* La-5 by spray-drying using sweet whey and skim milk as encapsulating materials. *Journal of Dairy Science*, 97(4), pp. 1991-1998.

Madene, A., Jacquot, M., Scher, J., & Desobry, S. (2006). Flavour encapsulation and controlled release – a review. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 41, 1-21.

Markets and markets, 2023. Food Encapsulation Market by Shell Material (Lipids, Polysaccharides, Emulsifiers, Proteins), Technology (Microencapsulation, Nanoencapsulation, Hybrid Encapsulation), Application, Method, Core Phase and Region - Global Forecast to 2027. Recuorado el 14 de marzo de 2023. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/food-encapsulation-advanced-technologies-and-global-market-68.html>

McNamee, B. F., O'Riordan, E. D. & O'Sullivan, M., 1998. Emulsification and microencapsulation properties of gum Arabic. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Volumen 46, pp. 4551-4555.

Mohammadian, M., Waly, M., Moghadam, M., Emam-Djomeh, Z., Salami, M., & Moosavi-Movahedi, A. (2020). Nanostructured food proteins as efficient systems for the encapsulation of bioactive compounds. *Food Science and Human Wellness*. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2020.04.009>

Mourtzinou, I., Papadakis, S. E., Igoumenidis, P. & Karathanos, V. T., 2011. Encapsulation of *Melissa Officinalis* leaf's active compounds in B-

cyclodextrin and modified starch. *Procedia Food Science* , Volumen 1, pp. 1679-1685.

Morales-Guzmán, J., Medina-Torres, M. G., Andrade-Esquivel, E., Guzmán-Maldonado, S. H., & HernándezLópez, D. (2010). Evaluación de los efectos del secado por aspersión sobre los compuestos fitoquímicos funcionales y características fisicoquímicas en encapsulados de zarzamora (*Rubus* spp). XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (Universidad de Guanajuato, Universidad Autónoma de Nuevo León), Guanajuato, México. <https://bit.ly/3gEBCQA>

Muñi, A. y otros, 2005. Eficiencia de un sistema de ultrafiltración/nanofiltración tangencial en serie para el fraccionamiento y. *Revista Científica*, XV(4), pp. 361-367.

Nedovic, V. y otros, 2011. An overview of encapsulation technologies for food applications. *Procedia Food Science*, Volumen 1, pp. 1806-1815.

Nizori, A., Bui, L. T. T., & Small, D. M. (2012). Microencapsulation of Ascorbic Acid by Spray Drying: Influence of Process Conditions. *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, materials and Metallurgical Engineering*, 6(12), 453–457. Retrieved from <http://waset.org/publications/15911/microencapsulation-of-ascorbic-acid-by-spray-drying-influence-of-process-conditions>.

Oliveira, W., Souza, C., Kurozawa, L. & Park, K., 2010. Spray drying of food and herbal products. En: M. Woo & A. Mujumdar, edits. *Spray Drying Technology*. s.l.:s.n., pp. 113-156.

Oosterhaven, K., Poolman, B. & Smid, E., 1995. S-carvone as a natural potato sprout inhibiting, fungistatic and bacteristatic compound. *Industrial Crops and Products*, pp. 23-31.

Ozkan, G., Franco, P., Marco, I. De, Xiao, J. and Capanoglu, E. 2019. Microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and applications, *Food Chem.*, 272(1), pp. 494-506.

Parra-Huertas, R., 2010. Revisión: microencapsulación de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín* . , 63(2), pp. 5669-5684.

Poozesh, S., & Bilgili, E. (2019). Scale-up of pharmaceutical spray drying using scale-up rules: a review. *International Journal of Pharmaceutics*, 562, 271-292. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2019.03.047>

Porzio, M. 2004. Flavor encapsulation: A convergence of science and art. *Food Technol.* 58:40-47.

Qi, A. H. y Xu, A. 1999. Starch-based ingredients for flavor encapsulation. *Cereal Foods World* 44:460-465.

Rajam, R. y otros, 2012. Effect of whey protein-alginate wall systems on survival of microencapsulated *Lactobacillus plantarum* in simulated gastrointestinal conditions. *Journal of Functional Foods*, Volumen 4, pp. 891-898.

Reineccius, G. A. 1991. Carbohydrates for flavour encapsulation. *Food Tech.* 45:144- 146.

Reineccius. (2006), G.A. Flavor chemistry and technology. 2nd ed. / Gary Reineccius. ed. Boca Raton, Fla. ; London: CRC. 489 p. p.

Ribeiro, A., Shahgol, M., Estevinho, B., & Rocha, F. (2020). Microencapsulation of vitamin A by spray-drying, using binary and ternary blends of gum Arabic, starch and maltodextrin. *Food Hydrocolloids*.

Rivas Reyes, Caridad. 2010. Microencapsulación y estabilización enzimática del jugo de chirimoya (*Annona cherimola* Mill). Tesis Magister en Ciencias en Bioprocesos. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología. Instituto Politécnico Nacional. México. 34 p.

Rocha, S. y otros, 2011. Epigallocatechin gallate-loaded polysaccharide nanoparticles for prostate cancer chemoprevention. *Nanomedicine*, Volumen 6, pp. 79-87.

Romo M. y Alcantar M., 2023 Microencapsulación DE SABORES Y AROMAS, revista de divulgación científica saber más, consultado en : <https://www.sabermas.umich.mx/archivo/articulos/259-numero-30/468-microencapsulacion-de-sabores-y-aromas.html>

Rutiaga Quiñones, O., Esquivel González, B. & Ochoa Martínez, L., 2015. Microencapsulación mediante secado por aspersion de compuestos bioactivos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, Volumen 2015, pp. 180-192.

Saifullah Md, Shishir MRI, Ferdowsi R, Rahman MdRT, Vuong QV.,2019. Micro and nanoencapsulation, retention and controlled release of flavor and aroma compounds: A critical review. *Trends Food Sci Technol* 2019; 30.

Sanchez, V. y otros, 2011. Freeze-drying encapsulation of red wine polyphenols in an amorphous matrix of maltodextrin. *Food and Bioprocess Technology*, Volumen 6, pp. 1350-1354.

Sandoval, A., Rodríguez, E., Ayala A. (2004). Encapsulación de aditivos para la industria de alimentos. *Ingeniería y Competitividad*. 2: 73-83.

Saravanan, M., & Rao, K. P. (2010). Pectin-gelatin and alginate-gelatin complex coacervation for controlled drug delivery: Influence of anionic polysaccharides and drugs being encapsulated on physicochemical properties of microcapsules. *Carbohydr.Polym.*, 80(3), 808-816.

Smith, K., 2012. *Current and Future Processing of Whey Ingredients*, s.l.: Wisconsin Center for Dairy Research. .

Tapia Poveda, M. J. (2017). *Microencapsulación del ácido Ascórbico mediante secado por aspersion con almidón y Maltodextrina* (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería Bioquímica).

Tonon, R. V., Brabet, C. & Hubinger, M. D., 2010. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. *Food Research International*, Volumen 43, pp. 907-914.

Vila, M. M., Chaud, M. V. & Balcao, V. M., 2015. Microencapsulation of natural anti-oxidant pigments. En: *Microencapsulation and Microspheres for Food Applications*. s.l.:Elsevier, pp. 369-388.

Wandrey, C., Bartkowiak, A. & Harding, S., 2009. Encapsulation Technologies for Food Active Ingredients and Food Processing. En: N. Zuidam & V. Nedovic, edits. *Materials for encapsulation*. s.l.:Springer: Dordrecht, The Netherlands, pp. 31-100.

Wei, Y., Woo, M., Selomulya, C., Wu, W., Xiao, J., & Chen, J. (2019). Numerical simulation of mono-disperse droplet spray dryer under the influence of nozzle motion. *Powder Technology*, 355, 93-105. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.07.017>

Yáñez J, Salazar L, Chaires J, Jiménez M, Marques E., Ramos E. (2002). Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación. *Avance y Perspectiva*, 21, 313-319.

Wright, J. 2022. Creating and formulating flavours. En: TAYLOR. *Food flavour technology*. Sheffield, UK: Sheffield Academic Press Ltd., p. 1-26.

Zuidam , N. & Shimoni, E., 2009. Overview of microencapsulates of use in food products or processes and methods to take them. En: *Encapsulation Technologies for active food ingredients and food processing*. New York: Springer-Verlag, pp. 3-29.

Zuidam, N. J., & Shimoni, E. (2010). Overview of microencapsulates for use in food products or processes and methods to make them. En: N. J.

Zuidam & V. A. Nedović (Eds.)2010. *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing* (pp. 3- 30), Berlin: Springer Science+Business Media, LLC.