



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y
BIOTECNOLOGÍA**



CARRERA DE INGENIERÍA BIOQUÍMICA

TEMA: Microencapsulación de aceites mediante secado por aspersión: avances, beneficios y aplicaciones en América Latina

Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero Bioquímico, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autor: Mauricio Alexander Reyes Quinde

Tutor: PhD. Orestes Darío López Hernández

Ambato – Ecuador

Septiembre – 2021

APROBACIÓN DEL TUTOR

PhD. Orestes Darío López Hernández

CERTIFICA

Que el presente trabajo de titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Trabajo de Titulación bajo la modalidad de Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería de Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 30 de julio de 2021

PhD. Orestes Darío López Hernández

C.I. 1754784864

TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Mauricio Alexander Reyes Quinde, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero Bioquímico, son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



Mauricio Alexander Reyes Quinde

C.I. 1804333969

AUTOR

APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación, modalidad proyecto de investigación el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Presidente del Tribunal

M.Sc. Lander Vinicio Pérez Aldás

C.I. 1802706596

M.Sc. Daniel Alfonso Cabrera Valle

C.I. 1802561595

Ambato, 23 de agosto de 2021

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que considere el presente Trabajo de Titulación o parte de él, como documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

A handwritten signature in blue ink that reads "Mauricio Reyes". The signature is written in a cursive style with a large, stylized initial 'M'.

Mauricio Alexander Reyes Quinde

C.I. 1804333969

AUTOR

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	1
1.2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA PRELIMINAR	2
1.2.1. Microencapsulación	2
1.2.2. Secado por aspersión (Spray drying)	3
1.2.3. Condiciones de Operación y Optimización del proceso Spray drying ...	4
1.2.3.1. Temperaturas de entrada y salida.....	4
1.2.3.2. Calidad de la emulsión.....	4
1.2.4. Materiales encapsulantes o de recubrimiento	5
1.2.4.1. Grupos de materiales encapsulantes.....	5
1.2.5. Aceites.....	6
1.2.6. Beneficios reportados de la encapsulación de aceites.....	8
1.2.7. Desafíos en la encapsulación de aceites funcionales	8
1.2.8. Aplicaciones innovadoras de aceites encapsulados	9
1.3. OBJETIVOS	10
1.3.1. Objetivo General	10
1.3.2. Objetivos Específicos.....	10
CAPÍTULO II	11
METODOLOGÍA	11
2.1. MÉTODOS	11
2.1.1. Bases de datos digitales consultadas	11
2.1.2. Organización de la información	11
2.1.3. Criterios para la elegibilidad	11
2.1.4. Criterios para inclusión	12
2.1.5. Criterios para exclusión	12
2.1.6. Estructura de la información y datos recopilados	12
2.1.7. Definición del problema.....	12
CAPÍTULO III.....	13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN:.....	13
3.1. ANÁLISIS DE LA LITERATURA	13

3.1.1. ACEITES VEGETALES Y ANIMALES	13
3.1.1.1. Hígado de Tiburón	13
3.1.1.2. Pescado.....	14
3.1.1.3. Maíz (<i>Zea mays</i> L.)	15
3.1.1.4. Ajonjolí (<i>Sesamum indicum</i> L.)	15
3.1.1.5. Uva y semilla de uva (<i>Vitis</i> spp.)	16
3.1.1.6. Palma (<i>Elaeis</i> spp.).....	16
3.1.1.7. Semillas de Cucurbita (<i>Cucurbita moschata</i> Duchesne)	17
3.1.1.8. Mora (<i>Rubus glaucus</i>)	17
3.1.1.9. Pequi (<i>Caryocar brasiliense</i> Camb.).....	18
3.1.1.10. Chía (<i>Salvia hispanica</i> L.)	18
3.1.1.11. Moriche o morete (<i>Mauritia flexuosa</i>).....	19
3.1.1.12. Soya (<i>Glycine max</i>)	20
3.1.1.13. Coco (<i>Cocos nucifera</i> L.).....	20
3.1.1.14. Sacha Inchi (<i>Plukenetia</i> spp.).....	21
3.1.2. ACEITES ESENCIALES	23
3.1.2.1. Orégano (<i>Origanum vulgare</i>).....	23
3.1.2.2. Turbinto o pimienta rosada (<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi).....	23
3.1.2.3. Naranja (<i>Citrus</i> spp.).....	24
3.1.2.4. Romero (<i>Rosmarinus officinalis</i>)	26
3.1.2.5. Tomillo (<i>Thymus</i> spp.)	26
3.1.2.6. Limón (<i>Citrus limon</i>)	26
3.1.2.7. Almendra (<i>Prunus</i> spp.).....	27
3.1.2.8. Cardamomo (<i>Elettaria cardamomum</i>)	28
3.1.2.9. Oliva (<i>Olea europaea</i>)	28
3.1.2.10. Canela (<i>Cinnamomum</i> spp.).....	29
3.1.2.11. Lemongrass o hierba de limón (<i>Cymbopogon flexuosus</i>)	29
3.1.2.12. Clavero (<i>Syzygium aromaticum</i>).....	31
3.1.2.13. Jengibre (<i>Zingiber officinale</i> L.)	31
3.2. COMPARACIÓN DE RESULTADOS	31
3.3. DISCUSIÓN.....	40
CAPÍTULO IV	48
4.1. CONCLUSIONES.....	48
4.2. RECOMENDACIONES	49

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
---------------------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Frecuencia absoluta de la forma de obtención de los aceites encapsulados</i>	32
Tabla 2: <i>Frecuencia absoluta de los agentes encapsulantes utilizados en las investigaciones</i>	33
Tabla 3: <i>Frecuencia absoluta de agentes encapsulantes estudiados en investigaciones comparativas</i>	34
Tabla 4: <i>Frecuencia absoluta de los aditivos o emulsificantes utilizados en las emulsiones</i>	35
Tabla 5: <i>Frecuencia absoluta de los países de origen de las investigaciones</i>	36
Tabla 6: <i>Frecuencia absoluta de participaciones totales de los países con investigaciones en el tema de investigación</i>	37
Tabla 7: <i>Frecuencia absoluta de la escala del secado por aspersión</i>	38
Tabla 8: <i>Frecuencia absoluta de la forma de estabilización/homogeneización de las emulsiones</i>	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>Frecuencia absoluta de la forma de obtención del aceite a encapsular</i>	32
Figura 2: <i>Frecuencia absoluta de los países de origen de las investigaciones</i>	38
Figura 3: <i>Frecuencia absoluta de la escala del secado por aspersión</i>	39
Figura 4: <i>Frecuencia absoluta de los métodos de estabilización de las emulsiones</i> .	40

RESUMEN

La microencapsulación mediante secado por aspersión aplicada a aceites es una técnica con un gran potencial de aportar protección a varias formulaciones susceptibles a degradación fisicoquímica. Saber el estado actual de esta técnica y la extensión de los estudios en esta materia en Latinoamérica es fundamental para divisar los siguientes pasos a dar para el desarrollo de esta técnica. Se realizó el análisis de 42 investigaciones publicadas en revistas científicas indexadas con participación de Investigadores en Latinoamérica, estudiando el tipo de aceite, matriz de encapsulación, aditivos y métodos de homogeneización de las emulsiones, escala del proceso de secado y las propiedades del encapsulado. Con la revisión de los estudios se observó un creciente número de publicaciones con el objetivo de evaluar nuevas formulaciones de una gran variedad de aceites vegetales, animales y esenciales encapsulados con el propósito de conservar sus propiedades por tiempos más prolongados, dándole más versatilidad a estos aceites para ser incorporados en formulaciones alimenticias. Al final del estudio se puede afirmar que si bien han existido una gran variedad de estudios en Latinoamérica sobre encapsulación de aceites mediante secado por aspersión, aún queda muchos campos por cubrir y las oportunidades están abiertas para continuar con la experimentación de encapsulación de nuevos aceites, optimización de los parámetros y el escalamiento de estos procesos.

Palabras clave: Encapsulación, microencapsulación, secado por atomización, secado por aspersión, aceites, aceites fijos, aceites volátiles, aceite esencial, polímeros, ácidos grasos, encapsulantes, investigación bibliográfica, Latinoamérica.

ABSTRACT

Spray drying Microencapsulation applied to oils is a technique with great potential to provide protection to various formulations susceptible to physicochemical degradation. Knowing the current state of this technique and the extent of the studies concerning this matter in Latin America is essential to devise the next steps to take for the development of this technique. The analysis of 42 investigations published in indexed scientific journals with the participation of Researchers in Latin America was carried out, studying the type of oil, encapsulation matrix, additives and homogenization methods of the emulsions, scale of the drying process and the properties of the final product. After the review of the articles, a growing number of publications were observed with the aim of evaluating new formulations of a great variety of encapsulated vegetable, animal, and essential oils to preserve their properties for longer periods of time, giving these oils more versatility to be incorporated into food and pharmaceutical formulations. In the end, it can be stated that although there have been a great variety of studies in Latin America on encapsulation of oils by spray drying, there are still many fields to be covered and opportunities are open to continue with the experimentation of encapsulation of new oils. optimization of the parameters and scaling of these processes.

Keywords: Encapsulation, Microencapsulation, Spray drying, Vegetable oils, Fixed oils, Volatile oils, Essential oils, Fatty acids, Polymers, Encapsulating agents, Literature Review, Latin America.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

En la última década la Microencapsulación mediante Secado por Aspersión ha cobrado relevancia debido a su versatilidad y aporte a la conservación de alimentos y la estabilidad de una variedad de sustancias químicas. Sustancias de interés farmacéutico se benefician por la pared micrométrica hecha de una película soluble fina o gruesa que permite regular su degradación una vez dentro de un organismo vivo. Aceites de toda clase también se preservan mejor gracias a la microencapsulación (**Ortega, García, Olvera, Infante, & Pérez, 2016**). Entre otras aplicaciones se incluyen integración de células, enzimas, ingredientes-aditivos alimenticios y principios activos (**K. C. Pereira et al., 2018**).

Los avances en la aplicación de la microencapsulación se pueden constatar en todas partes del mundo. Un gran ejemplo es Latinoamérica, una región con gran crecimiento en áreas como la Ingeniería Bioquímica y Biotecnológica gracias a la creciente demanda por productos elaborados con materias primas propias de aquellos países. Este grupo de naciones es atractivo para investigación y desarrollo de formulaciones para industrias medicinales, cosméticas y manufactureras. El avance de técnicas como la microencapsulación representan una oportunidad para desarrollar nuevas industrias o potenciar las existentes dentro de estos países (**Machado, Piovesan, Arruda, & Schuh, 2018**).

México, Perú, Ecuador, Argentina, Colombia, Brasil y Chile son los países que lideran dentro de la región el desarrollo e implementación de la técnica de Secado por Aspersión. Varios de estos países se perfilan como potencias emergentes en Microencapsulación. Muestra de eso han sido investigaciones de aplicaciones novedosas de esta técnica como nanocobertura de manzanas con cera de candelilla en México (**De León-Zapata et al., 2018**), nanoemulsiones de timol en películas comestibles de quinoa en Chile (**Robledo et al., 2018**), Películas de gelatina-quitosano cargadas con nanoemulsiones que encapsulan compuestos activos en Brasil (**Pérez-Córdoba et al., 2018**) y la encapsulación de aceite de Chia en Argentina (**González**

et al., 2016). Las condiciones únicas de los países latinoamericanos hacen que concentre investigaciones en alianza con instituciones de otros países potencia en Microencapsulación por Spray drying. Entre esos países se destacan la República Popular China, Reino Unido, España, Corea del Sur y Estados Unidos (**Singh et al., 2010**).

Determinar la extensión y el nivel de aplicación de la técnica de secado por aspersion en América Latina representa un punto de partida para los investigadores nacionales e internacionales con el fin de identificar oportunidades y retos dentro de su contexto local con su actual disposición de materias primas y productos susceptibles de mejora a partir de la microencapsulación, especialmente con el objetivo de aumentar la estabilidad de los compuestos encapsulados y extender su tiempo de vida. Con el análisis de las investigaciones publicadas en los últimos 5 años, se espera que los resultados generados sean valiosos y de alto impacto para la comunidad internacional. Saber que esperar de los presentes avances dará perspectivas del futuro desarrollo y expansión de la microencapsulación por secado por aspersion, así como los retos que hay que afrontar. Industrias e investigadores internacionales expertos en Microencapsulación por Spray drying tendrán información concreta de oportunidades de investigación, desarrollo y crecimiento en industria alimenticias, farmacéuticas y similares a lo largo de las naciones latinoamericanas.

1.2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA PRELIMINAR

1.2.1. Microencapsulación

La encapsulación es el proceso en que partículas (sólidas, líquidas o gaseosas) son cubiertas con un material que puede formar una película o membrana polimérica porosa conteniendo la sustancia activa o de interés (**Bakry et al., 2016**). El resultado final son pequeñas cápsulas (diámetro entre 50nm y 2mm) conformadas por un núcleo rodeado de un material de pared, que en conjunto tienen nuevas propiedades fisicoquímicas útiles para distintos propósitos (**Singh et al., 2010**). Los términos encapsulación y microencapsulación suelen usarse indistintamente.

Este proceso es especialmente utilizado e investigado en la Industria de alimentos y similares. El interés existe debido a que la acción de formar una barrera funcional entre

el material núcleo y el material de pared permite prevenir procesos de oxidación iniciados por humedad, oxígeno, iones metálicos y calor. Por ende, la microencapsulación brinda al material núcleo de un nivel de protección que ayuda a la conservación de propiedades biológicas, funcionales y fisicoquímicas; esto convierte a este proceso en una prioridad de investigación para conseguir mantener las propiedades de los alimentos por tiempos más largos (**Bakry et al., 2016**).

1.2.2. Secado por aspersión (Spray drying)

El secado por aspersión es uno de los métodos más populares para encapsular. Esto se debe a su bajo costo e idoneidad para trabajar con materiales lábiles a escala industrial. Con este secado es posible disolver o suspender un material activo dentro de una solución polimérica, quedando atrapado como partícula seca (**Bakry et al., 2016**).

Este proceso empieza con la disolución en agua de los materiales de encapsulamiento junto al contenido del núcleo y así obtener una emulsión que será tratada a una temperatura de entre 100-300 °C. Las altas temperaturas removerán el agua y el producto final podrá encontrarse de forma granulada o como partículas aglomeradas; esto dependerá de las condiciones de operación y los materiales usados (**Mohammed et al., 2020**).

El proceso en general se puede representar en cuatro etapas. Comienza con la atomización del flujo de entrada, donde la emulsión inyectada se convierte en gotas uniformes; seguidamente ocurre el secado con aire que ocurre cuando existe contacto entre el aire caliente y el líquido atomizado. El siguiente paso consiste en la formación de partículas por convección, obteniendo un caparazón seco. Finalmente se separa el producto del aire de secado, obteniendo partículas esféricas con tamaños de entre 10 a 100 micrómetros (**Mohammed et al., 2020**).

Es considerada como una de las técnicas más usadas para encapsulación de aceites y existen varios casos de éxito en su eficiencia para encapsular varios tipos de aceite en la industria alimenticia (**Reyna et al., 2015**). Cabe destacar que también hay reportes alentadores del uso de esta tecnología en aceites para otras aplicaciones como cosméticas, farmacéuticas y hasta pesticidas (**Bakry et al., 2016**).

1.2.3. Condiciones de Operación y Optimización del proceso Spray drying

Una consideración importante en cualquier proceso de secado por aspersión es conseguir la mayor eficacia posible para disminuir pérdidas a niveles mínimos y que todos los recursos de entrada se aprovechen al máximo. Dentro de los aspectos a considerar están el obtener una alta eficiencia de encapsulación y alta calidad de las partículas obtenidas. Estos objetivos pueden obtenerse ajustando los parámetros de operación hasta llegar a niveles óptimos. Una influencia directa sobre la eficiencia de encapsulado es el tipo y características de los materiales tanto de núcleo como de pared. Entre otras influencias que inciden en el proceso son las propiedades de la emulsión de entrada. Dentro de la operación, las condiciones a considerar incluyen la temperatura de entrada y salida, la humedad, velocidad del flujo de aire y el tipo de atomización (Mohammed et al., 2020).

1.2.3.1. Temperaturas de entrada y salida

Son importantes de controlar para mantener la estabilidad e integridad de las emulsiones. Por lo general, los procesos de secado por aspersión trabajan en un rango de temperatura de entrada de entre 150-220 °C; con esas temperaturas es suficiente para provocar evaporación instantánea. Si se escoge temperaturas muy bajas habrá aglomeración de las cápsulas, mientras que muy altas pueden causar grietas en la membrana de las cápsulas que causen el escape del material núcleo. Para cada tipo de aceite se debe investigar el rango temperatura más adecuado, reportándose que para distintos tipos de aceite existe una variación del rango óptimo (Mohammed et al., 2020).

1.2.3.2. Calidad de la emulsión

La relación-proporción de los materiales de pared, el agua y el aceite en estudio es una prioridad para optimizar para cada tipo de aceite, ya que solo un cierto rango de proporción entre los materiales será útil para obtener la mejor calidad de encapsulado (Mohammed et al., 2020).

1.2.4. Materiales encapsulantes o de recubrimiento

El Material de encapsulamiento, de pared o transportador consiste en la capa que recubre al o los compuestos de interés con el objetivo de ofrecer protección contra factores ambientales que aceleren su degradación (**Mohammed et al., 2020**).

La elección de un material que recubra las cápsulas es crítica, debido a la influencia directa que ejerce sobre la estabilidad, nivel de protección y la velocidad de liberación del compuesto en el núcleo. Por ello, se busca que los materiales puedan ser compatibles con una variedad de compuestos y ofrecer protección ante la degradación química debido a oxidación o hidrólisis. Además, deben tener influencia mínima en la calidad del producto final. Entre las propiedades importantes a tomar en cuenta para determinar que material es apto como encapsulante son su grado alimenticio, biodegradabilidad, insípido, barato, soluble en disolventes comunes, sin reacción con el material núcleo, baja higroscopicidad, buen emulsificante y funcionar con estabilidad, e impermeabilidad cuando actúa como encapsulante (**Mohammed et al., 2020**).

En el caso de la encapsulación de aceites, se prefiere trabajar con materiales de naturaleza hidrofílicos, entre los que se pueden mencionar compuestos como la goma arábiga y la maltodextrina. Se prefiere este tipo de materiales para que sea fácil su incorporación en la formulación de emulsión a ser sometida a secado por aspersion (**Amaya-Cano & Salcedo-Galán, 2020**).

1.2.4.1. Grupos de materiales encapsulantes

Se puede identificar carbohidratos, gomas, proteínas y lípidos o ceras entre los tipos de compuestos más utilizados para la encapsulación. Entre los carbohidratos se puede nombrar maltodextrinas, almidón y similares, alginato, sacarosa, carboximetilcelulosa, ciclodextrinas, jarabes de maíz, entre otros. Los tipos de goma que se destacan son la goma arábiga, alginato de sodio, carragenina y mezquite. Lípidos y ceras de uso común en encapsulación son los mono y diglicéridos, parafinas, grasas y el ácido esteárico. Finalmente entre proteínas encapsulantes se encuentran la gelatina, caseinatos, suero de leche, proteína de soya, gluten y caseína (**López Hernández, 2010**).

Se destacan los carbohidratos y proteínas dentro de la encapsulación mediante secado por aspersion, mientras que los lípidos son mucho más usados con otras técnicas de

microencapsulación. Carbohidratos y proteínas suelen ser usados en mezcla ya que esto mejora las propiedades emulsificantes y la capacidad para formar películas protectoras (**Amaya-Cano & Salcedo-Galán, 2020**).

Entre materiales destacados se puede mencionar el alginato, que es uno de los materiales más estudiados para estos propósitos. Se ha comprobado que su uso es versátil para varias técnicas de encapsulación y provee propiedades a las cápsulas que las hacen ideales para uso en diversas industrias (**Martins et al., 2017**).

1.2.5. Aceites

La definición general de aceite es cualquier tipo de sustancia no polar que se encuentra en estado líquido a temperatura ambiente, es viscoso y es considerado hidrofóbico. Los tipos de aceite a los que se refiere esta investigación son aquellos provenientes del procesamiento de especies vegetales, y entre ellos se pueden mencionar los denominados aceites vegetales y los aceites esenciales (**Mohammed et al., 2020**).

Los aceites vegetales son los aceites extraídos desde semillas o cualquier otra parte de una planta; en su mayor parte están compuestos por una mezcla de triglicéridos. Este tipo de aceites se usan extensivamente en la manufactura de una gran variedad de productos con distintos usos. Los métodos de producción de estos aceites es muy variado ya que existen un gran número de métodos físicos y químicos para ello, entre los que se pueden mencionar la extracción mecánica y la extracción con disolventes (**Serna & Santa, 2018**).

Los aceites animales por lo general provienen del procesamiento de órganos de especies marinas. Es popular la extracción de aceite del hígado de especies como el bacalao y el tiburón. Estos aceites son de especial utilidad por su alto contenido de ácidos grasos omega 3, que en aceites vegetales suele estar presente en menores concentraciones (**Vaucher et al., 2019**). El aceite de hígado de tiburón tiene reportados varios beneficios para la salud humana gracias a su contenido de vitaminas y ácidos grasos, por lo que es codiciado para aplicaciones farmacéuticas. Un problema que surge por la naturaleza volátil de sus componentes es que las condiciones de conservación deben ser observadas cuidadosamente para asegurar la estabilidad de los compuestos (**García et al., 2018**).

Por otro lado, los llamados aceites esenciales son considerados líquidos hidrofóbicos con gran concentración de compuestos volátiles provenientes de plantas. En muchas ocasiones se suele referir a estos aceites solo acompañando la palabra aceite con el nombre de la planta del cual fue obtenido. La palabra esencial se refiere a que este aceite contiene la esencia de la fragancia característica de la planta origen; no se debe confundir que la palabra esencial se refiera al hecho de que sean indispensables de consumir por parte de los organismos vivos. El principal método por el que se puede obtener estos aceites es por destilación, generalmente por arrastre con vapor de agua, aunque también se pueden obtener por extracción con disolventes o extracción mecánica manual. Sus propiedades los hacen atractivos para su aplicación en productos de higiene personal, cosméticos y como aditivo alimenticio para aportar sabor y en productos de limpieza aportando su olor **(Pino & Aragüez, 2021)**. Las actividades antibacteriales y antioxidantes de este tipo de aceites han despertado el interés para acelerar su adaptación para su uso en matrices alimenticias actuando como preservantes de origen natural. Sin embargo, su naturaleza volátil y alta sensibilidad a factores externos limitan su uso apropiado en formulaciones alimenticias. Estas desventajas han provocado que existan pocas aplicaciones reportadas de estos aceites encapsulados como ingrediente alimenticio, pero los avances de técnicas promisorias como la encapsulación de estos aceites puede revertir la situación actual de sus usos **(Veiga et al., 2019)**.

Los aceites vegetales, de amplia diversidad con respecto a composición química, en forma encapsulada presentan mejoras en su estabilidad y sus formulaciones aumentan su tiempo de vida en percha **(Li et al., 2014)**. Para los aceites esenciales, generalmente muy volátiles, es una gran ventaja poder aumentar su estabilidad y conservar su composición original gracias a la microencapsulación. Estos aceites son una mezcla compleja de compuestos que desprenden un fuerte olor característico y que tienen como origen el metabolismo secundario de plantas aromáticas. Esas características hacen de estos aceites potenciales candidatos para reemplazar aditivos sintéticos en la industria de alimentos, por lo que la encapsulación es clave para limitar su degradación y controlar su disolución cuando sea necesario **(Puentes et al., 2017)**.

Muchos de los aceites que son actualmente utilizados en industrias químicas y alimentarias, así como los que tienen potencial de convertirse en ingredientes de

nuevas formulaciones, se pueden producir extensivamente en varios países latinoamericanos. Un ejemplo claro es el aceite de palma, del que según análisis de imágenes satelitales para 2017 existen aproximadamente 342032 ha de plantaciones a lo largo de Latinoamérica (**Furumo & Aide, 2017**).

Así también, en los países de Latinoamérica se pueden encontrar especies vegetales ampliamente utilizadas para la obtención de aceites esenciales tal como *Aspilia Africana*, de mucha importancia para nuevas formulaciones farmacéuticas (**Osuntokun & Ogunleye, 2017**). Esta clase de aceites son de los más volátiles y por lo general el tiempo que lleva a su degradación es muy corto, por lo que no pueden durar mucho expuesto a las condiciones ambientales. Es por eso que es fundamental la aplicación de técnicas que permitan mejorar su estabilidad y así dar facilidades para su uso en aplicaciones de todo tipo, en especial alimenticias (**Pino & Aragüez, 2021**).

1.2.6. Beneficios reportados de la encapsulación de aceites

Estudios con distintos tipos de aceite han confirmado que la microencapsulación tiene un impacto positivo en aumentar el tiempo de conservación de los principios activos de los aceites (**K. C. Pereira et al., 2018**). La técnica es actualmente aplicada para todo tipo de aceites. Aceites marinos contienen ácidos grasos poliinsaturados esenciales (ω -3 y ω -6) altamente beneficiosos para la salud humana y el desarrollo temprano de niños (**Li & Diosady, 2012**). Las Microcápsulas más grandes son usualmente más estables por la baja proporción entre superficie y volumen, y por ende una superficie menor de aceite. Sin embargo, su incorporación en productos alimenticios presenta dificultades como baja solubilidad en agua, oxidación y cambio de sabor. Una solución para disminuir estos efectos secundarios es la aplicación de la microencapsulación con recubrimientos de sodio carboximetilcelulosa que brindan protección a los ácidos grasos frente a su oxidación y aumentan su solubilidad (**Neufeld et al., 2017**). Aceites de microalgas, con alto contenido de carotenoides, pueden ser encapsulados en matrices de gelatina y goma arábiga con lo cual pueden regularse la velocidad de degradación dentro de un organismo vivo.

1.2.7. Desafíos en la encapsulación de aceites funcionales

Gran parte de los Aceites funcionales son inestables y altamente sensibles al deterioro. La oxidación ocurre rápidamente en contacto con oxígeno; luz y altas temperaturas

también son factores importantes en el deterioro. Ácidos grasos poliinsaturados son especialmente sensibles a la oxidación en comparación con otros ácidos grasos. Incluso cuando se encapsula este tipo de aceites, quedan muchos desafíos que deben ser afrontados **(Pino & Aragüez, 2021)**. Por ejemplo, el mismo proceso de encapsulación mediante secado por aspersión causa oxidación por las altas temperaturas, y el contacto con el aire dentro de la cámara de secado.

Otros retos son el encontrar materiales de pared con solubilidad en agua y viscosidad apropiada para cada proceso. Otro punto es la elección de emulsificantes eficientes que brinden una emulsión estable y de buena calidad. La cantidad permitida a ingresar de aceite en partículas es también una limitante al variar entre 20 % y 30 %, lo que rara vez alcanza el 50 % **(Pino & Aragüez, 2021)**.

Frente a los retos existen también estrategias viables para aplicar efectivamente el secado por aspersión para extender la vida de percha de los productos encapsulados. Esto se lograría al añadir otros gases como nitrógeno, compuestos como antioxidantes naturales en la emulsión primaria, aplicación de aire seco, secar a temperaturas menores, diferentes combinaciones de materiales de pared y optimización de los parámetros de operación **(Pino & Aragüez, 2021)**.

1.2.8. Aplicaciones innovadoras de aceites encapsulados

Ejemplos de aplicaciones novedosas de aceites encapsulados incluyen el uso de mezclas de aceites como forma de alimentos encapsulados para larvas de pescado **(Saenz de Rodrigáñez et al., 2018)**. En la elaboración de productos lácteos también se ha aplicado el uso de aceites de encapsulados con el objetivo de dotar a la mezcla una característica deseada **(Villamil et al., 2020)**.

La búsqueda y prueba de nuevos polímeros para la encapsulación de materiales también ha despertado gran interés. Esto debido a que existe la necesidad de seguir probando nuevas combinaciones que mejoren considerablemente la calidad y cantidad de aceite que se pueda encapsular **(Froio et al., 2019)**. También hay reportes de extracción de compuestos con aceites, para después encapsular el extracto **(Plazola-Jacinto et al., 2019)**.

Compuestos degradables como los carotenoides dependen de técnicas como la encapsulación para desacelerar su degradación. Los compuestos de pared para las

cápsulas tienen diferente capacidad para proteger cada tipo de compuesto. Ejemplo de ello es que para los carotenoides se ha comprobado que la maltodextrina es el material que más provee de protección a estos compuestos (**Eun et al., 2020**).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

- Determinar la actual situación de la microencapsulación mediante secado por aspersión de aceites en los países de América Latina, y sus oportunidades de crecimiento y desarrollo junto a países desarrollados líderes en Microencapsulación.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Identificar los países de Latinoamérica con mayor nivel de desarrollo e investigación en aplicación de microencapsulación por secado por aspersión de aceites.
- Investigar sobre los tipos de aceites donde más se aplica la microencapsulación por secado por aspersión en Latinoamérica y los que cuentan con investigaciones que indiquen evidencia concreta de posibles beneficios en su estabilidad por efectos de la encapsulación.
- Analizar el grado de implementación a escala industrial de la microencapsulación por secado por aspersión para varios tipos de aceite en Latinoamérica, y lo necesario para que continúe el crecimiento de la aplicación de esta técnica.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. MÉTODOS

Se trabajó bajo el tema de Microencapsulación de aceites mediante Secado por Aspersión en Latinoamérica. Se sustenta el estudio de este tema bajo la necesidad de analizar el estado actual de la técnica, aplicaciones actuales y las oportunidades a futuro (Snyder, 2019).

2.1.1. Bases de datos digitales consultadas

La revisión bibliográfica se realizó en junio de 2021. Se analizaron los artículos dentro de los años 2016-2021, utilizando las siguientes bases de datos: ScienceDirect, Scopus, SciElo, Wiley y la asistencia de los buscadores académicos Google Scholar y Microsoft Academic (Snyder, 2019). La revisión se realizó con las palabras clave en español e inglés: “oil (aceite)”, “microencapsulation (microencapsulación)”, “Latin America (Latinoamérica)”, entre otras relacionadas al tema de encapsulación de aceites. Las ecuaciones de búsqueda utilizaron las palabras clave antes mencionadas utilizando los operadores booleanos AND, OR y NOT (Rios-Aguirre & Gil-Garzón, 2021).

2.1.2. Organización de la información

Para la organización de la información se contó con la ayuda de gestores de referencias bibliográficas como Mendeley, software que permite mantener una organización coherente y personalizada de la información recolectada (Snyder, 2019).

2.1.3. Criterios para la elegibilidad

Durante el análisis cualitativo de la información se tomaron en cuenta las publicaciones con mayor relevancia e impacto de acuerdo con el número de citas, el prestigio de la revista, y fecha de publicación tomando como prioridad las más recientes. Mediante análisis con lectura crítica y software se identificaron los aportes más importantes de cada trabajo consultado para considerarlos para su presentación en el trabajo de investigación (Snyder, 2019).

2.1.4. Criterios para inclusión

Se filtraron los resultados siguiendo los criterios de si cumplía con las condiciones de estar estrictamente relacionado a la microencapsulación de aceites donde hubo participación de Universidades o Centros de Investigación de los países de Latinoamérica. Todos los estudios seleccionados fueron publicados durante los últimos 5 años (2016-2021). La mayoría de las publicaciones seleccionadas están escritas en el Idioma Inglés, mientras que el resto se encontraban redactadas en español o contaban con una traducción oficial desde el portugués hacia el español o inglés.

2.1.5. Criterios para exclusión

No se incluyó ningún trabajo que no cumplía con las condiciones y criterios de inclusión establecidos. Tampoco se incluyó ningún resultado de trabajos de graduación.

2.1.6. Estructura de la información y datos recopilados

Se estructuró el trabajo de forma coherente, cohesiva y organizada en cumplimiento del formato establecido por la Universidad Técnica de Ambato y la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Recomendaciones y modelos internacionales reconocidos se tomaron en cuenta para presentar la información recabada y analizada.

2.1.7. Definición del problema

El estado de la técnica de secado por aspersión necesita un estudio relevante sobre las experiencias en los distintos países de Latinoamérica y sus dinámicas únicas de desarrollo y experimentación de la técnica.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

3.1. ANÁLISIS DE LA LITERATURA

3.1.1. ACEITES VEGETALES Y ANIMALES

3.1.1.1. Hígado de Tiburón

Investigaciones con aceite de hígado de tiburón encapsulado se han realizado a escala de laboratorio utilizando los agentes encapsulantes goma arábica y maltodextrina. El enfoque del estudio fue determinar los efectos de la variación en la proporción entre goma arábica y maltodextrina mediante un diseño mixto. Otros parámetros evaluados fueron la velocidad de liberación de Vitamina A con análisis por HPLC, eficiencia de encapsulación, pérdidas en el secado, morfología de las superficies de las cápsulas y el tamaño de las partículas obtenidas. Los resultados globales obtenidos con aceite de hígado de tiburón, conseguido de un centro de investigación pesquero, demostraron que durante la etapa de secado cambios en la proporción de los materiales encapsulantes pueden tener efectos negativos en la eficiencia de encapsulación, y que una proporción conformada de 47 % goma arábica y 23 % de maltodextrina rendía los mejores resultados en eficiencia de encapsulación y en mantener bajos contenidos de humedad. Este bajo contenido de humedad es importante para aumentar el tiempo de duración en percha del producto. Además, con el proceso de encapsulación se logró enmascarar olor y sabor del aceite y se dio mayor estabilidad al aceite. Con respecto a la liberación de vitamina A, el proceso de encapsulación no tuvo un efecto significativo en la velocidad de su liberación. Esto indica que el proceso de encapsulación puede usarse sin temor de afectar las características originales de la vitamina A (**García et al., 2018**). Estudios posteriores con el mismo aceite, donado por un centro de investigación pesquero cubano, demostraron la homogeneidad en las propiedades del aceite de hígado de tiburón encapsulado al no detectar cambios significativos en el contenido de vitamina A, ácido palmítico, ácido oleico, ácido esteárico y ácido linoleico después de la microencapsulación. Además, mediante repetición se comprobó que el proceso de encapsulación es reproducible tanto en escala de laboratorio como Industrial. Las emulsiones de aceite y agentes encapsulantes también se evaluaron para comprobar su estabilidad a temperatura ambiente y en refrigeración,

de emulsiones con aceite de hígado de tiburón, goma arábica y maltodextrina. Las pruebas de resistencia que se realizaron fueron de estrés térmico y desestabilización por centrifugación. El estudio llegó a la conclusión que sin importar las condiciones de almacenamiento y de estrés, las emulsiones mantuvieron su estabilidad. Como parte del estudio, el aceite microencapsulado fue encerrado en cápsulas duras logrando una estabilidad en percha por hasta 24 meses sin efectos significativos sobre la vitamina A y los ácidos grasos del aceite (Peña et al., 2021).

3.1.1.2. Pescado

Aditivos como la lecitina se han probado con efectividad para mejorar la acentuación de emulsiones con aceite de pescado. La investigación no específica la especie de la cual fue obtenido el aceite, que fue provisto por una empresa productora local de Chile. Se evaluó eficiencia de encapsulación de emulsiones de aceite de pescado en etanol con y sin lecitina, en comparación con emulsiones de aceite de pescado, agua y lecitina. El agente encapsulante fue la hidroxipropilcelulosa (HPC), y las emulsiones fueron preparadas con la ayuda de un homogeneizador de rotor. El etanol se utilizó como reemplazo del agua gracias a la posibilidad de usarlo en formulaciones alimenticias y sus propiedades como disolvente. Las pruebas a escala de laboratorio encontraron que entre las proporciones probadas, una relación 1:4 de HPC y emulsión respectivamente rindió los mejores resultados en todos los casos. El análisis de la mejor mezcla de emulsión para obtener la mayor eficiencia de encapsulación determinó que la emulsión con aceite, etanol y lecitina fue la mejor con un valor de 81,1 %. Es posible que estos resultados se dieron debido a la baja temperatura de ingreso en la operación y el uso de nitrógeno para secar la mezcla, aunque también se debe tomar en cuenta el efecto positivo de la lecitina al formar una capa física que protege del paso del oxígeno (Encina et al., 2018). Otras investigaciones han experimentado con aceite de pescado encapsulado con matrices de goma arábica junto a maltodextrina y caseína-pectina también con maltodextrina. Un punto importante del estudio fue también evaluar los efectos provistos por una mezcla con función antioxidante de ácido ascórbico, lecitina y tocoferol. La especie de las que se obtuvo del aceite tampoco fue especificada en este estudio, y fue donado un laboratorio productor. El estudio se dio a escala de laboratorio, ocupando los métodos de secado por aspersion y una combinación de este método con coacervación compleja. Para la preparación de emulsiones se ocupó un

agitador mecánico. La mezcla caseína-pectina mostró los mejores resultados para ralentizar la oxidación de lípidos presentes en el aceite de pescado, pero cabe mencionar que la adición de un agente antioxidante junto a esta mezcla no mejoró significativamente la protección al núcleo de aceite (**Vaucher et al., 2019**).

3.1.1.3. Maíz (*Zea mays* L.)

Se realizó un experimento donde β -caroteno disuelto en aceite comercial de maíz emulsificado mediante microfluidización por 60 días. Se buscó examinar que tan bien el tamaño de las gotas de la emulsión se ajustaba para ser adecuada para pasar por encapsulación mediante secado por aspersión. La matriz de biopolímeros conformada por maltodextrina DE 20 y goma arábica en forma de emulsión junto al caroteno y el aceite mostró que a pesar del tiempo transcurrido, el tamaño de las partículas aún era ideal para su encapsulación (**Villalobos-Castillejos et al., 2017**).

3.1.1.4. Ajonjolí (*Sesamum indicum* L.)

Estudios con el aceite de ajonjolí y su encapsulación se han realizado a escala piloto usando los biopolímeros encapsulantes goma de mezquite (66 % w/w) y maltodextrina DE10 (34 % w/w). El objetivo principal fue determinar cómo optimizar el proceso de encapsulación. El aceite fue obtenido mediante prensado frío a temperatura ambiente de alrededor de 20 °C, y las emulsiones fueron preparadas con la asistencia de un homogeneizador mecánico. Parte del enfoque de este estudio se dedicó a estudiar la integridad del ácido linoleico presente en el aceite antes y después de la microencapsulación. Tras el análisis estadístico de las mejores condiciones de operación, tal como temperatura de ingreso a secado a 154 °C y una proporción 2,59:1 de material de pared y núcleo respectivamente, se logró obtener un máximo de eficiencia de encapsulación de 88,02 % y una buena retención de ácido linoleico (50,02 %). De esta forma se probó la capacidad de mejorar la conservación de aceite de sésamo junto a su contenido de ácido linoleico en una forma adecuada para ser incluida en formulaciones alimenticias (**Fuentes-Ortega et al., 2017**). Con este aceite se ha probado a escala semi industrial novedosos materiales de pared como el mucílago de semilla de tamarindo. Al igual que en la anterior investigación, el aceite se obtuvo por prensado en frío de las semillas de ajonjolí. Se evaluaron proporciones de 1:1 y 1:2 entre el material de pared y el núcleo respectivamente; las emulsiones producidas se homogeneizaron con la ayuda de equipo mecánico de rotor. Tras las pruebas

realizadas, se corroboró las ventajas que el mucílago brindaba en la estabilidad térmica y eficiencia en proteger al aceite de sésamo frente a procesos de oxidación. Los resultados ponen a este tipo de mucílago como un material de pared promisorio y eficaz en proteger de la oxidación a aceites (**Alpizar-Reyes et al., 2020**).

3.1.1.5. Uva y semilla de uva (*Vitis* spp.)

El uso de goma arábica como agente encapsulante, a pesar de ser un material ideal para el secado por aspersión, tiene limitaciones principalmente por su alto costo monetario. Por ello, muchas veces los investigadores tratan de experimentar con varias mezclas de materiales encapsulantes. En investigaciones a escala de laboratorio con aceite de uva, obtenido por extracción asistida por ultrasonidos, se probó una de estas mezclas en proporción 50:50. Las emulsiones de goma arábica y de mezcla goma arábica y maltodextrina fueron homogeneizadas en equipos de rotor-estator. Se observó que la adición de maltodextrina a la mezcla con goma arábica no tuvo un impacto significativo en la capacidad de proteger los compuestos volátiles del aceite. Además se observó una mayor actividad oxidante y un valor de peróxido más bajo que usando solo goma arábica, aunque cabe resaltar que el proceso de encapsulación si afectó negativamente el contenido total de fenoles (**Böger et al., 2018**). Por otra parte, otras investigaciones buscaron proteger el contenido de ácidos grasos insaturados del aceite de semilla de uva, este último obtenido mediante una empresa productora mexicana. Esto mediante microencapsulación a escala piloto con novedosas matrices poliméricas de proteínas del lactosuero y pectina de tejocote. Las emulsiones resultantes con estos materiales, homogeneizadas por método mecánico de agitación, tenían un menor tamaño de las gotas, lo cual ayuda a la estabilidad junto a matrices alimentarias. Se evidenció que el uso de estos biopolímeros brindan un buen nivel de protección al aceite encapsulado, lo que los convierte en potenciales alternativas a otros agentes más costosos (**Cuevas-Bernardino et al., 2019**).

3.1.1.6. Palma (*Elaeis* spp.)

Uno de los aceites más producidos en la región de Latinoamérica es el aceite de palma, y el interés por evaluar los efectos y aplicaciones de su encapsulamiento han dado lugar a varios estudios. Se analizó a escala piloto la influencia del suero de leche en nanoemulsiones de aceite de palma, obtenido por donación de una asociación de cultivadores, a ser encapsulado mediante secado por aspersión. Como factores críticos

determinados durante la investigación estuvo la proporción del material de pared y del núcleo, además del tipo de sistema de atomización utilizado. Las emulsiones fueron homogeneizadas por métodos mecánicos de agitación y subsecuentemente tratadas con microfluidizador, obteniendo así nanoemulsiones. Una vez analizados los resultados, se observó que el uso del suero de leche logró mejorar la estabilidad del producto final de micropartículas, gracias a que permitía la formación de enlaces cruzados entre el aceite y las proteínas presentes en este material de pared (**Ricaurte et al., 2017**). La encapsulación de este aceite puede abrir muchas puertas a nuevas oportunidades de usos innovadores de este aceite en forma de polvo para enriquecimiento de formulaciones alimenticias (**Serna & Santa, 2018**).

3.1.1.7. Semillas de Cucurbita (*Cucurbita moschata* Duchesne)

Se ha probado a escala laboratorio la encapsulación de aceite de semilla de cucurbita, obtenido por prensado frío, en matriz combinada de maltodextrina y goma arábica. El enfoque se centraba en probar los factores de concentración de maltodextrina DE 10 al 5, 10 y 15 % w/w frente a un valor constante de 10 % w/w de goma arábica, además de probar 3 temperaturas de entrada 140, 160 y 180 °C. Las emulsiones se prepararon con carga de 10 % w/w del aceite de semilla de cucurbita y homogeneizadas con un equipo rotor/estator. Tras el análisis se determinó que un 15 % w/w de maltodextrina y una temperatura de entrada de 172 °C eran las condiciones óptimas para obtener el valor máximo de eficiencia de encapsulación de 77,4 %. Con los resultados pudieron concluir que las características del producto final convierten a este aceite encapsulado en un potencial candidato para ser considerado una buena opción a usar en formulaciones alimenticias (**Pino et al., 2019**).

3.1.1.8. Mora (*Rubus glaucus*)

De la mora y su aceite han existido estudios de su extracción con dióxido de carbono supercrítico y su posterior microencapsulación a escala de laboratorio. Se probaron los materiales de pared masterdry (mezcla de almidones modificados junto a goma arábica), maltodextrina y goma arábica. A las emulsiones se les agregó el emulgente Tween 20, y fueron homogeneizadas por un agitador mecánico. El perfil general de ácidos grasos del aceite logró conservarse muy bien con la goma arábica y las cápsulas obtenidas presentaron una superficie continua y ausencia de porosidades. Los resultados de estas pruebas mostraron que el uso del agente encapsulante goma arábica

brindó los mejores resultados gracias a sus propiedades como emulsificante y formadoras de película. El éxito de la encapsulación dio a sugerir que los encapsulantes utilizados cumplieron con el objetivo de proteger los componentes del aceite y conservar sus niveles de ácidos grasos satisfactoriamente (**Martínez et al., 2016**).

3.1.1.9. Pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.)

Aceite de especies endémicas de Brasil como el pequi han sido sujetas a experimentación para observar los efectos de su encapsulación. Probando con matrices de goma arábica, maltodextrina DE05 y una mezcla de 1:3 w/w mayoritariamente de Mmaltodextrina, se encapsuló a escala de laboratorio el aceite de pequi obtenido comercialmente. En los resultados se observó que con la goma arábica el aceite encapsulado presentó la más baja actividad de agua y mejor capacidad antioxidante, con maltodextrina se alcanzó el nivel de eficiencia más alto, y con la mezcla de los dos las gotas del menor tamaño. Se destaca el hecho de que en todos los casos no hubo variación en el contenido de humedad. En general, los materiales y la mezcla utilizada como agentes de encapsulación permitieron obtener resultados satisfactorios en eficiencia de encapsulación, actividad y humedad. Estas características hacen de esta formulación encapsulada un candidato ideal para su uso en el sector alimentario gracias a su estabilidad y sus buenas características para durar mayores tiempos en almacenamiento (**Santos et al., 2020**).

3.1.1.10. Chía (*Salvia hispanica* L.)

Emulsiones en agua de aceite de chía han sido sujetas a estudios de evaluación de diferencias en el rendimiento de encapsulación a causa de la aplicación de distintos métodos de homogeneización de emulsiones antes del secado por aspersión; en este caso se estudió los métodos de homogeneización de ultrasonido y de rotor-estator. Para el estudio se usó aceite obtenido por prensado frío de semillas de chía y la encapsulación se llevó a cabo solo a escala de laboratorio. Una vez obtenidos los resultados de las pruebas, se observó que la homogeneización asistida por ultrasonido de las emulsiones de aceite chía mejoraba las características de la emulsión como menor tamaño de las gotas y mayor estabilidad, lo que consecuentemente se tradujo en mejoras a la eficiencia de microencapsulación registrándose valores alrededor del 90 %. Se debe tomar en cuenta que el tiempo de sonicación es un factor fundamental para obtener los mejores resultados, ya que se observó que un minuto de sonicación

no fue suficiente. De esta manera se llegó a la conclusión de que si se juntan y optimizan todas las condiciones de operación probadas en la investigación para encapsular aceite de chía, rico en omega-3, se pueden lograr buenos rendimientos de encapsulación y micropartículas estables al mismo tiempo que se mantienen bajos costos económicos, características ideales para empezar su aplicación industrial (Alcântara et al., 2019). Con este aceite también se han evaluado matrices compuestas por una mezcla de concentrado proteínico de suero de leche, aislado de proteína de soya y goma arábiga en una proporción en relación con peso w/w 8/1/1 respectivamente. En el estudio se ocupó aceite obtenido por prensado con tornillo en frío, y las emulsiones fueron preparadas con la ayuda de un homogeneizador rotor/estator para posteriormente inducir un proceso de coacervación. Tras la encapsulación llevada a cabo a escala de laboratorio mediante secado por aspersion y también por congelamiento, se observó que el secado por aspersion permitió obtener los mejores resultados gracias a que rendía cápsulas con la menor cantidad de poros comparado con la técnica de congelamiento. Otro aspecto importante de la experimentación es que se comprobó que llevar a cabo procesos de coacervación puede también contribuir a la protección del aceite frente a procesos de oxidación. Finalmente, la experimentación con los materiales de pared demostró que la matriz ternaria que fue empleada es adecuada para encapsular este tipo de aceite (Bordón et al., 2020).

3.1.1.11. Moriche o morete (*Mauritia flexuosa*)

La encapsulación de aceites ricos en carotenoides como el de moriche ha sido evaluado utilizando como agentes encapsulantes complejos de proteína de garbanzo y pectina de alto metoxilo, acompañados de jarabe de glucosa. El aceite utilizado fue adquirido comercialmente, y en este caso especial se tuvo que ajustar a la emulsión a un pH 3 con buffer citrato-fosfato debido a la existencia de interacción electrostática entre los biopolímeros. Las emulsiones resultantes se prepararon con la ayuda de homogeneización por agitación con un equipo rotor-estator y subsecuentemente por método de alta presión. Tras las pruebas a escala de laboratorio, se determinó que las mejores condiciones para la encapsulación eran con una temperatura de encapsulación a 160 °C y un flujo de entrada de 2 mL/min, condiciones que rindieron cápsulas con la menor cantidad de deformaciones, menor humedad y mejor eficiencia de encapsulación. Los resultados son prometedores con respecto a la capacidad de este

método de proteger a los compuestos sensibles como los carotenoides del aceite de moriche (**Moser et al., 2019**).

3.1.1.12. Soya (*Glycine max*)

Con el aceite de soya se ha experimentado el mejoramiento de la eficiencia energética de su microencapsulación mediante secado por aspersion. Para ese propósito, la temperatura del aire caliente de entrada y el flujo de aire sirvieron como los parámetros para evaluar si cambios en aquellas variables lograr mejorar la eficiencia energética del proceso y a la vez permitir una encapsulación eficiente del aceite de soya, obtenido comercialmente. La formulación de la emulsión en agua consistió en 7,5 % de aceite de soya obtenido por prensa, 7,5 % de maltodextrina DE 5, y 22,5 % de almidón modificado; la encapsulación se llevó a cabo a escala de laboratorio. Tras las pruebas realizadas, se observó que a una temperatura de 130 °C y un flujo de aire más bajo utilizado (20 kg·h⁻¹) fueron suficientes para obtener una homogeneidad en la superficie de las cápsulas y la distribución de las partículas; esto a la vez que se evitó pérdidas de calor. Así, se logró mantener una buena efectividad del encapsulamiento a la vez que se ahorra en cuanto a consumo de energía (**James et al., 2019**).

3.1.1.13. Coco (*Cocos nucifera* L.)

La microencapsulación también ha sido probada para aceites como el de coco, cuyo contenido de ácido láurico y ácidos grasos de cadena corta lo hacen susceptible a degradación. Utilizando una escala piloto, se encapsuló aceite de coco comercial utilizando como agentes encapsulantes aislado de proteína de soya y maltodextrina DE-18; adicional a la mezcla se probaron los efectos que tiene la adición del emulsificante éster de sacarosa. Las emulsiones fueron homogeneizadas por agitación mecánica rotor/estator. Los resultados indicaron que el éster de sacarosa actúa como un excelente emulsificante y que las cápsulas obtenidas presentaron una morfología esférica sin grietas, lisas y con tamaños de entre 2,5 y 50 µm en diámetro; todo esto indica que la formulación rinde cápsulas de calidad capaces de proteger el aceite de coco. Estos resultados demuestran lo prometedor que puede ser esta formulación para mejorar los niveles de protección de los compuestos volátiles de este aceite (**Quispe et al., 2020**).

3.1.1.14. Sacha Inchi (*Plukenetia spp.*)

El aceite de sachá inchi comercial ha sido encapsulado con matriz de mezcla de goma arábiga y maltodextrina. Se realizó la encapsulación a escala de laboratorio y subsecuentemente a escala industrial ocupando las condiciones utilizadas que rindieron los mejores resultados a escala de laboratorio: temperatura de entrada 150 °C y 90 °C de salida, proporción 1:1 de los agentes encapsulantes maltodextrina y goma arábiga, y carga del 33 % de aceite. Los exámenes posteriores de las características de las cápsulas con aceite encapsulado demostraron que el perfil de ácidos grasos del aceite no cambió significativamente después de la encapsulación, por espectroscopía infrarroja se evidenció el correcto enmascarado del aceite y por microscopía electrónica se observó que la morfología de las partículas era esférica, con superficie lisa y sin poros, las cuales son características ideales para evitar la degradación por efectos externos. También se observó que, tras 26 semanas en almacenamiento, los niveles de humedad no aumentaron hasta el nivel de exceder el límite permisible. Se concluyó que las cualidades de las microcápsulas eran favorables para proteger las funciones del aceite de sachá inchi (**Pastuña, 2016**). Otros estudios evaluaron la estabilidad oxidativa de este aceite, el cual fue obtenido por prensado hidráulico de semillas de sachá inchi de dos ecotipos: *Plukenetia volubilis* y *Plukenetia huayllabambana*. Después de la encapsulación a escala de laboratorio, se comprobó que los porcentajes de humedad de las microcápsulas estaban dentro de los parámetros recomendados para productos deshidratados, y que entre todos los materiales de pared probados el almidón modificado Hi-cap dio los mejores resultados en estabilidad durante el tiempo de almacenamiento y también con aumento del tiempo de vida útil del aceite. Los resultados indican que la estabilidad oxidativa de este aceite puede aumentar al encapsularse, por lo que se debe continuar evaluando la estabilidad oxidativa del aceite a diferentes condiciones y optimizar el proceso (**Chasquibol-Silva et al., 2020**). También se han producido investigaciones enfocadas en el estudio de las fluctuaciones de la vida útil del aceite, obtenido por prensado hidráulico en frío, una vez encapsulado. A escala de laboratorio se procedió a encapsular al aceite con los agentes encapsulantes goma arábiga, maltodextrina, proteína aislada de leche y almidón Hi-cap. Las emulsiones en agua obtenidas fueron homogeneizadas con la ayuda de un equipo de agitación rotor/estator. Se encontró que los índices de peróxidos no superaron los límites permisibles hasta en 70 días, la estabilidad oxidativa

aumentaba dramáticamente tras la encapsulación y que el material de pared almidón Hi-cap brindó la mayor protección contra oxidación lipídica. Es claro que existe aumento en el tiempo de duración del aceite tras haber sido encapsulado comparado con el aceite sin encapsular (**Alarcón Rivera et al., 2019**). En la misma línea de investigación se ha logrado incluso mejorar aún más la protección contra la oxidación de aceite de sacha inchi obtenido por prensado frío gracias a la adición en el núcleo de extractos de cáscaras de frutas camu camu y mango; todo esto en comparación con otra mezcla con antioxidante comercial. Se utilizó como material de pared únicamente a la goma arábica, que se mezcló en la emulsión junto a extractos de cáscara de camu camu y mango para luego homogeneizar con la asistencia de un equipo rotor-estator, y finalmente secarse a escala de laboratorio. El resultado más trascendental de esta experimentación es que la adición de extractos aumenta la protección del aceite contra la oxidación; esto es prometedor para la posible utilización de este tipo de formulaciones en composiciones de alimentos funcionales y nutraceúticos (**Alarcón et al., 2020**). Con el aceite de sacha-inchi también han existido estudios sobre la influencia de la composición de la emulsión inicial con aceite. Se ocupó almidón Hi-Cap 100 junto con maltodextrina en una proporción 75:25 para los estudios a escala de laboratorio; se utilizó como emulsificante lecitina de soya y la preparación de las emulsiones fue asistida por agitación en un homogeneizador rotor-estator. Examinando los resultados se observó que la cantidad de aceite adicionado a la mezcla para secado afectó la calidad del encapsulado más que los tipos de materiales de pared utilizados, ya que con altas cargas de aceite la eficiencia de encapsulación disminuía y las cápsulas eran más susceptibles a la oxidación. Los análisis termogravimétricos realizados revelaron que los microencapsulados de aceite pueden resistir de buena forma procesos térmicos comunes en la industria de alimentos sin sufrir alteraciones debido a descomposición térmica. Con los resultados vistos, los encapsulados obtenidos en las mejores condiciones de 30 % de material de pared y de 20 a 30 % de carga de aceite suponen una excelente alternativa para añadir ácidos grasos omega-3 y 6 a formulaciones alimenticias, esto gracias a la estabilidad oxidativa de los encapsulados y los buenos rendimientos y eficiencia obtenidas mediante secado por aspersión (**Sanchez-Reinoso & Gutiérrez, 2017**).

3.1.2. ACEITES ESENCIALES

3.1.2.1. Orégano (*Origanum vulgare*)

En una escala de laboratorio, se evaluó la estabilidad oxidativa de aceite esencial de orégano cuando se encapsuló con Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), maltodextrina (MD), y un caso especial con el dióxido de silicio coloidal (CSD) para probar su capacidad de actuar como agente encapsulante. Las proporciones probadas eran de 1:1 y 2:1 de material de pared y contenido de núcleo respectivamente; el núcleo estaba compuesto por el aceite esencial de orégano disuelto en aceite de maní, y las emulsiones fueron formadas con la ayuda de homogeneizador de rotor-estator. Tras las pruebas de medición de actividad oxidante antes y después de la encapsulación, se encontró que las formulaciones con HPMC y MD se comportaron distinto a las mezclas con CSD. Esas emulsiones tras la encapsulación presentaron una actividad antioxidante alta y tras 90 días menores niveles de pérdida de compuestos volátiles. En cambio, en los casos con adición de CSD se encontró que afectaba negativamente a la capacidad de evitar el escape al ambiente de los compuestos volátiles; especialmente cuando la proporción con respecto al núcleo era baja (1:1). Las pruebas de 90 días con dos temperaturas de almacenamiento, 4 y 23 °C, también afectaron que tan bien se lograba conservar la integridad de los componentes de este aceite esencial. Todo esto indicó que con la formulación adecuada este aceite puede encapsularse exitosamente y convertirse en una potencial alternativa como conservante natural, sin embargo se necesitan más estudios para optimizar la calidad de las emulsiones y así asegurar mejores efectos protectores para el aceite (Asensio et al., 2017).

3.1.2.2. Turbinto o pimienta rosada (*Schinus terebinthifolia* Raddi)

A escala de laboratorio se probó la encapsulación de aceite esencial de turbinto o pimentero brasileño, obtenido de un laboratorio productor, con el agente encapsulante pectina de alto metoxilo. Esta pectina junto con proteína aislada de soya y maltodextrina DE 10 se utilizaron para formular emulsiones de una capa (solo proteína aislada de soya y maltodextrina) y de doble capa donde se incluía la pectina de alto metoxilo. Las emulsiones contuvieron buffer para mantener el pH a 3,5 y fueron homogeneizadas primero por método rotor-estator y luego tratadas por sonicación para reducir el tamaño de las gotículas de la emulsión. En los resultados se observó que la

doble capa de estabilización lograda gracias a la pectina tuvo efectos significativos en el producto de encapsulación. De esa manera, los encapsulados de doble capa mostraron mayor retención de aceite y menor absorción de agua, además de que hubo menor cohesión lo que resulta en menor cantidad de aglomerados. En los estudios de morfología de las cápsulas, las características que presentaron fueron una forma esférica, con pocas depresiones en su superficie y libre de grietas ni poros. Evidentemente, estas emulsiones con pectina mostraron mejores resultados para prevenir la rápida degradación de los compuestos volátiles, además de que ayudó en la reducción de la formación de partículas muy grandes o la formación de aglomeraciones indeseadas (A. R. L. Pereira et al., 2019).

3.1.2.3. Naranja (*Citrus spp.*)

Aceites esenciales como el de naranja, rico en d-limoneno, han sido sujeto a pruebas de microencapsulación utilizando como emulsificantes las proteínas de soya y chícharos. Se utilizó como agente encapsulante a la maltodextrina DE 10 y la encapsulación se realizó a escala de laboratorio, además el aceite fue donación de una empresa productora. Las emulsiones fueron homogeneizadas con un equipo rotor-estator. Tras las pruebas y análisis de morfología de las partículas obtenidas, se observó que si bien las emulsiones con proteína de chícharos tuvieron características ligeramente diferentes a la que empleó soya, las características de las microcápsulas (con superficie sin grietas ni poros) sugieren que son aptas para proteger de la degradación a los compuestos encerrados en el núcleo. Por lo tanto, a pesar de ciertas dificultades como baja solubilidad, se puede microencapsular aceite esencial de naranja con emulsiones estabilizadas con proteína de chícharos; es necesario más exploración de este tipo de emulsiones (Francisco et al., 2020). Otras experimentaciones con el mismo aceite examinaron los efectos de usar almidón modificado de arroz como revestimiento de pared. La encapsulación tuvo lugar a escala piloto y empleó como materiales de pared a la maltodextrina junto al almidón de arroz; adicionalmente, la gretina hidrolizada se empleó como agente aglutinante. Las emulsiones fueron homogeneizadas por agitación mecánica con homogeneizador rotor-estator. Entre las combinaciones probadas, se observó que la emulsión que contenía una proporción 50:50 de maltodextrina y almidón de arroz modificado rindieron el mejor resultado en relación con el nivel de protección contra la oxidación,

ya que no se detectó presencia de derivados resultantes de procesos de oxidación ni de que esta combinación conservara de mejor manera la estabilidad del D-limoneno después de 28 días. Tras medir todos los parámetros evaluados, se encontró que en comparación con almidón natural, el almidón de arroz modificado brindó mejoras al rendimiento y eficiencia de encapsulación, especialmente cuando se encontraba en una proporción superior al 50 % (**Márquez-Gómez et al., 2018**). Este aceite, obtenido por prensado frío, además ha despertado el interés para experimentar su encapsulación con biopolímeros como gelatina y lignina. Se utilizó un equipo de secado por aspersión a escala de laboratorio para la encapsulación de las emulsiones con gelatina o lignina, además de surfactante Span 60 y adyuvante coloidal Aerosil 200; la homogeneización se llevó a cabo con agitación de rotor-estator. Al final se comprobó con los resultados que la encapsulación fue exitosa con estos dos biopolímeros y que se obtuvieron partículas con morfología de microesferas con contenido de aceite del 90 % w/w con gelatina y 72 % w/w con lignina (**Aguiar et al., 2020**). El aceite esencial de naranja puede derivarse como producto secundario del procesamiento de cítricos para consumo masivo. Este aceite como subproducto es de gran interés para su aprovechamiento en otras aplicaciones. Una investigación con aceite esencial de naranja obtenido como producto secundario probó su encapsulación con los polímeros de grado alimenticio: quitosano y almidón modificado para evaluar su actividad antimicrobiana *in vitro*; Tween 80 también se incluyó en la mezcla como aditivo. Las emulsiones se homogeneizaron utilizando agitador rotor-estator. Después de la encapsulación a escala de laboratorio, se registraron altos niveles de eficiencia y de retención de aceite esencial de naranja. Además, se observó que los encapsulados conservaron la actividad antimicrobiana del aceite ya que evitó la proliferación de *E. coli* y *L. rhamnosus*; cabe notar que el efecto antimicrobiano tuvo menores efectos en bacterias consideradas beneficiosas. Una observación peculiar fue que los encapsulados exhibieron mayor actividad antimicrobiana que el aceite sin procesar, esto posiblemente debido a un efecto sinérgico con los materiales de pared utilizados. De esa manera, se comprobó que es posible encapsular exitosamente aceite de naranja proveniente de otro proceso, y que esta formulación es de especial interés como ingrediente en alimentos para animales (**Ambrosio et al., 2020**).

3.1.2.4. Romero (*Rosmarinus officinalis*)

El aceite de romero encapsulado ha sido evaluado para ver los efectos de su adición en la conservación de queso. Para ello se utilizó aceite de una empresa productora y los agentes encapsulantes inulina y aislado de proteína de suero. Para homogeneizar las emulsiones se empleó un agitador rotor-estator. Tras la encapsulación a escala de laboratorio, los resultados de las pruebas realizadas demostraron que el perfil químico del aceite no sufrió cambios en el proceso de secado. Por otra parte, los tratamientos no afectaron los niveles de humedad, pero sí se observó una considerable baja en el pH del queso con la adición del aceite. Mientras tanto, en las pruebas de almacenamiento se observó menor conteo bacteriano mesofílico tras 15 días en el queso con tratamiento de aceite esencial de romero encapsulado; no sucedió lo mismo en la cuenta de coliformes, donde no hubo diferencia significativa entre el control y el tratamiento. De esta manera, se comprobó el potencial de este aceite como posible biopreservante de alimentos como el queso (Fernandes et al., 2017).

3.1.2.5. Tomillo (*Thymus spp.*)

La actividad antimicrobiana del aceite esencial de tomillo ha sido probada después de su microencapsulación mediante secado por aspersión a escala de laboratorio. El aceite fue obtenido por compra a una productora internacional. Se produjo el experimento con el interés de evaluar si la capacidad antimicrobiana del tomillo se conservaba después de la encapsulación. Y así verificar si tenían efecto protector contra *Vibrio alginolyticus* y *Vibrio parahaemolyticus*, dos especies bacterianas que afectan la acuicultura de camarón. El material de pared que se utilizó fue maltodextrina en proporción 1:4 con respecto al núcleo, y se utilizó como emulsificante sal sódica de caseína; las emulsiones se prepararon con un homogeneizador rotor-estator. Al final los resultados corroboraron que la acción antimicrobiana del aceite esencial se conservó tras el proceso de encapsulación, por lo que este aceite encapsulado es un potencial candidato para su uso en el combate contra afectaciones provocadas por estas especies microbianas (Júnior et al., 2017).

3.1.2.6. Limón (*Citrus limon*)

Mucílago de nopal y goma de mezquite mezclados han sido usados para lograr la encapsulación de aceite esencial de limón, obtenido por destilación y adquirido

comercialmente. Estos dos materiales se estudiaron debido a la novedad que representa su uso, y su potencial como reemplazos a otros materiales de pared. Las emulsiones en agua se prepararon con tres tipos de material de pared: con mucílago de nopal, goma de mezquite y mezclas de los dos en proporciones 1:3, 1:1 y 3:1; las preparaciones consistieron en mezclas con el material de pared al 30 % w/w en relación con el núcleo, y la homogeneización se realizó con un equipo rotor-estator. Después de la encapsulación a escala piloto, se observó que las emulsiones con mayor cantidad de goma de mezquite rindieron microcápsulas de pequeño tamaño y con mayor capacidad de retención del aceite esencial de limón, pero también se registró un menor efecto protector contra su oxidación debido posiblemente a daños sufridos en la superficie de las cápsulas durante el secado. Por otro lado, las emulsiones con mayor cantidad de mucílago nopal después de encapsularse formaron partículas grandes y se consiguieron los mayores valores de eficiencia de encapsulación y protección contra la oxidación; todo esto probablemente a la mayor capacidad de este mucílago de cubrir la superficie del aceite y de mejorar los efectos tanto estéricos como electroestáticos, además de elevar la viscosidad. Tras la evaluación de los parámetros se determinó que esta mezcla entre mucílago de nopal y goma de mezquite tuvo un efecto sinérgico positivo para proteger al aceite de degradación oxidativa, y, por ende, aumentar su tiempo de duración (Cortés-Camargo et al., 2017).

3.1.2.7. Almendra (*Prunus* spp.)

Los aceites de almendra también han sido de interés para su microencapsulación. Se probó su encapsulación en almidón de taro y se determinó su eficiencia de encapsulación, la morfología de las microcápsulas y la estabilidad del producto final. La escala utilizada fue a nivel laboratorio y las emulsiones se homogeneizaron con agitador rotor/estator. Tras las respectivas evaluaciones, se observó porosidad en las microcápsulas obtenidas, pero a pesar de ello existió protección del aceite frente a oxidación. Se probó que los agregados formados brindan un nivel de protección a los componentes volátiles de este aceite (Hoyos-Leyva et al., 2019). Otra investigación que estudió al aceite de oliva, obtenido comercialmente, probó la encapsulación con maltodextrina del aceite de almendra utilizando el agente encapsulante maltodextrina en conjunto con los emulsificantes el Tween 20 y Span 80. Este último surfactante solo fue aplicado en la preparación de emulsión del aceite de almendra, y las dispersiones-

emulsiones se homogeneizaron con ayuda de agitación con equipo rotor-estator. La encapsulación se realizó a escala de laboratorio y se comprobó que las características de las partículas son ideales para transportar el aceite a través del sistema digestivo y asegurar su liberación controlada en los intestinos (**Amaya-Cano & Salcedo-Galán, 2020**).

3.1.2.8. Cardamomo (*Elettaria cardamomum*)

Aceites no muy comunes como el esencial de cardamomo también han sido sujeto de encapsulación. El objetivo de la investigación fue optimizar las condiciones de la extracción por fluidos supercríticos a escala laboratorio y semi-industrial del aceite de cardamomo, y evaluar sus características después de encapsularse a escala de laboratorio con una mezcla de goma arábiga, maltodextrina, almidón modificado y emulsificante Tween 80. Las emulsiones resultantes se estabilizaron utilizando homogeneizador rotor-estator. Realizadas las pruebas, se observó que el método propuesto de extracción por fluidos supercríticos dio un resultado de alto rendimiento comparado con otros métodos más tradicionales, por lo que la técnica propuesta es prometedora para poner en práctica a niveles industriales. Por otra parte, en el encapsulado de este aceite, se vio mejorías con respecto a la solubilidad en matrices acuosas lo que abre la oportunidad de usar este aceite en un mayor rango de aplicaciones alimenticias, aprovechando sus propiedades organolépticas y actividad antioxidante (**Ramírez et al., 2017**).

3.1.2.9. Oliva (*Olea europaea*)

La microencapsulación de aceites esenciales de oliva y almendras comerciales se ha probado con matrices de maltodextrina. A escala de laboratorio se encapsularon emulsiones de estos dos aceites que incluían el agente de encapsulación maltodextrina y el emulsificante Tween 20, aunque debe considerarse que para la emulsión del aceite de almendras se necesitó adicionalmente Span 80 como emulsificante. La homogeneización de las emulsiones preparadas se realizó con equipo rotor-estator. Tras los estudios se comprobó que es posible una encapsulación efectiva de estos aceites en la matriz de maltodextrina, sin embargo, este material parece ser mejor para la retención de aceite de almendra que el de oliva. Además, se comprobó que las cápsulas pueden soportar el trayecto hasta el estómago y los intestinos para empezar la liberación controlada del material del núcleo. Por otra parte, la diferencia entre la

capacidad de retención de aceite y la factibilidad de aglomeración con la misma formulación de emulsión puede ser debido a la cantidad de ácidos grasos de cada aceite en estudio (Amaya-Cano & Salcedo-Galán, 2020).

3.1.2.10. Canela (*Cinnamomum* spp.)

Debido a su actividad antioxidante, el aceite esencial de canela ha sido sujeto a estudio para evaluar los efectos de la microencapsulación sobre esta actividad. En uno de los estudios, empleando el aceite obtenido de una empresa productora, se utilizó como material de pared el compuesto almidón succinatado de yuca para encapsulación de aceite esencial de canela a escala de laboratorio. La proporción en la emulsión fue de 30 % w/w de almidón modificado y 20 % de aceite de esencial, y fueron homogeneizadas con equipo rotor-estator. Tras las pruebas realizadas, se encontró que las partículas con el aceite encerrado conservan de buena manera sus propiedades y componentes como monoterpenos oxigenados. Por ende, esta formulación de cápsulas se puede considerar útil para aplicaciones alimenticias, farmacéuticas y cosméticas que necesiten aumentar la actividad oxidante de los productos (Pajaro et al., 2018). Otras investigaciones enfocadas en este aceite obtenido por extracción de hojas de canela y comprado de una empresa productora evaluaron los efectos que varios tipos de materiales de encapsulación tienen sobre las propiedades de las microcápsulas formadas. Para ese propósito, se empleó como agentes encapsulantes mezclas de maltodextrina, goma arábica y aislado de proteína de suero. Tras la encapsulación a escala de laboratorio se evaluó el rendimiento con cada mezcla mediante la medición de la eficiencia de encapsulación y los niveles de retención de cinamaldehído. Al final del estudio se determinó a la mezcla de goma arábica con maltodextrina como la mejor opción de agente encapsulante, alcanzando un nivel máximo de retención de cinamaldehído de 50 % (Felix et al., 2017).

3.1.2.11. Lemongrass o hierba de limón (*Cymbopogon flexuosus*)

El aceite esencial de lemongrass ha atraído interés como preservante para productos como el queso. Un estudio se dedicó a evaluar los efectos que tenía la inclusión de microcápsulas de aceite esencial de lemongrass, obtenido de una empresa productora, en queso Coalho de Brasil. Los agentes encapsulantes utilizados para el estudio fueron la goma arábica y la maltodextrina en proporciones de 3:1 y 1:1 respectivamente; las emulsiones que fueron preparadas se homogeneizaron por agitador rotor-estator y

posteriormente por sonicación. Una vez cumplida la encapsulación a escala de laboratorio de las emulsiones, se encontró que estas formulaciones rendían microcápsulas con altos niveles de estabilidad térmica además de que tenían un efecto positivo en prevenir la proliferación de microorganismos en el queso de Coalho tras un período de almacenamiento de 21 días. Por lo tanto, el aceite esencial de lemongras encapsulado se perfila como una gran opción para aplicarse en formulaciones alimenticias que requieran procesos de calentamiento y actuar como un preservante natural (**Melo et al., 2020**). En otra investigación se trabajó con solo uno de los componentes mayoritarios del aceite esencial de lemongrass: citral. Con el citral, obtenido de un laboratorio productor, se experimentó con las variables de proporción citral-dextrina 1:5 y 1:20 respectivamente, y la temperatura de entrada de 120 y 200 °C. La formulación de la emulsión incluyó la dextrina como agente encapsulador y la lecitina de soya como emulsificante; las mezclas se homogeneizaron con un agitador rotor-estator. Por otro lado, el proceso de secado se llevó a cabo con equipos a escala de laboratorio. Tras dar con las condiciones óptimas, también se realizó la prueba de la efectividad de su efecto antimicrobiano en contra de *Escherichia coli*, *Salmonella enterica*, *Staphylococcus aureus* y *Bacillus cereus*; la metodología utilizada fue la de difusión en disco. Se comprobó con los resultados que el aceite encapsulado conservaba su capacidad antimicrobiana incluso después del secado y que actuaba de manera indistinta de si las bacterias eran Gram positivas o negativas. Todo esto llevo a la conclusión de que esta formulación de cápsulas con citral, componente mayoritario del aceite esencial de lemongrass, tiene gran potencial para aplicarse en matrices alimenticias o incluso empaque de ingredientes activos con el objetivo de alargar el tiempo de vida en percha de los productos y contribuir a mantener la comida a salvo de proliferación de microorganismos (**Yoplac et al., 2021**). En fin, el aceite esencial encapsulado de lemongrass es un potencial aditivo alimenticio con el propósito de generar actividad antimicrobiana. Varias investigaciones en todo el mundo respaldan también su potencial rol como preservante natural de varios alimentos, pero es importante la investigación en tecnologías de encapsulación y su optimización ya que ellas permiten su incorporación en matrices acuosas y ofrecen protección contra factores ambientales externos (**Matiacevich & Sáez, 2018**).

3.1.2.12. Clavero (*Syzigium aromaticum*)

El aceite esencial de clavero ha sido sujeta a encapsulación en sistemas lipídicos. Se estudiaron los efectos de la formulación del sistema, los materiales encapsulantes y las condiciones de operación del proceso de secado por aspersión sobre las propiedades fisicoquímicas del sistema lipídico cargado con aceite esencial de clavero obtenido de una empresa productora. Para ayudar en la encapsulación a escala de laboratorio, al sistema lipídico se incluyó los agentes encapsulantes goma arábica, aerosil 200 y maltodextrina DE-10. Las emulsiones de los sistemas lipídicos y los agentes de encapsulación fueron homogeneizadas con equipo rotor-estator y subsecuentemente sonicación. Tras las pruebas realizadas, los resultados indicaron que la encapsulación eficiente es solo posible bajo estrictas condiciones de operación y formulación, además de que el resultado en las mejores condiciones rinde partículas que se dispersan fácilmente. Todo indicó que existe potencial para continuar desarrollando esta tecnología de encapsulación de sistemas lipídicos (**Rosa & Oliveira, 2018**).

3.1.2.13. Jengibre (*Zingiber officinale* L.)

La influencia de la matriz de encapsulación en los resultados de la encapsulación de aceite esencial de jengibre comercial se probó con mezclas de los materiales encapsulantes goma arábica, maltodextrina e inulina. Parte clave del estudio fue investigar los efectos que tenía la ultrasonicación en preparar las emulsiones a alimentarse al proceso de secado a escala de laboratorio. Se observó que las emulsiones ayudadas por ultrasonicación tenían gotas más estables y pequeñas, por lo que se obtuvieron mejores resultados con la combinación de los métodos de homogeneización de rotor/estator y sonicación. Por otro lado, los materiales con los que se obtuvieron las mejores microcápsulas fue con la mezcla goma arábica y maltodextrina, ya que estas partículas tuvieron las mejores características con respecto a eficiencia de encapsulación, higroscopicidad y solubilidad acuosa (**de Barros Fernandes et al., 2016**).

3.2. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Se analizó crítica y cualitativamente los artículos que cumplieron con los criterios determinados de estar estrictamente relacionado con la microencapsulación de aceites mediante secado por aspersión. De acuerdo con la información obtenida de cada uno

de los artículos se determinó la frecuencia absoluta de las ocasiones en que ocurrían en las investigaciones varios aspectos críticos como: forma de obtención de los aceites encapsulados, materiales encapsulantes, aditivos utilizados, países de las investigaciones, escala del secado, método de estabilización de las emulsiones.

A continuación, la tabla 1 indica las distintas formas de obtención del aceite usado para la microencapsulación y cuántas veces esas formas ocurrieron entre las investigaciones analizadas. La figura 1 representa gráficamente los datos de la tabla 1 respecto a la forma de obtención de los aceites.

Tabla 1: *Frecuencia absoluta de la forma de obtención de los aceites encapsulados*

Forma de obtención del aceite	Frecuencia absoluta f_i
Comercialmente/donado	28
Prensado frío mecánico/hidráulico	9
Extracción con fluidos supercríticos	2
Extracción asistida con ultrasonificación	1
Destilación a vapor	1
Producto secundario de otro proceso	1
Total:	42

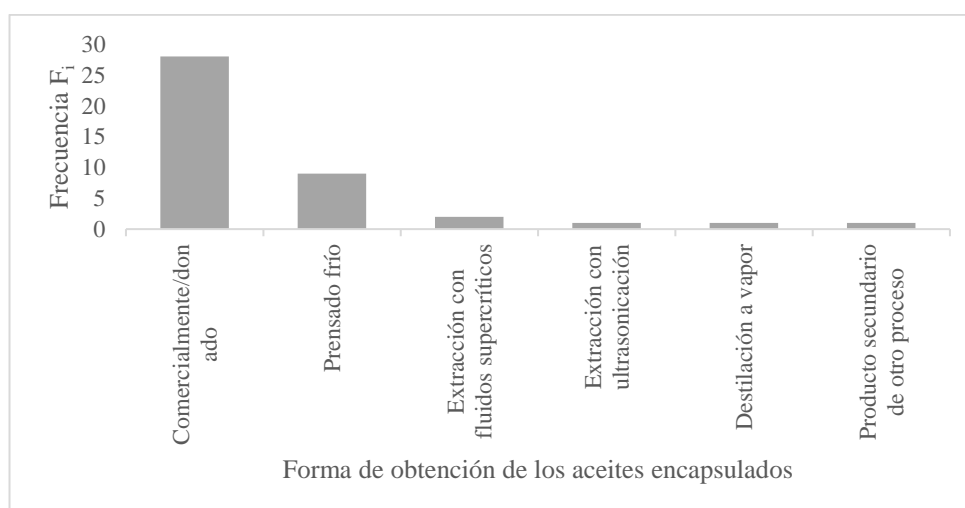


Figura 1: *Frecuencia absoluta de la forma de obtención del aceite a encapsular*

A continuación, en la tabla 2 se detallan cada una de las mezclas de materiales encapsulantes utilizadas en las investigaciones. Se observa una muy baja repetición

del tipo de materiales utilizados entre todos los estudios examinados, por lo que no se realizó un gráfico de esta tabla al no aportar significativamente la visualización y comprensión de los datos extraídos.

Tabla 2: *Frecuencia absoluta de los agentes encapsulantes utilizados en las investigaciones*

Agente encapsulante	Frecuencia absoluta f_i
Mezcla Goma arábica y Maltodextrina	8
Maltodextrina	4
Hidroxipropil celulosa	1
Mezcla Goma de mezquite y Maltodextrina	1
Mucílago de semilla de tamarindo	1
Suero de leche	1
Mezcla Maltodextrina, aislado de proteína de suero y goma arábica	1
Mezcla concentrado proteína de suero de leche, aislado de proteína de soya y goma arábica	1
Mezcla proteína de garbanzo y pectina de alto metoxilo	1
Mezcla Maltodextrina y almidón modificado	1
Mezcla Maltodextrina y aislado de proteína de soya	1
Mezcla goma arábica, maltodextrina, aislado proteico de suero y Hi-cap	1
Goma arábica	1
Mezcla Maltodextrina y Hi-cap	1
Mezcla Hidroxipropil metil celulosa, Maltodextrina y dióxido de silicio coloidal	1

Mezcla Maltodextrina y almidón de arroz	1
Mezcla Gelatina y Lignina	1
Quitosano y almidón modificado	1
Inulina y aislado de proteína de suero	1
Almidón de Taro	1
Mezcla Maltodextrina, goma arábica y Hi-cap	1
Almidón succinatado de yuca	1
Dextrina	1
Estudio de varios materiales	9
Total:	42

En la tabla 3 se desglosa los materiales encapsulantes probados en las 9 investigaciones que realizaron estudios de comparación de la calidad de los encapsulados que rendía cada una de las mezclas. No se presenta un gráfico al no haber coincidencias entre los agentes encapsulantes ocupados en cada investigación.

Tabla 3: *Frecuencia absoluta de agentes encapsulantes estudiados en investigaciones comparativas*

Materiales encapsulantes evaluados	Frecuencia absoluta f_i
Goma arábica vs Mezcla Goma arábica y Maltodextrina	1
Concentrado de proteína de lactosuero y pectina de tejocote (crítica) vs CPL pectina de tejocote	1
Masterdry vs goma arábica vs maltodextrina	1
Goma arábica vs Mezcla Goma arábica y Maltodextrina vs Maltodextrina	1
Hi-cap vs Goma arábica vs Capsul vs Mezcla GA, Maltodextrina y aislado de proteína de suero vs Mezcla GA y MD	1
Aislado de proteína de soya y Maltodextrina vs Aislado de proteína de soya, pectina de alto metoxilo y maltodextrina	1

Goma de Mezquite vs Mucílago de Nopal vs Mezclas GM y MP	1
Goma arábica vs aislado de proteína de suero vs maltodextrina vs Mezclas GA, APS y MD	1
Goma arábica vs Goma arábica y Maltodextrina vs Goma arábica e Inulina	1
Total:	9

En la tabla 4 se presenta una lista de los aditivos añadidos a la emulsión destinada a encapsularse en las investigaciones examinadas. Se observa una muy baja repetición del tipo de los aditivos usados entre los estudios comparativos, por lo que no se realizó un gráfico de esta tabla al no aportar significativamente a la visualización y comprensión de los datos procesados.

Tabla 4: *Frecuencia absoluta de los aditivos o emulsificantes utilizados en las emulsiones*

Aditivos o emulsificantes	Frecuencia absoluta f_i
Azida de sodio	3
Tween 20	3
Lecitina de soya	2
Tween 80	2
Jarabe de glucosa y buffer citrato-fosfato	1
Éster de sacarosa	1
Extractos de cáscaras de camu camu y mango	1
Etanol-Lecitina	1
Aceite de maní	1
Solución buffer	1
Concentrado de proteína de chícharos vs aislado de proteína de soya	1
Grenetina hidrolizada	1

Span 60 y Aerosil 200	1
Ácido ascórbico, lecitina y tocoferol	1
Sal sódica de caseína	1
Tween 20 y Span 80	1
Aerosil 200	1
No hace uso/No menciona	19
Total:	42

La tabla 5 presenta los países donde se dieron los estudios. Los países se representan separados si existió un trabajo colaborativo entre investigadores de otros centros de investigación perteneciente a otros países, ya sea con otros países latinoamericanos o países fuera de la región. Es decir, se considera como una categoría todos los países de origen de los investigadores e Instituciones, y no se cuenta como una investigación enteramente realizada por investigadores de un solo país.

Tabla 5: *Frecuencia absoluta de los países de origen de las investigaciones*

Países	Frecuencia absoluta f_i
Brasil	15
México	6
Colombia	6
Cuba-Ecuador	3
Colombia-México	2
Argentina	2
Chile-España	1
Cuba-México	1
Perú	1
Perú-España	1
Perú-Argentina-España	1
Brasil-Perú	1
Brasil-España	1
Perú-Chile-Italia	1
Total:	42

La tabla 6 presenta las frecuencias en las que investigadores de cada uno de los países listados participó dentro del estudio de secado por aspersión de aceites. A diferencia de la tabla 5, esta tabla cuenta todas las investigaciones donde se involucró un investigador de ese país sin importar si el estudio fue realizado junto a investigadores e Instituciones de otros países. Es decir, si en una investigación participaron investigadores e Instituciones de distintos países de Latinoamérica se aumentó la cuenta una vez para cada país. En la figura 2 se muestran las frecuencias expuestas en la tabla 6, referentes al número de veces que participó un investigador o Institución de un país de la región latinoamericana en un estudio enfocado al secado por aspersión de aceites. Se puede observar que el valor máximo corresponde al país de Brasil.

Tabla 6: *Frecuencia absoluta de participaciones totales de los países con investigaciones en el tema de investigación*

Países	Frecuencia absoluta f_i
Brasil	17
México	9
Colombia	8
Perú	5
Cuba	4
Ecuador	3
Argentina	3
Chile	2

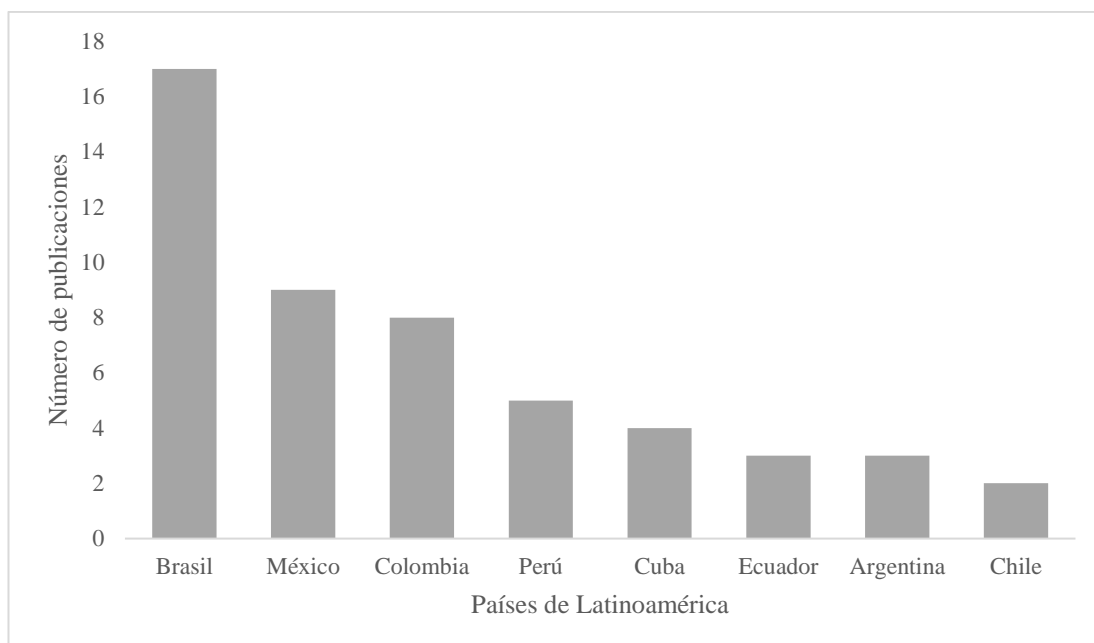


Figura 2: *Frecuencia absoluta de los países de origen de las investigaciones*

La tabla 7 presenta la frecuencia absoluta de las escalas en las que el secado por aspersión se realizó entre todas las investigaciones analizadas. La figura 3 representa los datos de frecuencia de la tabla 7, referente a la escala en la que los estudios realizaron los estudios de secado por aspersión de aceites. Se puede observar que la categoría laboratorio se repitió con mayor frecuencia.

Tabla 7: *Frecuencia absoluta de la escala del secado por aspersión*

Escala del secado por aspersión	Frecuencia absoluta f_i
Laboratorio	32
Piloto (Semi-Industrial)	7
Laboratorio e Industrial	2
No aplica (Estudio de emulsiones destinadas a encapsulación)	1
Total:	42

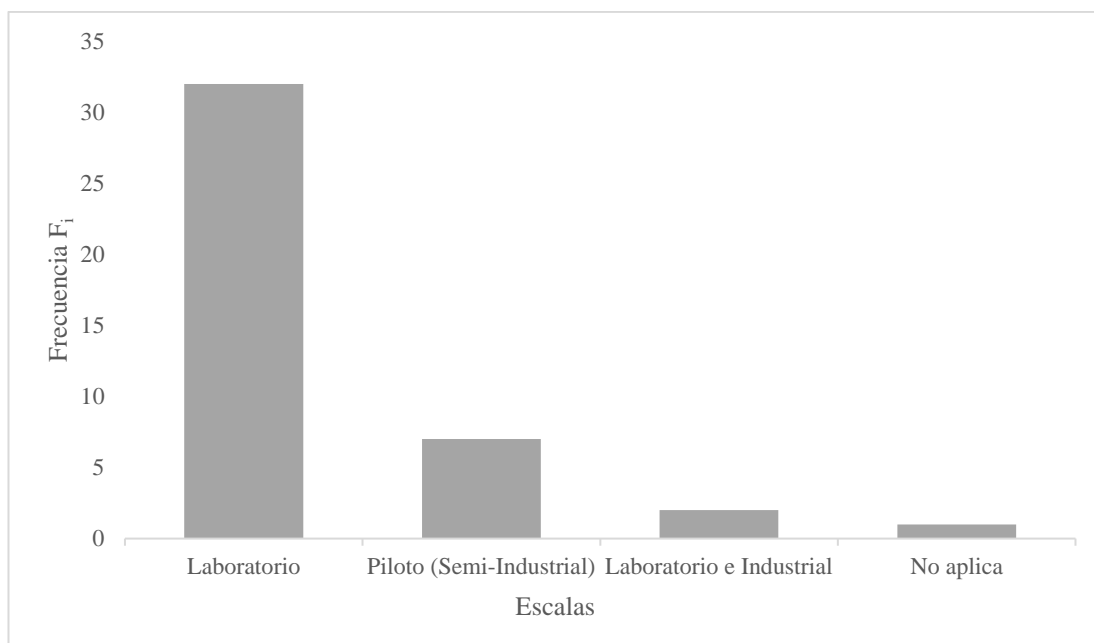


Figura 3: *Frecuencia absoluta de la escala del secado por aspersión*

La tabla 8 muestra los métodos de estabilización/homogeneización de emulsiones antes del secado por aspersión empleados en las investigaciones estudiadas. La figura 4 representa la tabla 8, referente a las frecuencias absolutas de los métodos de estabilización/homogeneización de emulsiones previo al secado por aspersión. Se observa que la categoría Rotor/Estator se repite con mayor frecuencia.

Tabla 8: *Frecuencia absoluta de la forma de estabilización/homogeneización de las emulsiones*

Método de homogeneización de emulsiones	Frecuencia absoluta f_i
Homogeneizador de rotor/estator	28
Ultrasonicación	3
Agitación-Microfluidización	2
Rotor/Estator vs Ultrasonicación	1
Sonicación y Rotor/Estator vs	1
Rotor/Estator	1
Rotor/Estator y Alta presión	1

No hace uso/No menciona	6
Total:	42

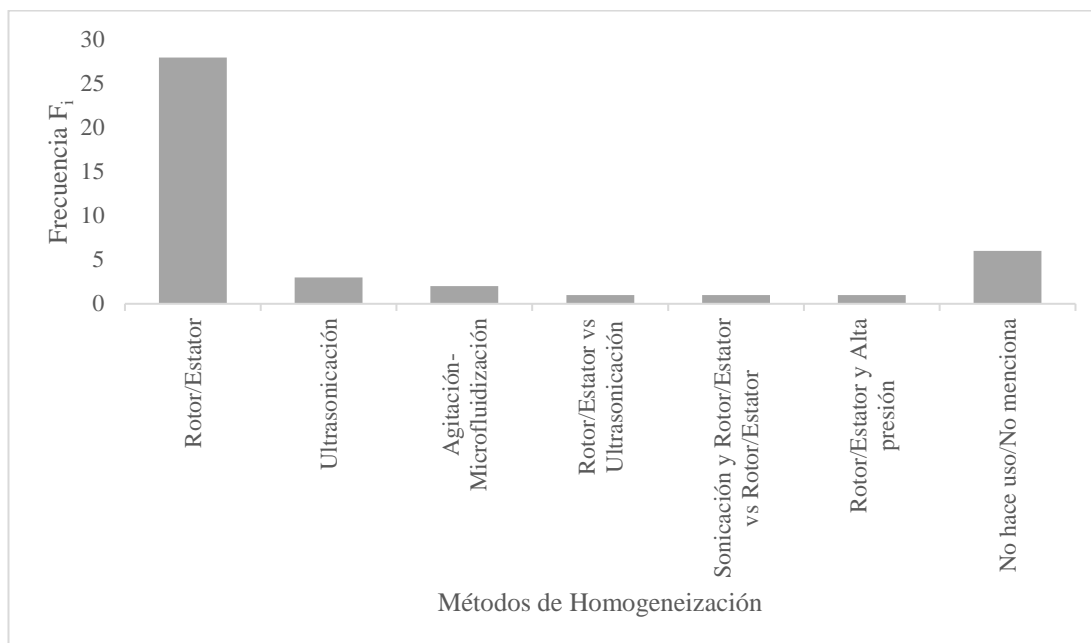


Figura 4: Frecuencia absoluta de los métodos de estabilización de las emulsiones

3.3. DISCUSIÓN

Se recopiló y analizaron datos críticos de cada investigación. Con el objetivo de facilitar la comprensión de los alcances de las investigaciones estudiadas, se estudiaron varios puntos en común que se pueden encontrar en todas las investigaciones relacionadas al tema de encapsulación de aceites por spray-drying. Esa información fue extraída, procesada y representada en tablas y gráficos.

Dentro de la tabla 1, se listan los métodos de obtención de los aceites destinados a encapsularse dentro de cada uno de los estudios. Se puede apreciar que 28 de los estudios analizados obtuvieron el aceite por medio de donación o lo adquirieron de laboratorios, centros de investigación o empresas productoras. Esto quiere decir que la gran mayoría de los estudios se dedican al estudio de la encapsulación solo desde la etapa de preparación de dispersiones y emulsiones, dejando apartado del estudio los posibles efectos del método de extracción de los aceites sobre sus características críticas a considerar para preparar un método y formulación para su encapsulación. El

resto de las investigaciones indican los métodos de extracción del aceite o empiezan el estudio analizando las condiciones de la extracción del aceite. Se puede ver que en varias investigaciones el prensado en frío es el método preferido para obtener el aceite de interés para su encapsulación, además de que existen estudios que evaluaron otros métodos como ultrasonificación y extracción con fluidos supercríticos. Estas dos últimas técnicas son bastante promisorias ya que se han comprobado como métodos que pueden aumentar los rendimientos de obtención de aceite, especialmente en el caso de la extracción de fluidos supercríticos donde se usa CO₂ a alta presión y temperaturas, lo que permite extracciones selectivas, rápidas y con menor consumo de energía que otros métodos (**Martínez et al., 2016**).

En relación con los materiales o agentes encapsulantes, en la tabla 2 se listan las mezclas utilizadas entre todos los estudios analizados. Se puede observar por la cantidad de materiales y mezclas existentes que las investigaciones dentro de la región constantemente realizan estudios con una gran variedad de materiales de pared, además de que se prueban distintas mezclas entre los materiales. Sin embargo, a pesar de la variedad entre mezclas y materiales utilizados, la maltodextrina y la goma arábiga se mantienen como materiales muy comunes de usar tanto en conjunto o como parte de mezclas con otros materiales. El uso extensivo de ambos materiales se puede notar por ser los únicos materiales que se usaron en más de una investigación, teniendo una aparición en 8 artículos como únicos materiales en la mezcla. Su uso común en esta clase de investigaciones es debido a sus características y propiedades deseables para la formación de una película protectora envolviendo al núcleo con el aceite de interés y rendir microcápsulas con morfología adecuada para la protección del núcleo frente a factores externos a la vez que se previene fugas del material encapsulado debido a la baja aparición de grietas en la superficie exterior (**Bakry et al., 2016**). Otra ventaja de estos dos materiales es su disponibilidad en grado alimenticio, lo que es fundamental cuando se requiere microcápsulas adecuadas para su posterior aplicación en formulaciones alimenticias y farmacéuticas. Otra cualidad importante es su baja reactividad con los materiales del núcleo, lo que asegura un producto final sin afectación al contenido de las microcápsulas debido a reacciones no deseadas entre los materiales. En particular con la goma arábiga se puede destacar sus propiedades no solo aptas para la encapsulación, sino que también tiene propiedades de emulsificante y de formador de película protectora; esto lo convierten en un material

extremadamente deseable para encapsulación mediante secado por aspersión. No obstante, una gran desventaja de la goma arábica es su precio comercial alto, lo que lo hace un material que si bien es ideal para encapsulación no es una opción para procesos que requieren aminorar los costos de producción **(Mohammed et al., 2020)**. Consecuentemente, esta desventaja de la goma arábica se puede considerar como una de las razones por las que se prefiere experimentar con nuevos materiales encapsulantes o modificar componentes en mezclas para la encapsulación, y de esa manera encontrar un reemplazo más económico y que ofrezca buenos resultados para encapsular. Por otro lado, la maltodextrina también es un material ideal para encapsulación debido a su bajo costo y versatilidad para una amplia gama de aplicaciones en el campo de la encapsulación mediante secado por aspersión. Pero, se debe tomar en cuenta una desventaja clave de la maltodextrina que por lo general no permite alcanzar altos niveles de eficiencia de encapsulación y rinde cápsulas con morfología no muy adecuada para la protección del núcleo **(Veiga et al., 2019)**. Es por estos factores que es popular la mezcla de goma arábica y maltodextrina, ya que de esa manera se puede aprovechar las grandes cualidades de la goma arábica para la encapsulación a la vez que se reduce los costos mediante la adición de maltodextrina. Es común observar experimentaciones que varíen la proporción entre estos dos agentes para determinar el mejor equilibrio entre estos dos materiales que a la vez rinda cápsulas de alta calidad y ocupe la menor cantidad posible de goma arábica **(Singh et al., 2010)**.

Entre toda la variedad de materiales encapsulantes presentados en la tabla 2 también se puede destacar el almidón modificado de diversos orígenes, aislado de proteína de soya y aislado de proteína de suero. El almidón modificado ha resultado particularmente como una buena alternativa como agente de encapsulación debido a los altos rendimientos de encapsulación que permiten alcanzar. Por otra parte, los aislados de proteína de soya y de suero permiten aprovechar estos materiales obtenidos de otros procesos de producción a la vez que brindan buenos resultados con la encapsulación de aceites **(Mohammed et al., 2020)**.

En la tabla 3 se presentó los materiales evaluados en los artículos que se enfocaron en buscar la mejor alternativa entre todas y determinar que también funcionaba cada una y que beneficios brindaban al producto final de la encapsulación. Por la frecuencia de

estos estudios, 9, se puede interpretar que no es muy común en la región realizar estudios que tomen como variable de estudio el utilizar distintas combinaciones de materiales encapsulantes (**Singh et al., 2010**).

La tabla 4, que presenta los aditivos utilizados en las investigaciones analizadas, también muestra dispersión y pocas cosas en común entre los aditivos utilizados en las emulsiones preparadas en cada estudio. Entre los pocos compuestos usados como aditivos que se repiten son el azida de sodio, Tween 20-80 y lecitina. El azida de soya es común en investigaciones que quieran asegurar que no exista proliferación de microorganismos que amenace la integridad química del material en el núcleo. Los polisorbatos (Tween) 20 y 80 se ocupan comúnmente debido a su aceptación como aditivos alimenticios digeribles y por sus propiedades de surfactante y emulsificante. La lecitina, especialmente de soya, también es común de utilizar como aditivo gracias a sus grandes cualidades como emulsificante y grado alimenticio para su implementación en formulaciones alimenticias (**Encina et al., 2018**).

Las tablas 5 y 6 muestran la frecuencia en que Centros de Investigación de un país participó en una investigación dedicada a la encapsulación de aceites mediante encapsulación con el método de secado por aspersion. En la tabla 6 y figura 2 se puede apreciar que el país con la mayor cantidad de investigaciones es Brasil, seguido de México y Colombia. Es notable el gran número de investigaciones realizadas en Brasil y esta cantidad se puede explicar posiblemente al nivel de desarrollo e interés por esta técnica a nivel Industrial, además de que es un país con una gran variedad de plantas endémicas de las cuales se pueden obtener aceites con propiedades únicas. También cabe destacar que, por sus características, Brasil al ser un país extenso puede albergar la producción de una gran cantidad de especies vegetales de las cual se obtienen aceites de gran interés. Otra razón importante que se refleja en los estudios en esta región es las aplicaciones que se desea dar a los encapsulados de aceite con el objetivo de conservar alimentos como quesos. Estos intereses pueden dar a entender intenciones de dar una nueva forma de uso a una gran variedad de aceites, y de que esa manera se posicione a esta técnica como un método con mucho potencial y aplicación, lo cual podrá atraer atención e inversión en este tipo de técnicas. Se puede interpretar a Brasil como uno de los líderes en las investigaciones referentes a encapsulación de aceites, y se convierte en un modelo a observar para la evolución de las aplicaciones de este

proceso (**Júnior et al., 2017**). Con respecto a México y Colombia, se puede interpretar que el número de investigaciones originadas en estos países responden al nivel de desarrollo industrial de la encapsulación y de sus necesidades propias de buscar alternativas para el mejor aprovechamiento de los aceites vegetales, en especial de los esenciales que son codiciados por su aporte al sabor, olor y preservación de formulaciones alimenticias y farmacéuticas (**Díaz Montes et al., 2018**). En la tabla 5 es digno de destacar que existieron investigaciones en conjunto con países europeos como España e Italia, lo que es una señal de interés en el estudio de la encapsulación de aceites dentro de la región latinoamericana en conjunto con otros países con experiencias y dinámicas únicas en ese mismo campo (**Pino & Aragüez, 2021**).

Uno de los aspectos más importantes de destacar en este estudio se presenta en la tabla 7 y figura 3, ya que éstas muestran la frecuencia absoluta de la escala en la que los estudios de encapsulación se realizaron. Es notable que la gran mayoría de estudios se enfocó en la encapsulación mediante secado por aspersion solo a nivel de laboratorio, lo que provoca un vacío en las investigaciones dedicadas en el escalamiento de los procesos a partir de los datos obtenidos a nivel laboratorio (**Pastuña, 2016**). Esto puede interpretarse como una señal que los estudios realizados no continúan hasta llegar a una metodología comprobada de funcionar a escala piloto y subsecuentemente Industrial. El proceso de escalado es una etapa crítica para demostrar que las metodologías de encapsulación a escala de laboratorio pueden adaptarse exitosamente a escalas más grandes a la vez que se mantiene altos niveles de eficiencia de encapsulación y producción de microcápsulas con buenas propiedades; demostrar el correcto funcionamiento del proceso a escala industrial genera interés de más investigadores y promueve la continuación de los estudios para optimizar aún más los procesos. Los estudios de escalamiento son siempre necesarios para referencia en las condiciones de operación que se deben ajustar para adaptarse a la encapsulación de mayores volúmenes de emulsión (**Bakry et al., 2016**). Por lo tanto, existe la necesidad de continuar las investigaciones con estudios que permitan evaluar los efectos del escalamiento de formulaciones ya evaluadas y optimizadas a menores escalas. Sin el escalamiento, la aplicación extensiva de esta técnica continuará siendo limitada debido a las desventajas de no contar con métodos probados para la obtención eficiente de grandes volúmenes de aceites encapsulados. Este espacio vacío en la mayoría de las

investigaciones es una situación importante para tomar en cuenta en los estudios a realizar en los siguientes años (**Garcia et al., 2018**).

Con respecto a los métodos de estabilización empleados en las investigaciones analizadas, presentados en la tabla 8 y figura 4, se observa que la frecuencia más alta corresponde al método de homogeneización por agitación con equipo rotor/estator. Este método es el más común debido al bajo costo del equipo necesario para aplicarlo y la facilidad que representa ya que los tratamientos son fácilmente ajustables en las rpm necesarias por tiempos cortos (**Bakry et al., 2016**). Se debe tomar en cuenta que entre las frecuencias más bajas se encuentran estudios que evaluaron la aplicación de otros métodos de homogeneización como la ultrasonicación y microfluidización. Estos últimos son métodos que en adición a la agitación con equipo rotor/estator pueden brindar mejores características a las emulsiones en agua antes de pasar por el secado por aspersion, ya que estos relativamente novedosos métodos disminuyen aún más los tamaños de las partículas en suspensión de las emulsiones lo que en práctica resulta en algo beneficioso al momento de encapsular estas mezclas ya que de esa manera las partículas obtenidas tendrán mejor morfología, menos porosidad y menores posibilidades de aglomerarse entre sí. Es de especial interés la microfluidización ya que puede producir nanoemulsiones que son sumamente ideales para obtener mejores resultados en la encapsulación mediante secado por aspersion gracias al tamaño minúsculo de las partículas suspendidas al momento de ingresar al secado (**Pérez-Soto et al., 2021**).

De manera general, las investigaciones que buscan evaluar procesos de encapsulación de aceites dentro de Latinoamérica demuestran el creciente interés en la región por experimentar con una variedad de aceites tanto de uso común, como los que no tienen un uso extensivo. Con los aceites encapsulados se podrían atenuar varios de los problemas que hacen difícil el uso de ciertos aceites para diversas aplicaciones dentro de la industria alimenticia principalmente. Los beneficios y utilidades de encapsular aceites fueron principalmente la protección contra factores ambientales externos, ralentizar procesos de degradación/oxidación, ayudar en la conservación de propiedades antimicrobianas de los aceites, brindar estabilidad a la composición química del aceite por períodos más prolongados, mejorar su tiempo de vida mientras está en almacenamiento, permitir el uso de los encapsulados en procesamiento de

alimentos y facilitar su incorporación a formulaciones farmacéuticas y alimenticias. Todas estas ventajas reportadas por las investigaciones estudiadas son la base para continuar con las investigaciones en esta línea de investigación, ya que los beneficios de la encapsulación cuentan aún con mucho campo por abrir y expandir la escala de su uso para la protección de aceites vegetales, animales y esenciales (**Bakry et al., 2016**).

Entre los objetivos recurrentes de las investigaciones relacionadas a la encapsulación de aceites se resaltan los de la optimización de los procesos de encapsulación y los enfocados en adicionar nuevos compuestos a la mezcla de emulsión con el objetivo de mejorar los niveles de estabilidad de la mezcla y así aumentar las posibilidades de obtener encapsulados estables y con buena morfología. Otros objetivos incluyen experimentar con varios materiales de recubrimiento y sus proporciones en la mezcla, para evaluar la calidad del encapsulado que puede rendir el proceso que ocupa emulsiones formadas con esos materiales (**López Hernández, 2010**).

Se encontraron varias investigaciones relacionadas a la microencapsulación de aceite de sachá-inchi, observando que los objetivos de los estudios era determinar las características del aceite después de encapsulado y la extensión de los beneficios de la encapsulación sobre el aceite. Se comprobó que el encapsulamiento aumentaba la resistencia de los compuestos volátiles. El alto número de publicaciones sobre este aceite muestra la prioridad de avanzar en la investigación de encapsulados de aceites endémicos de la región que potencialmente pueden surgir como nuevas alternativas frente a otros aceites de consumo masivo (**Alarcón et al., 2020**).

Otro de los aceites del que se encontraron varios estudios fue el de naranja. Esto refleja el interés de dar nuevas aplicaciones a aceites de alta producción, y también tomar residuos secundarios de industrias dedicadas al procesamiento de naranja. A futuro, técnicas como la microencapsulación van a representar muy buenas oportunidades de investigación sobre cómo utilizar productos secundarios de procesos industriales y lograr el mayor aprovechamiento posible de las salidas de aquellos procesos. Es de gran relevancia encontrar como aprovechar todo residuo y contribuir a cerrar ciclos de reciclaje de compuestos hasta que vuelva a estados naturales (**Márquez-Gómez et al., 2018**).

Llama la atención que las investigaciones no se enfocan en la encapsulación de aceites de consumo masivo como el aceite de palma. Esto posiblemente indique un interés por el uso de otros aceites que contengan compuestos que ayuden a proveer de nuevas propiedades a formulaciones alimenticias como sabor, olor y resistencia microbiana. Precisamente uno de los factores que comúnmente más se quiere conservar es la habilidad antimicrobiana de los aceites, en especial esenciales, que potencialmente ayudarán a la conservación más larga de varias formulaciones alimenticias o farmacéuticas (**Bakry et al., 2016**).

CAPÍTULO IV

4.1. CONCLUSIONES

- Se determinó que el estado actual de la técnica de secado por aspersión de aceites está en pleno desarrollo y en auge. El panorama sugiere que la tendencia del desarrollo de esta técnica en aceites continuará y llevará a nuevas investigaciones de parte de Instituciones de Investigación y Universidades, incluso con apoyo de Instituciones fuera de la región; algo que ya se ha visto en las investigaciones revisadas. En Latinoamérica hay oportunidades invaluable para la experimentación y desarrollo de esta técnica por las características originales de todos los tipos de aceites que se pueden encontrar en la región. Todos estos factores contribuyen al desarrollo de nuevas formulaciones y la optimización continua de procesos de este tipo.
- Brasil, México y Colombia, probablemente debido a la magnitud de su capacidad de investigación y desarrollo industrial, son los países con mayor interés y desarrollo de esta técnica. Esto queda demostrado con el volumen de investigaciones llevadas a cabo por Instituciones y Centros de Investigación de aquellos países, y también por las intenciones de ampliar el uso de esta técnica a distintos tipos de aceite originarios de aquellos países.
- Se encontró que en las publicaciones de los últimos 5 años los aceites que fueron objeto de estudios con mayor frecuencia fueron los aceites de naranja y de sacha inchi. En la mayoría de los estudios se verificó experimentalmente que la encapsulación de los aceites llevó a mejoras en la estabilidad y protección frente a procesos de degradación física o química. Además, se reportó aumento en el tiempo de vida de los aceites y mayor resistencia para su uso en procesamiento de alimentos, además de mayor facilidad en aplicarse en formulaciones alimenticias farmacéuticas y alimenticias gracias a la mejor conservación de sus propiedades y características originales.
- De acuerdo con los estudios revisados, las experimentaciones a nivel laboratorio son relativamente comunes, pero no existen varios estudios relevantes dedicados al escalamiento industrial de estos procesos. Por lo tanto, la aplicación de la encapsulación de aceites a nivel industrial es hasta ahora

limitado. Con el avance de estas técnicas, probablemente en el futuro habrá mucho más interés en desarrollo de este tipo de formulaciones encapsuladas.

4.2. RECOMENDACIONES

- Expandir para próximas investigaciones el alcance de los criterios de selectividad de artículos para incluir artículos fuera de los límites de Latinoamérica y así comparar los métodos, escalas y aplicaciones con el fin de discernir las similitudes y diferencias en las dinámicas de investigación relacionada a encapsulación de aceites entre los países de Latinoamérica y otras regiones del mundo.
- Extender los intereses de investigación hacia otros aceites tradicionalmente encontrados en la región de Latinoamérica pero que no cuentan con estudios que respalden la utilidad del secado por aspersion en conservar sus propiedades originales, extender su vida útil o cualquier otro beneficio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, M. C. S., Silva, M. F. da G. F. da, Fernandes, J. B., & Forim, M. R. (2020). Evaluation of the microencapsulation of orange essential oil in biopolymers by using a spray-drying process. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/S41598-020-68823-4>
- Alarcón, R., Gonzales, B., Sotelo, A., Gallardo, G., Pérez-Camino, M. del C., & Chasquibol, N. (2020). *Microencapsulation of Sacha Inchi (Plukenetia huayllabambana) Oil by Spray Drying with Camu Camu (Myrciaria dubia (H.B.K.) Mc Vaugh) and Mango (Mangifera indica) Skins* (Vol. 53, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/PROCEEDINGS2020053011>
- Alarcón Rivera, R., Pérez Camino, M. del C., & Chasquibol Silva, N. (2019). Evaluación de la vida útil de los aceites de Sacha Inchi (*Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis*) microencapsulados. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 85(3), 327–337.
- Alcântara, M. A., de Lima, A. E. A., Braga, A. L. M., Tonon, R. V., Galdeano, M. C., da Costa Mattos, M., Santa Brígida, A. I., Rosenhaim, R., dos Santos, N. A., & de Magalhães Cordeiro, A. M. T. (2019). Influence of the emulsion homogenization method on the stability of chia oil microencapsulated by spray drying. *Powder Technology*, 354, 877–885.
- Alpizar-Reyes, E., Varela-Guerrero, V., Cruz-Olivares, J., Carrillo-Navas, H., Alvarez-Ramirez, J., & Pérez-Alonso, C. (2020). Microencapsulation of sesame seed oil by tamarind seed mucilage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 145, 207–215. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2019.12.162>
- Amaya-Cano, J. S., & Salcedo-Galán, F. (2020). Microencapsulamiento de aceites con alto contenido de ácidos grasos mediante el método de secado por atomización. *Revista Ion*, 33(1), 7–16.
- Ambrosio, C. M. S., Alvim, I. D., Castillo, C. J. C., & Gloria, E. M. Da. (2020). Microencapsulation Enhances the in vitro Antibacterial Activity of a Citrus Essential Oil. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 23(5), 985–997.

<https://doi.org/10.1080/0972060X.2020.1833763>

- Asensio, C. M., Paredes, A. J., Martin, M. P., Allemandi, D. A., Nepote, V., & Grosso, N. R. (2017). Antioxidant stability study of oregano essential oil microcapsules prepared by spray-drying. *Journal of Food Science*, 82(12), 2864–2872.
- 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. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(1), 143–182.
- Böger, B. R., Georgetti, S. R., & Kurozawa, L. E. (2018). Microencapsulation of grape seed oil by spray drying. *Food Science and Technology International*, 38(2), 263–270. <https://doi.org/10.1590/FST.04417>
- Bordón, M. G., Barrera, G. N., Penci, M. C., Bori, A., Caballero, V., Ribotta, P., & Martínez, M. L. (2020). *Microencapsulation of Chia Seed Oil (Salvia hispanica L.) in Spray and Freeze-Dried Whey Protein Concentrate/Soy Protein Isolate/Gum Arabic (WPC/SPI/GA) Matrices* (Vol. 53, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/PROCEEDINGS2020053022>
- Chasquibol-Silva, N., Iparraguirre, K., Huamán, J., & Alarcón-Rivera, R. (2020). *Estabilidad oxidativa de los aceites de sacha inchi (Plukenetia huayllabambana y Plukenetia volubilis) y su importancia en la industria alimentaria*.
- Cortés-Camargo, S., Cruz-Olivares, J., Barragán-Huerta, B. E., Dublán-García, O., Román-Guerrero, A., & Pérez-Alonso, C. (2017). Microencapsulation by spray drying of lemon essential oil: Evaluation of mixtures of mesquite gum–nopal mucilage as new wall materials. *Journal of Microencapsulation*, 34(4), 395–407. <https://doi.org/10.1080/02652048.2017.1338772>
- Cuevas-Bernardino, J. C., Pérez-Alonso, C., Nieto-Ángel, R., & Aguirre-Mandujano, E. (2019). *Microencapsulation of grape seed oil by spray drying using whey protein and hawthorn pectin* (Vol. 11, Issue 2, pp. 127–145). <https://doi.org/10.5154/R.INAGBI.2019.01.005>
- de Barros Fernandes, R. V., Borges, S. V., Silva, E. K., da Silva, Y. F., de Souza, H. J. B., do Carmo, E. L., de Oliveira, C. R., Yoshida, M. I., & Botrel, D. A. (2016).

Study of ultrasound-assisted emulsions on microencapsulation of ginger essential oil by spray drying. *Industrial Crops and Products*, 94, 413–423.

De León-Zapata, M. A., Ventura-Sobrevilla, J. M., Salinas-Jasso, T. A., Flores-Gallegos, A. C., Rodríguez-Herrera, R., Pastrana-Castro, L., Rúa-Rodríguez, M. L., & Aguilar, C. N. (2018). Changes of the shelf life of candelilla wax/tarbrush bioactive based-nanocoated apples at industrial level conditions. *Scientia Horticulturae*, 231, 43–48.

Díaz Montes, E., Valencia Arredondo, J. A., & Yáñez Fernández, J. (2018). Efecto de la microencapsulación (maltodextrina-almidón de chinchayote) en la capacidad antioxidante del Capulín (*Prunus serotina*). *Mexican Journal of Biotechnology*, 3(2), 23–36.

Encina, C., Vergara, C., Márquez-Ruiz, G., Holgado, F., Robert, P., & Giménez, B. (2018). Influence of solvent and lecithin in microencapsulation of fish oil by spray-drying. *Rsc Advances*, 8(8), 4172–4181. <https://doi.org/10.1039/C7RA13286G>

Eun, J.-B., Maruf, A., Das, P. R., & Nam, S.-H. (2020). A review of encapsulation of carotenoids using spray drying and freeze drying. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(21), 3547–3572.

Felix, P. H. C., Birchal, V. S., Botrel, D. A., Marques, G. R., & Borges, S. V. (2017). Physicochemical and thermal stability of microcapsules of cinnamon essential oil by spray drying. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(3), e12919.

Fernandes, R. V. de B., Guimarães, I. C., Ferreira, C. L. R., Botrel, D. A., Borges, S. V., & de Souza, A. U. (2017). Microencapsulated rosemary (*Rosmarinus officinalis*) essential oil as a biopreservative in minas frescal cheese. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(1), e12759.

Francisco, C. R. L., Júnior, F. D. de O., Marin, G., Alvim, I. D., & Hubinger, M. D. (2020). Plant proteins at low concentrations as natural emulsifiers for an effective orange essential oil microencapsulation by spray drying. *Colloids and Surfaces a Physicochemical and Engineering Aspects*, 607. <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFA.2020.125470>

- Froio, F., Mosaddik, A., Morshed, M. T., Paolino, D., Fessi, H., & Elaissari, A. (2019). Edible polymers for essential oils encapsulation: Application in food preservation. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58(46), 20932–20945.
- Fuentes-Ortega, T., Martínez-Vargas, S. L., Cortés-Camargo, S., Guadarrama-Lezama, A. Y., Gallardo-Rivera, R., Baeza-Jiménez, R., & Pérez-Alonso, C. (2017). Effects of the process variables of microencapsulation sesame oil (*Sesamum indica* L.) by spray drying. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 16(2), 477–490.
- Furumo, P. R., & Aide, T. M. (2017). Characterizing commercial oil palm expansion in Latin America: land use change and trade. *Environmental Research Letters*, 12(2), 24008.
- García, C. M., Fernández, M., Lopez, O. D., Castiñeira, M., Martínez, B., Nogueira, A., & Turiño, L. (2018). Microencapsulation of shark liver oil pool by spray drying. *Latin American Applied Research*, 48, 89–93.
- González, A., Martínez, M. L., Paredes, A. J., León, A. E., & Ribotta, P. D. (2016). Study of the preparation process and variation of wall components in chia (*Salvia hispanica* L.) oil microencapsulation. *Powder Technology*, 301, 868–875.
- Hoyos-Leyva, J. D., Bello-Perez, L. A., Agama-Acevedo, J. E., Alvarez-Ramirez, J., & Jaramillo-Echeverry, L. M. (2019). Characterization of spray drying microencapsulation of almond oil into taro starch spherical aggregates. *Lwt Food Science and Technology*, 101, 526–533. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2018.11.079>
- James, N. K. da S., Castro, L. P. S., Freitas, S. P., & Nogueira, R. I. (2019). *Increasing energy efficiency in microencapsulation of soybean oil by spray drying / Aumento da eficiência energética na microencapsulação de óleo de soja por spray drying* (Vol. 5, Issue 7, pp. 8082–8095). <https://doi.org/10.34117/BJDV5N7-036>
- Júnior, O. T., Kuhn, F., Padilha, P. J. M., Vicente, L. R. M., Costa, S. W., Boligon, A. A., Scapinello, J., Nesi, C. N., Magro, J. D., & Castellví, S. L. (2017). Microencapsulation of essential thyme oil by spray drying and its antimicrobial

- evaluation against *Vibrio alginolyticus* and *Vibrio parahaemolyticus*. *Brazilian Journal of Biology*, 78(2), 311–317. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.08716>
- LI, Y. A. O. O., & DIOSADY, L. L. (2012). in micronutrient fortification through “engineered” staple foods. *European Journal of Nutraceuticals & Functional Foods*, 18.
- Li, Y. O., González, V. P. D., & Diosady, L. L. (2014). Microencapsulation of vitamins, minerals, and nutraceuticals for food applications. In *Microencapsulation in the Food Industry* (pp. 501–522). Elsevier.
- López Hernández, O. D. (2010). Microencapsulación de sustancias oleosas mediante secado por aspersión. *Revista Cubana de Farmacia*, 44(3), 381–389.
- MACHADO PINTO, N. G., PIOVESAN ROSSATO, V., ARRUDA CORONEL, D., & Schuh, A. B. (2018). The performance of agriculture in latin america: analysing efficiency and efficacy in the region. *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, 26(2), 33–44.
- Márquez-Gómez, M., Galicia-García, T., Márquez-Meléndez, R., Ruiz-Gutiérrez, M., & Quintero-Ramos, A. (2018). Spray-dried microencapsulation of orange essential oil using modified rice starch as wall material. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2). <https://doi.org/10.1111/JFPP.13428>
- Martínez, P. M. F., Benavides, A. M. H., & Ortíz, M. A. C. (2016). Microencapsulación mediante secado por aspersión de aceite de mora (*Rubus glaucus*) extraído con CO₂ supercrítico. *Revista Colombiana de Química*, 45(2), 39–47.
- Martins, E., Poncelet, D., Rodrigues, R. C., & Renard, D. (2017). Oil encapsulation techniques using alginate as encapsulating agent: applications and drawbacks. *Journal of Microencapsulation*, 34(8), 754–771.
- Matiacevich, S., & Sáez, C. (2018). *Encapsulación de aceite esencial de lemongrass en el desarrollo de ingredientes naturales en polvo para preservación de alimentos: Una revisión*.
- Melo, A. M. de, Turola Barbi, R. C., Souza, W. F. C. de, Luna, L. C., de Souza, H. J.

- B., Lucena, G. L., Quirino, M. R., & de Sousa, S. (2020). Microencapsulated lemongrass (*Cymbopogon flexuosus*) essential oil: A new source of natural additive applied to Coalho cheese. *Journal of Food Processing and Preservation*, *44*(10), e14783.
- Mohammed, N. K., Tan, C. P., Manap, Y. A., Muhialdin, B. J., & Hussin, A. S. M. (2020). Spray drying for the encapsulation of oils—A review. *Molecules*, *25*(17), 3873.
- Moser, P., Ferreira, S., & Nicoletti, V. R. (2019). Buriti oil microencapsulation in chickpea protein-pectin matrix as affected by spray drying parameters. *Food and Bioproducts Processing*, *117*, 183–193. <https://doi.org/10.1016/J.FBP.2019.07.009>
- Neufeld, L. M., Osendarp, S. J. M., & Gonzalez, W. (2017). Fortification of complementary foods: a review of products and program delivery. In *Complementary feeding: building the foundations for a healthy life* (Vol. 87, pp. 115–129). Karger Publishers.
- Ortega, M. L. G., García, G. A., Olvera, L. G., Infante, J. A. G., & Pérez, C. I. P. (n.d.). Aplicaciones de la microencapsulación en recubrimientos comestibles. *ANÁLISIS, CALIDAD Y PROCESAMIENTO DE LOS ALIMENTOS EN MÉXICO*.
- Osuntokun, O. T., & Ogunleye, A. J. (2017). Prospects of essential oils in drug discovery. *Adv Cytol Pathol*, *2*(1), 10.
- Pajaro, N. P., Méndez, G. L., Fortich, M. del R. O., Alarcón, M. E. T., & Vega, J. M. R. (2018). Microencapsulación del aceite esencial de *Cinnamomum verum* J. mediante secado por aspersion y su potencial actividad antioxidante. *Revista Cubana de Farmacia*, *51*(2).
- Pastuña, A. (2016). Microencapsulación de aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) mediante secado por aspersion. *Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador*.
- Peña, C. M. G., Cervera, M. F., Díaz, M. C., Hernández, O. D. L., Martínez, V., & Espinosa, A. N. M. (2021). Aceite de hígado de tiburón microencapsulado:

- Desarrollo de una formulación de cápsulas duras. *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, 9(2), 195–207.
- Pereira, A. R. L., Cattelan, M. G., & Nicoletti, V. R. (2019). Microencapsulation of pink pepper essential oil: Properties of spray-dried pectin/SPI double-layer versus SPI single-layer stabilized emulsions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 581, 123806.
- Pereira, K. C., Ferreira, D. C. M., Alvarenga, G. F., Pereira, M. S. S., Barcelos, M. C. S., & Costa, J. M. G. da. (2018). Microencapsulation and release controlled by the diffusion of food ingredients produced by spray drying: A review. *Brazilian Journal of Food Technology*, 21.
- Pérez-Córdoba, L. J., Norton, I. T., Batchelor, H. K., Gkatzionis, K., Spyropoulos, F., & Sobral, P. J. A. (2018). Physico-chemical, antimicrobial and antioxidant properties of gelatin-chitosan based films loaded with nanoemulsions encapsulating active compounds. *Food Hydrocolloids*, 79, 544–559.
- Pérez-Soto, E., Cenobio-Galindo, A. de J., Espino-Manzano, S. O., Franco-Fernández, M. J., Ludeña-Urquiza, F. E., Jiménez-Alvarado, R., Zepeda-Velázquez, A. P., & Campos-Montiel, R. G. (2021). The Addition of Microencapsulated or Nanoemulsified Bioactive Compounds Influences the Antioxidant and Antimicrobial Activities of a Fresh Cheese. *Molecules*, 26(8), 2170.
- Pino, J. A., & Aragüez, Y. (2021). Conocimientos actuales acerca de la encapsulación de aceites esenciales. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 52(1), 10–25.
- Pino, J. A., Sosa-Moguel, O., Sauri-Duch, E., & Cuevas-Glory, L. (2019). Microencapsulation of winter squash (*Cucurbita moschata* Duchesne) seed oil by spray drying. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(10). <https://doi.org/10.1111/JFPP.14136>
- Plazola-Jacinto, C. P., Pérez-Pérez, V., Pereyra-Castro, S. C., Alamilla-Beltrán, L., & Ortiz-Moreno, A. (2019). Microencapsulation of biocompounds from avocado leaves oily extracts. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 18(3), 1261–1276.
- Puentes, L. R., Serna, J. D. B., Serna, A. M., & Carvajal, M. X. Q. (2017). Conferencia Magistral: Nanoencapsulación y microencapsulación de aceite de palma alto

oleico como nuevas tecnologías para el desarrollo del agro. *Revista Palmas*, 38(4), 44–50.

Quispe, N. B. P., Chaves, M. A., Santos, A. F., Bastos, T. D. S., & Castro, S. S. (2020). *Microencapsulation of virgin coconut oil by spray drying* (Vol. 6, Issue 1, pp. 1510–1529). <https://doi.org/10.34117/BJDV6N1-103>

Ramírez, M. E. V., Cardona, L. de J. M., Jaramillo, C. A. P., Quiceno, C. A., Hurtado, M. I. G., & Garzón, M. A. G. (2017). Characterization of microencapsulated cardamom (*Elettaria cardamomum*) oil extracted using supercritical fluids on a semi-industrial scale. *Brazilian Journal of Food Technology*, 20.

Reyna, E. N., Álvarez, G. M., Iliná, A., & Hernández, J. L. M. (2015). Microencapsulación de componentes bioactivos. *Investigación y Ciencia*, 23(66), 64–70.

Ricaurte, L., Correa, R. E. P., de Jesus Perea-Flores, M., & Quintanilla-Carvajal, M. X. (2017). Influence of milk whey on high-oleic palm oil nanoemulsions: Powder production, physical and release properties. *Food Biophysics*, 12(4), 439–450.

Rios-Aguirre, S., & Gil-Garzón, M. A. (2021). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *TecnoLógicas*, 24(51), e1836–e1836.

Robledo, N., Vera, P., López, L., Yazdani-Pedram, M., Tapia, C., & Abugoch, L. (2018). Thymol nanoemulsions incorporated in quinoa protein/chitosan edible films; antifungal effect in cherry tomatoes. *Food Chemistry*, 246, 211–219.

Rosa, D., & Oliveira, W. (2018). Spray drying of lipid nanosystems (SLN and NLC) loaded with *Syzygium aromaticum* essential oil. *IDS 2018. 21st International Drying Symposium Proceedings*, 895–902.

Saenz de Rodrigáñez, M., Aguilar-Tellez, F. V., Alarcón-López, F. J., Pedrosa-Islas, R., Peña-Marín, E. S., Martínez-García, R., Guerrero-Zárate, R., Matamoros, W. A., & Álvarez-González, C. A. (2018). Alimentos microencapsulados para el cultivo de larvas de pejelagarto (*Atractosteus tropicus*). *Revista de Biología Tropical*, 66(3), 1298–1313.

- Sanchez-Reinoso, Z., & Gutiérrez, L.-F. (2017). Effects of the emulsion composition on the physical properties and oxidative stability of sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil microcapsules produced by spray drying. *Food and Bioprocess Technology*, *10*(7), 1354–1366.
- Santos, F. H. dos, Silveira, B. M. P. e, Souza, L. L. de, Duarte, A. K. C., Ribeiro, M. C., Pereira, K. C., & Costa, J. M. G. da. (2020). Influence of wall materials on the microencapsulation of pequi oil by spray drying. *Brazilian Journal of Food Technology*, *23*. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.13219>
- Serna, A. M., & Santa, M. A. B. (2018). Aceite de palma, una opción versátil para alimentos funcionales. *Revista Palmas*, *39*(2), 78–87.
- Singh, M. N., Hemant, K. S. Y., Ram, M., & Shivakumar, H. G. (2010). Microencapsulation: A promising technique for controlled drug delivery. *Research in Pharmaceutical Sciences*, *5*(2), 65.
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, *104*, 333–339.
- Vaucher, A. C. dos S., Dias, P. C. M., Coimbra, P. T., Costa, I. dos S. M., Marreto, R. N., Dellamora-Ortiz, G. M., Freitas, O. De, & Ramos, M. F. S. (2019). Microencapsulation of fish oil by casein-pectin complexes and gum arabic microparticles: oxidative stabilisation. *Journal of Microencapsulation*, *36*(5), 459–473. <https://doi.org/10.1080/02652048.2019.1646335>
- Veiga, R. D. S. Da, Aparecida Da Silva-Buzanello, R., Corso, M. P., & Canan, C. (2019). Essential oils microencapsulated obtained by spray drying: a review. *Journal of Essential Oil Research*, *31*(6), 457–473.
- Villalobos-Castillejos, F., Alamilla-Beltrán, L., Leyva-Daniel, D. E., Monroy-Villagrana, A., Jiménez-Guzmán, J., Dorantes-Álvarez, L., & Gutiérrez-López, G. F. (2017). Long term stability of microfluidized emulsions used in microencapsulation by spray drying. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, *16*(1), 221–228.
- Villamil, R. A., Robelto, G. E., Mendoza, M. C., Guzmán, M. P., Cortés, L. Y., Méndez, C. A., & Giha, V. (2020). Desarrollo de productos lácteos funcionales y

sus implicaciones en la salud: Una revisión de literatura. *Revista Chilena de Nutrición*, 47(6), 1018–1028.

Yoplac, I., Vargas, L., Robert, P., & Hidalgo, A. (2021). Characterization and antimicrobial activity of microencapsulated citral with dextrin by spray drying. *Heliyon*, 7(4), e06737.