



UNAP



**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
MICROENCAPSULACIÓN DE NUTRIENTES APLICADOS ALIMENTOS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

PRESENTADO POR:

LOURDES DEL PILAR MENESES RUIZ

ASESOR

Ing. ALFONSO MIGUEL RIOS CACHIQUE, Mgr.

IQUITOS, PERÚ

2022

ACTA DE EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL



UNAP

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Escuela Profesional de
Ingeniería en Industrias Alimentarias

ACTA DE SUSTENTACIÓN DEL EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL N° 010-CGT-FIA-UNAP-2022

En Iquitos, en las instalaciones del laboratorio de ingeniería, ubicado en la Planta Piloto, sito Av. Freyre N° 610, a los 05 días del mes de mayo de 2022, a horas.....18:00....., se dio inicio a la sustentación pública del informe del examen de suficiencia profesional titulado: **"MICROENCAPSULACIÓN DE NUTRIENTES APLICADOS ALIMENTOS"** presentado por el (la) Bachiller **LOURDES DEL PILAR MENESES RUIZ**, de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias; para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) en Industrias Alimentarias, que otorga la Universidad de acuerdo a Ley y Estatuto.

El Jurado Calificador y dictaminador designado mediante Resolución Decanal N° 0153-FIA-UNAP-2022 del 02 de mayo de 2022, está integrado por:

Ing. CARLOS ENRIQUE LÓPEZ PANDURO, MSc.
Ing. JORGE LUIS CARRANZA GONZALES, Mtro.
Lic. MIRIAM RUTH ALVA ANGULO, Mgr.

Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas:.....ACERTADAMENTE.....

El Jurado después de las deliberaciones correspondientes, llegó a las siguientes conclusiones:

La sustentación pública y el informe del examen de suficiencia profesional, según promedio final, ha sido:.....APROBADO..... con la calificación BUENA.....

Estando el (la) bachiller apto(a) para obtener el Título Profesional de Ingeniero(a) en Industrias Alimentarias, Siendo las 19:00 se dió por terminado el acto de sustentación.

Presidente
Ing. CARLOS ENRIQUE LÓPEZ PANDURO, MSc.
CIP: 31070

Miembro
Ing. JORGE LUIS CARRANZA GONZALES, Mtro.
CIP: 71113

Miembro
Lic. MIRIAM RUTH ALVA ANGULO, Mgr.
CNP: 130

Asesor
Ing. ALFONSO MIGUEL RÍOS CACHIUE, Mgr.
CIP: 211418



MIEMBROS DEL JURADO

Examen de suficiencia profesional aprobada en sustentación pública en la ciudad de Iquitos en las instalaciones del Laboratorio de Ingeniería de Alimentos - Planta Piloto de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, llevado a cabo el día 05 de mayo del 2022, siendo 18:00 horas del día jueves, siendo los Miembros del Jurado calificador los abajo firmantes.



Presidente

Ing. CARLOS ENRIQUE LÓPEZ PANDURO, MSc.



Miembro

Ing. JORGE LUIS CARRANZA GONZALES, Mtro.



Miembro

Lic. MIRIAM RUTH ALVA ANGULO, Mgr.

DEDICATORIA

A mis padres motor y motivo de mi superación. Por brindarme el amor y apoyo incondicional, por el esfuerzo y sacrificio que hicieron por darme mi educación, por ser siempre mi soporte para no rendirme a pesar de las adversidades que se presentaron en el camino.

A mis hermanos por el amor y apoyo incondicional que en todo momento me brindaron.

Especialmente a la memoria de mi hermano Freddy a quien siempre llevare presente en mi corazón.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios por darme la vida y la familia maravillosa que tengo en mi vida.

A mis padres por todo el esfuerzo y sacrificio que hicieron para darme mi educación. Por siempre motivarme a no rendirme en el camino para la culminación satisfactoria de mi carrera profesional.

A mi hermana Silvia por el apoyo incondicional durante el proceso de mi formación académica.

Y a cada una de las personas que de una u otra manera me apoyaron en el camino.

¡Mil gracias!

INDICE GENERAL

PORTADA	i
ACTA DE EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL	ii
MIEMBROS DEL JURADO	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ABREVIATURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	2
1.1 Definición de términos básicos	2
1.2 Microencapsulación en alimentos	2
1.3 Materiales de encapsulación	6
1.3.1 Lípidos	7
1.3.2 Alginato	8
1.3.3 Quitosano	8
1.3.4 Carbohidratos	8
1.3.5 Proteínas	9
1.3.6 Antioxidantes	10
1.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA MICROENCAPSULACIÓN	12
1.4.1 Ventajas	12
1.4.2 Desventajas	12
1.5 APLICACIONES DE LA MICROENCAPSULACIÓN	13
1.6 MÉTODOS DE MICROENCAPSULACIÓN	13
1.6.1 Procesos Químicos	17
1.6.2 Procesos Mecánicas o Físicas	21
CAPÍTULO II: CONCLUSIONES	32
CAPÍTULO III: RECOMENDACIONES	33
CAPÍTULO IV: FUENTES DE INFORMACION	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Materiales encapsulantes	11
Tabla 02. Clasificación y características de algunos métodos de encapsulación	14
Tabla 03. Ejemplos de materiales de cubierta y técnicas de microencapsulación más comunes en las que se utilizan	17
Tabla 04. Ventajas y desventajas de la encapsulación por secado por Atomización o Aspersión	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Representación esquemática de una Microcápsula	5
Figura 02. Tipos de Microcápsulas	6
Figura 03. Ilustración esquemática de los diferentes procesos de Microencapsulación	15
Figura 04. Algunas técnicas de encapsulación, características y limitantes	16
Figura 05. Proceso de Coacervación	18
Figura 06. Secado por Atomización o Aspersión	23
Figura 07. Esquema del Atomizador del disco giratorio	25
Figura 08. Equipo de Liofilización	27
Figura 09. Alimentos Liofilizados	28
Figura 10. Equipo utilizado para encapsulación de micropartículas por Extrusión	29
Figura 11. Secador de Lecho Fluidizado con mecanismo Wuster	31

ABREVIATURAS

OMS	Organización Mundial de la Salud
MM	Milímetro
AES	Aceites Esenciales
μM	Micra o Micrómetro
PH	Potencial Hidrogeno o Potencial de Hidrogeniones
GRAS	Biopolímeros Sintéticos
PS	Proteínas Aislado del suero lácteo
CPS	Concentrado de Suero
PPM	Partes por Millón

RESUMEN

La microencapsulación es definida como una tecnología de empaquetamiento de materiales sólidos, líquidos o gaseosos. Las microcápsulas selladas pueden liberar sus contenidos a velocidades controladas bajo condiciones específicas, y pueden proteger el producto encapsulado de la luz y el oxígeno. La microencapsulación consiste de una membrana polimérica porosa contenedora de una sustancia activa. El material o mezclas de materiales a encapsular puede ser cubierto o atrapado dentro de otro material o sistema. Una microcápsula consiste de una membrana semi-permeable, esférica, delgada y fuerte alrededor de un centro sólido/líquido. Los materiales que se utilizan para el encapsulamiento pueden ser gelatina, grasas, aceites, goma arábica, alginato de calcio, ceras, almidón de trigo, maíz, arroz, papa, nylon, ciclodextrina, maltodextrina, caseinato de sodio, proteína de lactosuero o proteína de soya. Las aplicaciones de la microencapsulación se dirigen a la industria, se da a la industria textil, metalúrgica, química, alimenticia, cosméticos, farmacéutica y medicina. Dentro de las técnicas utilizadas para microencapsular se encuentran el secado por aspersión, secado por enfriamiento, secado por congelamiento, coacervación y extrusión. Las sustancias que se microencapsulan pueden ser vitaminas, minerales, colorantes, prebióticos, probióticos, sabores nutraceúticos, antioxidantes, olores, aceites, enzimas, bacterias, perfumes, drogas e incluso fertilizantes.

Palabra clave: microencapsulación, técnicas de microencapsulación en alimentos, teoría de encapsulación.

ABSTRACT

Microencapsulation is defined as a technology of packaging solids, liquids or gases. The microcapsules can release their contents sealed at controlled rates under specific conditions, and can protect the encapsulated product of light and oxygen. Microencapsulation is formed by a micro-porous polymeric membrane of an active substance container. The material or mixture of encapsulating materials can be coated or entrapped within another material or system. A microcapsule consists of a semi-permeable membrane, spherical, thin and strong center around a solid / liquid. The materials used for micro encapsulation can be gelatin, fats, oils, arabic gum, calcium alginate, waxes, wheat, starch, corn, rice, potato, nylon, cyclodextrin, maltodextrin, sodium caseinate, whey protein or soy protein. Microencapsulation applications are aimed at textile industry, metallurgical, chemical, food, cosmetics, pharmaceuticals and medicine. Among the techniques used for microencapsulation are spray drying, drying, chilling, freeze drying, coacervation and extrusion. The substances that can be microencapsulated are vitamins, minerals, dyes, prebiotics, probiotics, flavors, nutraceuticals, antioxidants, odors, oils, enzymes, bacteria, perfumes, drugs and even fertilizers.

Key words: Microencapsulation, encapsulation techniques in food, encapsulation theory.

INTRODUCCIÓN

El origen de la microencapsulación se remonta al año 1930 cuando se publicó un trabajo de investigación que describía la formación de microcápsulas de gelatina según un procedimiento que se denominó “coacervación”. Esta técnica se sometió a diversas variaciones durante los años 40 (Ministerio de Agricultura de Argentina, n.d.). La técnica de microencapsulado fue presentada en la década de 1950 por Green y Schleicher, al solicitar un registro de patente por la preparación de cápsulas de colorante, las cuales se desarrollaron para ser incorporadas en papel para el proceso de copiado (Vallejo, 2019).

En años posteriores, las aplicaciones de la microencapsulación se diversificaron e ingresaron a nuevas áreas industriales. En estos tiempos su uso se aplica en la industria textil, metalúrgica, química, alimentaria, cosmética y farmacéutica. La microencapsulación se define como una tecnología de empaque de materiales sólidos, líquidos o gaseosos en miniatura, cápsulas selladas que pueden liberar su contenido a velocidades controladas bajo condiciones específicas. El proceso de microencapsulación involucra el revestimiento o atrapamiento de un material puro o una mezcla dentro de otro material, formando una cápsula cuyo tamaño aproximado varía de 5 a 300 micrones de diámetro. El material a proteger es generalmente un líquido, pero también puede ser un sólido o un gas, el cual es conocido como material núcleo, activo, fase interna o carga útil. El material de revestimiento es llamado cápsula, material de pared, membrana, acarreador o caparazón (Vallejo, 2019).

Para el proceso de microencapsulación existen diferentes técnicas o métodos que se pueden utilizar, su selección va a depender de las propiedades físicas y químicas de los materiales, también dependerá del tamaño de partícula que se requiere y de la aplicación que se le dará, por lo que los métodos se dividen en químicos y físicos (Parra, 2010; Pérez et al., 2013). Dentro de estos últimos se encuentran el secado por aspersión, técnica más utilizada en la industria alimenticia y farmacéutica por la disponibilidad de los equipos y los bajos costos de producción (Cordova, 2016).

Las microcápsulas están formadas por el núcleo y la cápsula, ambos deben poseer una alta compatibilidad ya que de ello depende su morfología, estabilidad y duración, además del método de obtención (Bastidas, 2019).

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Definición de términos básicos

Alimento: sustancia o producto de carácter natural o artificial apta para el consumo humano. Es cualquier sustancia que aporta la materia y la energía necesarias para realizar nuestras funciones vitales (OMS).

Nutriente: son componentes químicos de los alimentos que se pueden utilizar una vez se han ingerido y absorbido. Comprenden los factores dietéticos de carácter orgánico e inorgánico contenidos en los alimentos y que tienen una función específica en el organismo (OMS).

Existen dos clases de nutrientes: nutrientes mayores (**Macronutrientes**) y nutrientes menores (**Micronutrientes**).

Nutrientes mayores: son aquellos que el cuerpo necesita en mayores cantidades siendo éstos: carbohidratos, proteínas y grasas.

Nutrientes menores: los que el cuerpo necesita en menores cantidades siendo éstos: vitaminas y minerales.

1.2 Microencapsulación en alimentos

La microencapsulación es una técnica usada por la industria alimentaria o farmacéutica, llamada encapsulación y microencapsulación indistintamente. Los procesos de encapsulación fueron desarrollados entre los años 1930 y 1940 por la National Cash Register para la aplicación comercial de un tinte a partir de gelatina como agente encapsulante (Yañez et al., 2002), y en la actualidad abarca una amplia gama de campos, se encapsulan materiales sólidos, líquidos o gaseosos (Usme, Jaramillo y Álvarez, 2013).

El concepto de encapsulación se ha fundamentado en la incorporación de una matriz polimérica, la cual forma un ambiente capaz de controlar su interacción con el exterior. La técnica de microencapsulación ha sido descrita como un

proceso en donde pequeñas partículas o gotas son rodeadas por un recubrimiento homogéneo o heterogéneo integrado a las cápsulas con variadas aplicaciones (Lupo et al., 2012). Se utiliza de igual manera el termino de microencapsulación en la industria alimentaria, cuando encapsulan sustancias de bajo peso molecular o en pequeñas cantidades, aunque los dos términos, encapsulación y microencapsulación, se emplean indistintamente (Arroyo, 2015).

La microencapsulación es un proceso mediante el cual ciertas sustancias químicas, sustancias biológicamente activas (sabores, vitaminas o aceites esenciales) y otro tipo de sustancias, son introducidas en una matriz de biopolímeros con el objetivo de impedir su pérdida, para protegerlos de la reacción con otras sustancias del ambiente o para impedir que sufran reacciones de oxidación debido a la luz o la presencia de oxígeno. Las sustancias microencapsuladas tienen la ventaja de liberarse gradualmente de la matriz o pared que lo tiene atrapado. Y desde luego, se obtienen productos farmacológicos y productos alimenticios con mejores características sensoriales y nutricionales (Castañeda et al., 2011).

Su principal aplicación se da en materiales volátiles permitiendo que los sustratos y productos entren y salgan de la cápsula. El material de interés (fase interna) es introducido en una matriz polimérica porosa (llamado pared) que la absorbe, generalmente formada por polisacáridos complejos (polidextrosas, inulina, geles de agarosa) o proteínas modificadas, cuya finalidad es convertir en un polvo dispersable a escala microscópica (microcápsulas, nanocápsulas) para su posterior liberación. Una microcápsula consiste de una membrana semipermeable, esférica, delgada y fuerte alrededor de un centro sólido/ líquido. Estos sistemas se diferencian por su morfología y estructura interna, caracterizado por su tamaño de partícula es siempre inferior a 1mm (Usme, Jaramillo y Álvarez, 2013).

Entre las principales aplicaciones prácticas de la microencapsulación se destaca la industria farmacéutica, médica, textil, alimentos (Parra, 2011; Rai et al., 2009); pesticida, agroquímica, cosmética, química (Fuchs et al., 2006; Paulo y Santos,

2017); fragancias, tintes, antioxidantes, antimicrobianos y biomédica (Yoplac, 2019).

En el área de alimentos, las aplicaciones de la microencapsulación se han ido incrementando debido a la protección de los materiales encapsulados de factores como calor, humedad, condiciones de procesamiento y empaqueo; mejorando sabor, aroma, estabilidad, valor nutritivo y apariencia de sus productos; además, permitiendo mantener su estabilidad, viabilidad y prolongando su vida útil (Bakry et al., 2016; Gharsallaoui et al., 2007; Lu et al., 2018). Dentro de la industria de alimentos, una de las alternativas para la protección de los Aes es la microencapsulación; debido a que después de ser extraídos de su matriz son altamente inestables (Yoplac, 2019)

La microencapsulación es una tecnología interesante para proteger el aceite de la oxidación durante su almacenamiento y/o procesamiento. La liofilización, debido al uso de bajas temperaturas, podría ser apropiada para aceites susceptibles al deterioro oxidativo (Chen et al., 2013) y constituyen una alternativa a la microencapsulación del aceite de chía. Los tipos de material de pared utilizados en la microencapsulación proporcionan diferente estabilidad oxidativa, dependiendo principalmente de su capacidad para inhibir la transferencia de oxígeno (Kaushik et al., 2015). Las proteínas e hidratos de carbono son utilizados para la microencapsulación de aceites con alto contenido de ω -3 (Sanguansri y Augustin, 2007). Las propiedades emulsificantes del caseinato de sodio (NaCas), ofrecen las características funcionales y físicas necesarias para encapsular los materiales del núcleo lipídico (Hogan, 2001). Los resultados sugieren que las microcápsulas son un sistema alternativo potencial para mejorar la estabilidad del aceite de chía frente a la oxidación de lípidos y su posible uso como ingrediente funcional en el desarrollo de alimentos (Copado, Ixtaina y Tomás, 2017).

Las ventajas de aplicar micro-encapsulado, es que es una tecnología versátil en cuanto a que puede aplicarse a múltiples materiales e ingredientes, para hacerlos más resistentes, duraderos y funcionales; para liberar a los ingredientes activos a velocidades controladas bajo condiciones específicas, protegerlos de la reacción con otros compuestos presentes en el alimento, para protegerlo del

ambiente y agentes extraños e impedir que sufran reacciones de oxidación debido a la luz o al oxígeno, controlar la evaporación del sustrato, disminuir olores y sabores no deseados o, simplemente, para cambiarlos del estado líquido a un polvo de fácil incorporación en formulaciones secas (Sanhueza & Valenzuela, 2008), para obtener productos alimenticios con excelentes características sensoriales y nutricionales, aplicado a sustancias bioactivas, como: vitaminas, minerales, colorantes, prebióticos, probióticos, sabores nutraceúticos, antioxidantes, olores, aceites, enzimas y bacterias. La microencapsulación es especialmente adecuada para el desarrollo de alimentos funcionales de matrices sólidas que aportan cantidades relativamente altas de nutrientes (Usme, Jaramillo y Álvarez, 2013)

Estas especificaciones han llevado a describir la microencapsulación como, la técnica de obtención de una barrera que retarda las reacciones químicas con el medio que lo rodea promoviendo un aumento en la vida útil del producto (Figura 1), la liberación gradual del compuesto encapsulado e incluso facilitando su manipulación al convertir un material líquido o gaseoso a una forma sólida llamada microcápsula (Arroyo, 2015).

FIGURA 1: Representación esquemática de una microcápsula

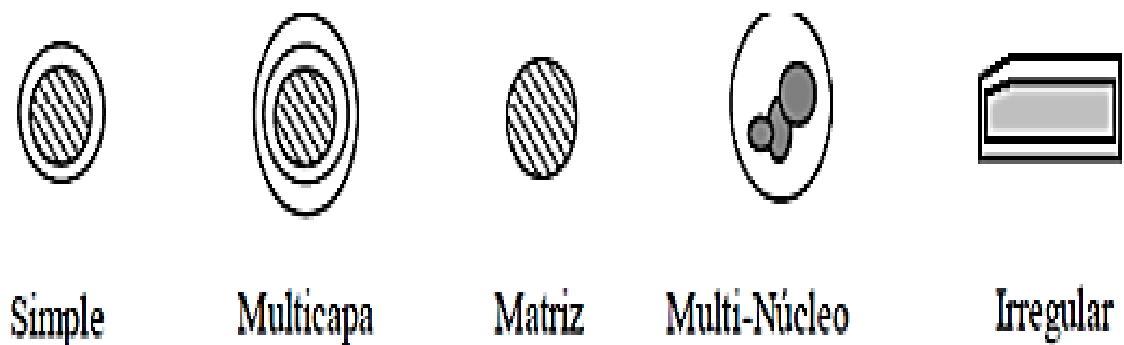


FUENTE: (Castañeda et al., 2011).

En general, una microcápsula posee una estructura compuesta por dos elementos; el material encapsulado (material del núcleo o fase interna) y el agente encapsulante (pared) con propiedades hidrofílicas y/o hidrofóbicas; esta pared protege el núcleo contra el deterioro y liberación bajo condiciones deseada; el tamaño y forma de las micropartículas dependen del material encapsulante y del método utilizado para su obtención (Yoplac, 2019).

Una microcápsula consiste en una membrana esférica, semipermeable, delgada y fuerte que rodea un núcleo sólido o líquido, con un diámetro que varía de pocos a 1000 μm . El núcleo que compone la microcápsula es también denominada fase interna o principio activo, así como a la membrana se puede nombrar capa externa o matriz. En este sentido, las micropartículas, microcápsulas o microesferas son definidas como el producto del proceso de microencapsulación dependiendo de cuál sea su morfología y estructura interna. Las microcápsulas pueden tener forma esférica o irregular. Asimismo, pueden estar constituidas por una membrana simple, múltiples capas e incluso núcleos múltiples cuya matriz puede ser del mismo material o una combinación de varios (Figura 2) (Arroyo, 2015)

FIGURA 2: Tipos de microcápsulas



FUENTE: (Arroyo, 2015).

1.3 Materiales de encapsulación

Actualmente se utilizan una gran variedad de biopolímeros para formar encapsulaciones sencillas y múltiples, la selección se basa en sus características y propiedades, así como la compatibilidad que se puedan tener entre si cada uno de ellos, para realizar dicha interacción y formar más de una capa. Es necesario

tener dos tipos de materiales, uno que provenga del grupo de biopolímeros cargando negativamente como la goma arábica, goma gellan, pectina, alginato, carboximetil celulosa y otro grupo de biopolímeros con carga positiva como la gelatina (cuando se ajusta el pH por debajo del punto isoeléctrico la carga neta en la gelatina es positiva) o el quitosano (Arroyo, 2015)

Los biopolímeros se clasifican de acuerdo a su origen en naturales y sintéticos. Los de origen natural provienen de cuatro grandes fuentes: origen animal (colágeno/gelatina), origen marino (algas, quitosano), origen vegetal (lípidos, hidrocoloides proteínas y polisacáridos) y origen microbiano (ácido poliláctico y polihidroxicanoatos). Por otra parte, se encuentran los biopolímeros sintéticos, que a pesar de su éxito como sistemas encapsulantes no pueden ser utilizados para su aplicación en alimentos a menos que sean reconocidos generalmente como seguros, por sus siglas en inglés GRAS (Arroyo, 2015).

Los materiales de recubrimiento se usan justamente para proteger una sustancia o un objeto de la humedad atmosférica, luz ultravioleta, et. El material cobertor posee una “funcionalidad” adicional, como ser, autorregenerativo, autolimpiante, percepción suave, antibacteriana, anticorrosiva y otros (Castañeda et al., 2011).

Los polímeros más populares para los ingredientes alimentario en encapsulación están la gelatina, la proteína de suero de leche) y carbohidratos tales como almidones, maíz, sólidos de jarabe o maltodextrinas (Arroyo, 2015)

Dentro de estos materiales de recubrimiento tenemos:

1.3.1 Lípidos

Dentro de los principales agentes encapsulante de carácter lipídico están: grasa láctea, lecitinas, ceras, ácido esteárico, monoglicéridos, diglicéridos, parafinas, aceites hidrogenados como el aceite de palma, algodón y soya; son excelentes formadores de películas capaces de cubrir las particulares individuales, proporcionando una encapsulación uniforme (Parra, 2010). La cera de carnauba, el alcohol estearílico y el ácido esteárico son grasas que funden a una determinada temperatura y son erosionables por la acción de las lipasas que existen en la cavidad gástrica (Arroyo, 2015)

1.3.2 Alginato

Es un polímero natural derivado de las algas marinas. Este es el más utilizado para la formación de matrices (García-ceja et al., 2012). Los hidrocoloides han sido empleados como matriz debido a su capacidad para absorber agua, fácil manipulación e inocuidad. El alginato es un hidrocoloide que posee tanto estas características como propiedades gelificantes, estabilizantes y espesantes, razones por las cuales ha sido de gran interés para la industria alimentaria (Arroyo, 2015).

Aunque se le han atribuido algunas desventajas como su aplicación a nivel industrial y susceptibilidad al ambiente ácido, esto puede ser compensado mezclando el alginato con otros compuestos poliméricos (almidón), al cubrir las capsulas son otros componentes (quitosano) y modificar su estructura utilizando varios aditivos como por ejemplo glicerol (Arroyo, 2015).

1.3.3 Quitosano

Es un polisacárido natural de alto peso molecular, se encuentra en el exoesqueleto de los crustáceos y las paredes celulares de algunos hongos. Ha sido utilizado ampliamente en áreas, una de ellas en la encapsulación de probióticos, mezclándose con otros polisacáridos para la formación de capsula (García-Ceja et al., 2012). Se trata de un componente que muestra una buena eficacia para incrementar la viabilidad de las células microbianas. A un pH ácido tiene mayor facilidad de disolución por lo que constantemente se emplea en combinación con otro polímero como el alginato que soporta el pH ácido estomacal. Una vez que alcanza el intestino delgado es degradado por el microbiota endógeno (Arroyo, 2015).

1.3.4 Carbohidratos

Son extensivamente empleados en la encapsulación, dentro de este amplio grupo se encuentran los almidones, maltodextrinas y gomas (Arroyo, 2015).

1.3.4.1 Almidones

El almidón se compone básicamente de amilosa y amilopectina. Por su funcionalidad como agente prebiótico, el almidón resistente puede ser

utilizado por los probióticos por lo que es ideal para la encapsulación (García-Ceja et al., 2012). Dentro de los almidones más importantes se destacan el de papa (*Solanum tuberosum*), maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum aestivum*), arroz (*Oryza sativa*), tapioca (*Manihot esculenta*) e inulina (Arroyo, 2015).

1.3.4.2 Maltodextrinas

Se elaboran por métodos de hidrólisis ácida o enzimática de los almidones. En la selección de materiales de pared para encapsular, la maltodextrina es una solución entre el costo y la efectividad; tiene baja viscosidad a alta proporción de sólidos, son inodoras y de baja viscosidad a altas concentraciones, además permiten la formación de polvos de libre flujo sin enmascarar el sabor original, está disponible en diferentes pesos moleculares y son extensivamente utilizados en la industria de alimentos (Arroyo, 2015).

1.3.4.3 Gomas

Son generalmente insípidas, pero pueden tener un efecto pronunciado en el gusto y sabor de alimentos, son solubles, de baja viscosidad, poseen características de emulsificación y es muy versátil para la mayoría de los métodos de encapsulación (Parra, 2010). Entre las gomas más utilizadas como material de encapsulación se encuentra la goma xantana, k-carragenina y la goma arábica (Arroyo, 2015)

1.3.5 Proteínas

La gelatina fue el primer material utilizado en la microencapsulación, y es, en la actualidad, un material con un importante potencial. La albúmina y el colágeno también se han empleado en la obtención de micropartículas (Caicedo, 2010). Respecto a la gelatina es una goma de proteína, es un gel termorreversible y fue utilizado para la encapsulación de probióticos, solo o en combinación con otros compuestos. Debido a su naturaleza anfótero, es una excelente opción para la unión con polisacáridos aniónicos tales como goma gellan (Arroyo, 2015).

1.3.5.1 Proteínas de suero lácteo

Las proteínas aislado del suero lácteo (PS) tienen todas las propiedades funcionales necesarias para un agente encapsulante. En el mercado la proteína se puede encontrar como proteína aislada de suero (PS) (95-96% proteína) o concentrado de suero (CPS). El CPS ofrece las propiedades requeridas para estabilizar emulsiones. Las PS se han utilizado en combinación con hidratos de carbono y actúan como agentes encapsulantes de compuestos volátiles. La proteína de suero más usada en la industria alimentaria es la beta-lactoglobulina debido a sus propiedades emulsificantes (Arroyo, 2015).

1.3.6 Antioxidantes

Vitaminas liposolubles (por ejemplo, vitamina A, D, E, K y carotenos) y vitaminas hidrosolubles como vitamina C pueden ser encapsuladas utilizando varias tecnologías. Para la encapsulación de vitamina C, la aspersion por enfriamiento, por congelamiento o recubrimiento de lecho frío, pueden ser utilizada, para posteriormente ser añadida a alimentos sólidos, como barras de cereales, galletas o pan (Parra, 2010).

La vitamina E o tocoferol muestra buena estabilidad en la ausencia de oxígeno; en contraste, la velocidad de degradación de esta vitamina se incrementa en presencia de oxígeno molecular y puede ser especialmente rápida cuando radicales libres están presentes, para evitar esta degradación se puede encapsular el tocoferol protegiéndolo contra la pérdida por oxidación durante almacenamiento a 35°C por un periodo menor de 3 meses utilizando una matriz hidrofílica para obtener partículas hidrosolubles. Una vez encapsulado, la adición de α -tocoferol (100 ppm) retrasa la oxidación de aceite de pescado encapsulado en caseinato de sodio con carbohidratos (25-50% p/p de aceite) (Shantha, Weerakkody y Augustin, 2009); sin embargo, medidas adicionales (empaquetamiento, atmosferas neutras) son recomendadas (Fuchs et al., 2006). Aparte del encapsulamiento de aceites, el tocoferol basado en microcápsulas de alginato de sodio, ha sido utilizado como material natural, resistente contra el fluido gástrico simulado (Parra, 2010).

Se han elaborado microencapsulados a partir de un gran número de frutas y verduras, por ejemplo: jugos de vegetales como tomate, pepino, zanahoria,

lechuga, remolacha, espinaca, apio y perejil (García et al., 2004). Sustancias volátiles como aceites de naranja, aldehídos cinámicos, etil buturat, etilpropionato, entre otras pueden ser encapsuladas utilizando goma arábica y maltodextrinas. Este procedimiento puede limitar la degradación de los compuestos mencionados, por pérdidas durante el procesamiento almacenamiento (Parra, 2010).

Tabla N°1. Materiales Encapsulantes

Tipos de encapsulantes	Encapsulante específico
Gomas	Arábica, agar, alginato de sodio, carragenina
Carbohidratos	Almidón, maltodextrinas, quitosano dextranos, sacarosa, jarabes de maíz
Celulosas	Etilcelulosa, metilcelulosa, acetilcelulosa, nitrocelulosa, caboximetil-celulosa
Lípidos	Ceras, parafinas, diglicéridos, monoglicéridos, aceites, grasas, ácido esteárico, triestearina
Proteínas	Gluten, caseína, albúmina, WPI, gelatina
Materiales inorgánicos	Sulfato de calcio, silicatos

Fuente: (Rivera, 2020).

1.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA MICROENCAPSULACIÓN

Las ventajas y desventajas al utilizar este método varían de acuerdo a la técnica empleada, pero podemos mencionar algunas que generalmente afectan a este proceso;

1.4.1 Ventajas

Según (Parra, 2010).

- Proteger el material activo de la degradación producida por el medio ambiente (calor, aire, luz, humedad), etc.
- El compuesto encapsulado se libera gradualmente del compuesto que lo ha englobado o atrapado en un punto determinado.
- Las características físicas del material original pueden ser modificadas y hacer más fácil su manejo (un material líquido convertido a polvo), la higroscopia puede ser reducida, la densidad se modifica y el material contenido puede ser distribuido más uniformemente en una muestra.
- El sabor y olor del material puede ser enmascarado.
- Puede ser empleado para separar componentes, con el fin de que estos no reaccionen.
- Estabilización de principios activos inestables.
- Transformación de líquidos en sólidos.

1.4.2 Desventajas

Según (Arroyo, 2015).

- Limitación en la elección del material encapsulante.
- Tecnología restringida y patentada por lo que puede resultar costosa.
- Variación de peso, ya que es difícil controlar el grosor de la película.

1.5 APLICACIONES DE LA MICROENCAPSULACIÓN

La aplicación de la microencapsulación alcanza campos muy variados:

- En la agricultura se utiliza al formular algunos insecticidas y en los fertilizantes de cesión lenta.
- En la industria alimentaria las microcápsulas se emplean para mantener la calidad de sustancias grasas, aceites, colorantes, saborizantes y aromatizantes. En el caso de microencapsulados de componentes alimenticios la función del encapsulado ofrece muy diferentes posibilidades.
- Proteger los componentes alimenticios susceptibles de oxidación o descomposición del oxígeno, el agua y la luz.
- Mejorar el manejo de líquidos, convirtiéndolos en sólidos para que se puedan incorporar en otros preparados alimenticios. El transporte del material sólido resulta mucho más rentable, debido a su menor peso y mayor manejabilidad.
- En cosmética y perfumería, es también frecuente su uso. Microcápsulas con sustancias olorosas liberan el perfume al frotar suavemente tras su aplicación.
- En farmacia reducen el efecto irritante causado por algunos medicamentos en la mucosa gástrica. Consiguen una liberación sostenida o controlada del principio activo a partir de la forma farmacéutica y también que la liberación se produzca a modo de pulsos a un determinado pH. (Huertas y Moreno, 2015)

1.6 MÉTODOS DE MICROENCAPSULACIÓN

La encapsulación se considera como una tecnología de incorporar materiales de protección a pequeñas capsulas que se pueden liberar a velocidad controlada bajo condiciones específicas. Muchas de las tecnologías de encapsulación, tales como la tecnología de emulsión, método de extrusión y secado por aspersion son muy utilizadas en la industria (Arroyo, 2015).

De acuerdo a (Madene et al., 2006). Las técnicas de encapsulación se pueden clasificar en mecánicas o físicas y químicas; en la tabla N°2 se muestra dicha clasificación. Sin embargo, (Gouin et al., 2004) menciona algunas otras técnicas utilizadas en la encapsulación de ingredientes alimentarios, como son: la coextrusión centrífuga y de disco giratorio, gelación iónica o por cápsulas de alginato, inclusión en liposomas, y expansión rápida de soluciones supercríticas. (Guevara y Jiménez, 2008).

Tabla N°2. Clasificación y características de algunos métodos de encapsulación

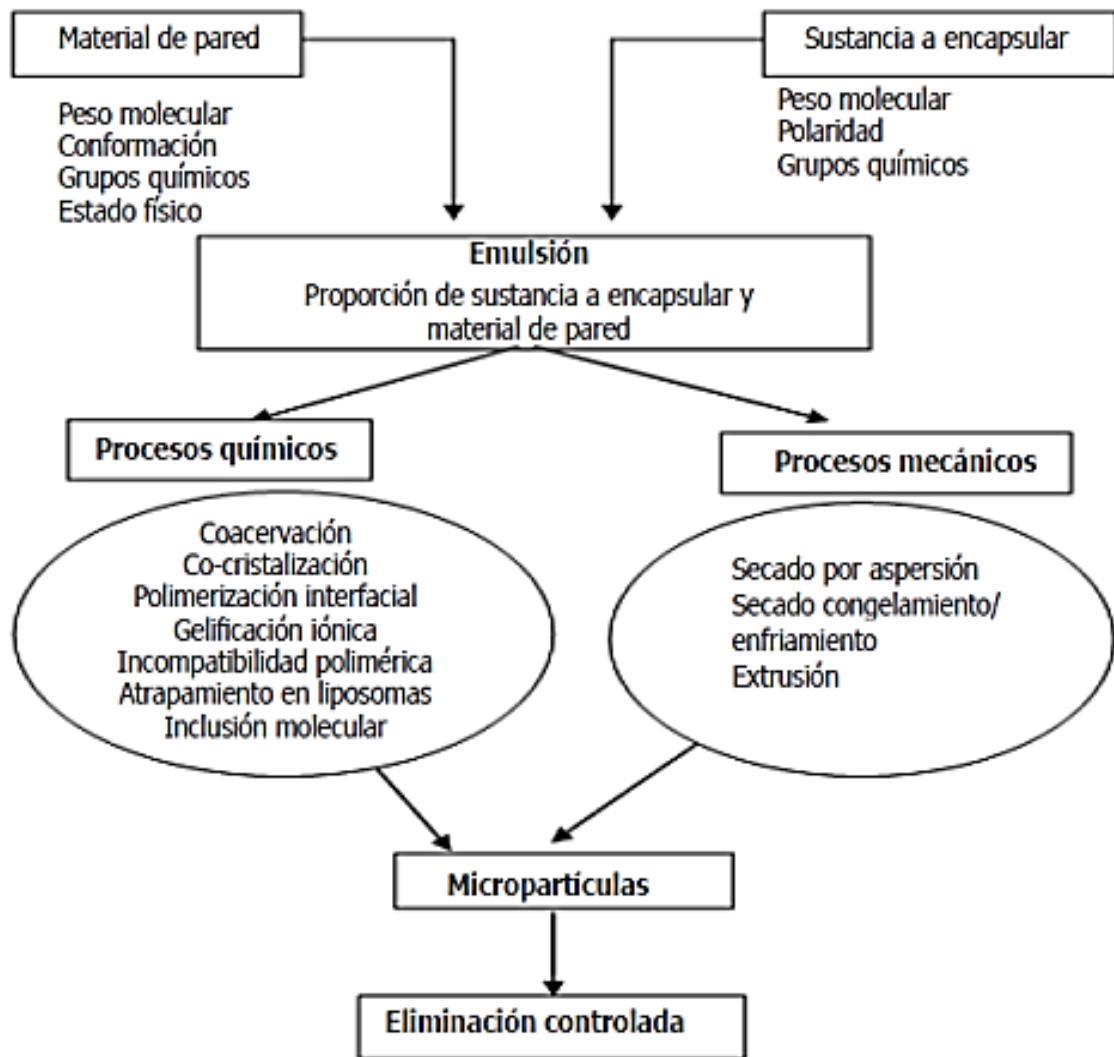
Tipo de técnica	Método de encapsulación	Tamaño de partículas (µm)
Químicas	coacervación simple	20 - 200
	Coacervación compleja	5 - 200
	Inclusión molecular	5 - 50
Mecánicas	Secado por atomización	1 - 50
	Enfriamiento por atomización	20 - 200
	Extrusión	200 - 2000
	Fluidización en lecho	> 100

Fuente: (Guevara y Jiménez, 2008).

Existen diversos métodos de microencapsulación los cuales se dividen en dos grupos: procesos químicos y mecánicos. En los procesos químicos se encuentran método de coacervación, gelificación iónica, entre otros, mientras en los procesos de mecánicos están secado por aspersion, liofilización, por congelamiento y enfriamiento, extrusión, emulsión y por lecho fluidizado (García-

Ceja et al., 2012). Estos diferentes mecanismos de microencapsulación se pueden esquematizar de la siguiente manera ver figura 3 (Arroyo, 2015)

FIGURA 3: Ilustración esquemática de los diferentes procesos de microencapsulación



FUENTE: (Arroyo, 2015)

Existen numerosas técnicas para la producción de microcápsulas y se han sugerido que podrían identificarse más de 200 métodos en la literatura de patentes. No obstante, algunos autores clasifican a los métodos de encapsulación en físicos o mecánicos y químicos (Santos, 2014). La selección del método de encapsulación está en función del: tamaño medio de la partícula requerida, de las propiedades físicas del agente encapsulante, de la sustancia a

encapsular, de las aplicaciones del material encapsulado propuesto, del mecanismo de liberación deseado y del costo (Arroyo, 2015).

En la figura 4 se encuentran algunas de estas técnicas, así como sus características principales. Aunque como se ha visto existe una gran variedad de técnicas de encapsulación, en esta revisión se presentarán las más utilizadas en el área de alimentos (Guevara y Jiménez, 2008).

FIGURA 4: Algunas técnicas de encapsulación, características y limitantes

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

Sencillo	Laborioso	No viable
----------	-----------	-----------

FUENTE: (Guevara y Jiménez, 2008)

En la tabla N°3 se encuentran algunos ejemplos de materiales de cubierta y técnicas de microencapsulación más comunes en las que se utilizan (Inescop, 2016).

Tabla N°3. Ejemplos de materiales de cubierta y técnicas de microencapsulación más comunes en las que se utilizan.

Materiales Barrera	-----Mecanismo de Liberación-----			
	Mecánico	Térmico	Disolución	Químico
Solubles en Agua				
Alginato	x		x	
Carragenina	x		x	
Caseinato	x		x	
Quitosano	x			
Celulosa modificada	x		x	
Gelatina	x			
Goma de Xantano	x	x		
Goma Arábica	x	x		
Látex	x		x	
Almidón	x		x	
Insoluble en Agua				
Etilcellulosa	x			
Alcoholes grasos	x	x		x
Ácidos Grasos	x	x		x
Resinas de Hidrocarburos	x	x		
Mono, di y triacil glicerol	x	x		
Ceras Naturales	x	x		
Polietileno	x	x		

Fuente: (Arroyo, 2015).

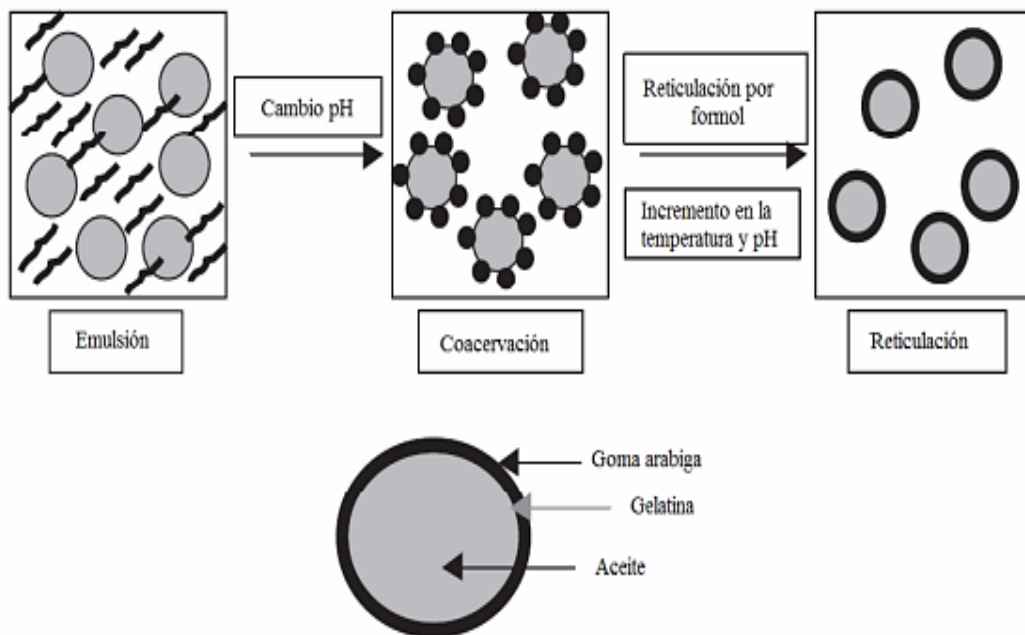
1.6.1 Procesos Químicos

1.6.1.1 Coacervación

Consiste en un soluto polimérico separado en forma de pequeñas gotas líquidas, que constituye el coacervado. La deposición de este coacervado alrededor de las partículas insolubles dispersas en un líquido forma cápsulas incipientes, que por una gelificación apropiada da las cápsulas finales. Es un fenómeno que se presenta en soluciones coloidales y se considera como el método original de encapsulación (Parra, 2010). Con esta técnica, se puede obtener microcápsulas esféricas muy pequeñas, de

hasta de 4 μm y con una carga de material a encapsular de alrededor de 90%. Además, proporcionan una buena protección contra las pérdidas por volatilización y contra la oxidación (Martín et al., 2009). Para la encapsulación este proceso ha sido extensivamente utilizado para la producción de microcápsulas de alcohol polivinilo, gelatina-acacia y varios otros polímeros (Arroyo, 2015)

FIGURA 5: Proceso de Coacervación



FUENTE: (Guevara y Jiménez, 2008)

1.6.1.2 Co-Cristalización

Es un proceso de microencapsulación donde dos ingredientes son incorporados en un conglomerado poroso de microcristales de sacarosa formados por cristalización espontánea. Los procesos son llevados a cabo por concentración de jarabes de sacarosa hasta supersaturación. Lo anterior se logra con agitación constante del material a encapsular, esto permite una nucleación y aglomeración del producto (Arroyo, 2015).

La co-cristalización es una alternativa flexible y económica por ser un procedimiento relativamente simple; numerosos productos pueden ser encapsulados como jugos de frutas, aceites esenciales, saborizantes, aromatizantes y azúcar morena (sacarosa) etc. La estructura del cristal de

sacarosa puede ser modificada para formar agregados de cristales muy pequeños que incorporan los sabores, un ejemplo puede ser la cristalización espontánea del jarabe de sacarosa lograda a altas temperaturas (cerca de 120 °C). Durante el proceso, el líquido saborizado es transformado en gránulos secos y algunos compuestos termosensitivos pueden ser degradados. El aceite de la cáscara de naranja ha sido encapsulado utilizando procesos de co-cristalización, además de aceites vegetales (Parra, 2010).

1.6.1.3 Polimerización Interfacial

En este proceso se produce la polimerización de un monómero en la interfase de dos sustancias inmiscibles, formando una membrana, que dará lugar a la pared de las microcápsulas. Este proceso tiene lugar en tres pasos como la describe (Parra, 2010).

1. Dispersión de una solución acuosa de un reactante soluble en agua, en una fase orgánica para producir una emulsión de agua en aceite.
2. Formación de una membrana polimérica en la superficie de las gotas de agua, iniciada por la adición de un complejo soluble en aceite a la emulsión anterior.
3. Separación de las microcápsulas de la fase orgánica y su transferencia en agua para dar una suspensión acuosa. La separación de las microcápsulas se puede llevar a cabo por centrifugación (Parra, 2010).

La selección del método de encapsulación está en función del: tamaño medio de la partícula requerida, de las propiedades físicas del agente encapsulante, de la sustancia a encapsular, de las aplicaciones del material encapsulado propuesto, del mecanismo de liberación deseado y del costo (Parra, 2010).

1.6.1.4 Gelificación iónica

Este método se desarrolló para lograr la inmovilización celular, utilizando esencialmente alginato como materia prima de la membrana en combinación con iones divalentes como calcio, para generar gelificación. La correlación iónica entre los iones calcio y los similares del ácido gulurónico del alginato, dan origen al gel que se conoce como “modelo de

la caja de huevo”. En el momento de interactuar los iones calcio con el alginato el gel es formado de manera instantánea, es posible la manipulación de la dureza del gel cambiando las condiciones de fabricación como, por ejemplo, el pH, concentración de iones, etc (Arroyo, 2015).

Existen dos tipos de gelificación la externa y la interna, (Parra,2010). Mediante esta técnica se pueden encapsular agentes activos como vitaminas, antioxidantes, hierro y una gran gama de probióticos (Arroyo, 2015).

1.6.1.4.1 Gelificación Externa

En la gelificación externa, la sal de calcio soluble es agregada a una emulsión A/O. El tamaño de partículas no puede ser bien controlado y las partículas tienden a coagular en grandes masas antes de adquirir la consistencia apropiada. Además, el tamaño de partícula que se obtiene es grande entre 400 μm y 1 mm (Parra, 2010).

1.6.1.4.2 Gelificación Interna

La gelificación interna se basa en la liberación del ión desde un complejo insoluble en una solución de alginato de sodio. Esto se lleva a cabo por acidificación de un sistema aceite-ácido soluble, con participación en la fase acuosa del alginato. Esta técnica permite obtener partículas de un tamaño de aproximadamente 50 μm . De acuerdo con esta técnica, a la fase acuosa, generalmente formada por alginato y carbonato cálcico, se le adiciona la fase oleosa (aceite vegetal, Span 80 y ácido acético) (Parra, 2010).

1.6.1.5 Incompatibilidad Polimérica

En este método se utiliza el fenómeno de separación de fases, en una mezcla de dos polímeros químicamente diferentes e incompatibles en un mismo solvente. El material a encapsular interactuará solo con uno de los polímeros, el cual se absorbe en la superficie del material a encapsular, formando una película que los engloba. De manera general, este proceso se lleva a cabo en solventes orgánicos y cuando el material a encapsular es sólido (Arroyo, 2015).

1.6.1.6 Liposomas

Para la aplicación en sistemas alimenticios líquidos, la mejor forma para proteger ingredientes hidrosolubles es por encapsulación en liposomas. Son una única o multicapa de fosfolípidos conteniendo cualquier componente lipofílico. Puede describirse como vesículas que se forman cuando películas de fosfolípidos son dispersadas en un medio acuoso, son selectivamente permeables a iones y se pueden formar cuando una solución acuosa de sustancia activa, es mezclada con la película del lípido; su aplicación en alimentos es posible si solventes no orgánicos son utilizados, por ejemplo, empleando deshidratación (Arroyo, 2015).

Materiales hidrofóbicos e hidrofílicos pueden ser atrapados en liposomas que también pueden ser utilizados para la liberación de vacunas, enzimas y vitaminas del cuerpo; estos materiales consisten de una o más capas de lípidos no tóxicos y aceptables en alimentos; sin embargo, la permeabilidad, estabilidad, actividad superficial y afinidad pueden variar con el tamaño y composición del lípido. La liberación del principio activo se realiza por difusión a través de la bicapa, por destrucción de la vesícula, por medio de una concentración crítica de iones de calcio o por un cambio de pH (Arroyo, 2015).

1.6.1.7 Inclusión Molecular

Esta técnica es definida como el resultado de interacciones entre componentes en los cuales una pequeña molécula se ajusta dentro de otra molécula y es rodeada por la forma circular de la otra molécula que es el agente encapsulante, en este caso es la ciclodextrina. A través de este proceso se pueden proteger sabores y otros ingredientes sensibles al calor que son adicionales en alimentos, aceite de ajo, cebolla y vitaminas A, E, K (Parra, 2010).

1.6.2 Procesos Mecánicas o Físicas

1.6.2.1 Secado por Atomización o Aspersión

Es el método comúnmente utilizado para encapsular ingredientes alimenticios y además el más económico. Es una técnica de secado ya que transforma un material líquido en un sólido; produce partículas que protegen el material activo en matrices formadas generalmente por polímeros (Santos, 2014). Es el método más común de encapsulación de

ingredientes alimenticios, como ejemplos se tienen: vitaminas (C, E), ácido fólico, aromas, orégano, citronela, aceite de cardamomo, bacterias probióticas, lípidos, ácido linoléico, aceites vegetales; minerales como hierro; pigmentos de antocianina y leche entre otros alimentos (Parra, 2010). Una de las grandes ventajas de este proceso, además de su simplicidad, es que es apropiado para materiales sensibles al calor, ya que el tiempo de exposición a temperaturas elevadas es muy corto (Martín et al., 2009). En la tabla 4, se presenta algunas otras ventajas y desventajas de esta de encapsulación (Medene et al.,2006). En comparación con otros métodos, el secado por aspersión proporciona una eficiencia de encapsulación que alcanza con el secado por aspersión, se encuentra entre 96 y 100%, valores superiores en comparación con otros métodos (Parra, 2010).

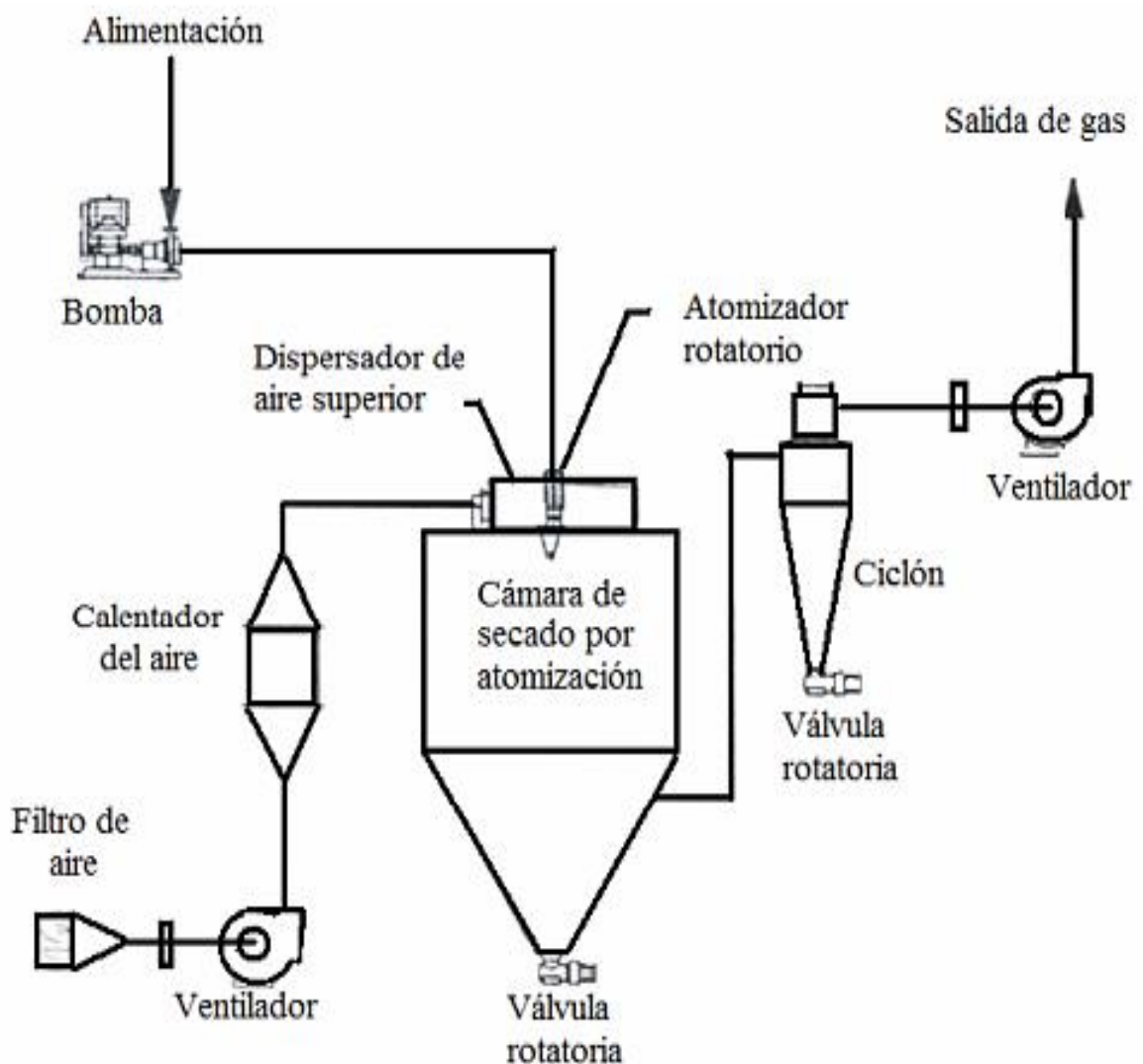
Tabla N°4. Ventajas y Desventajas de la encapsulación por secado por atomización o aspersión

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

Fuente: (Guevara y Jiménez, 2008).

Este método ha sido aplicado para la encapsulación de sabores, vitaminas, minerales, microorganismos, entre otros, empleando almidones modificados, maltodextrinas y gomas como agentes acarreadores, aunque actualmente también se han probado en coloides y gomas naturales, buscando incrementar la retención de compuestos volátiles y la vida de anaquel de los encapsulados (Pedroza-Islas, 2002; Scottitantawat et al., 2005 Yáñez, 2005). En la figura 6, se muestra un esquema del equipo utilizado para el secado de atomización o aspersion (Guevara y Jiménez, 2008)

FIGURA 6: Secado por atomización o aspersion



FUENTE: (Guevara y Jiménez, 2008).

1.6.2.2 Atomización o Aspersión por congelamiento o enfriamiento

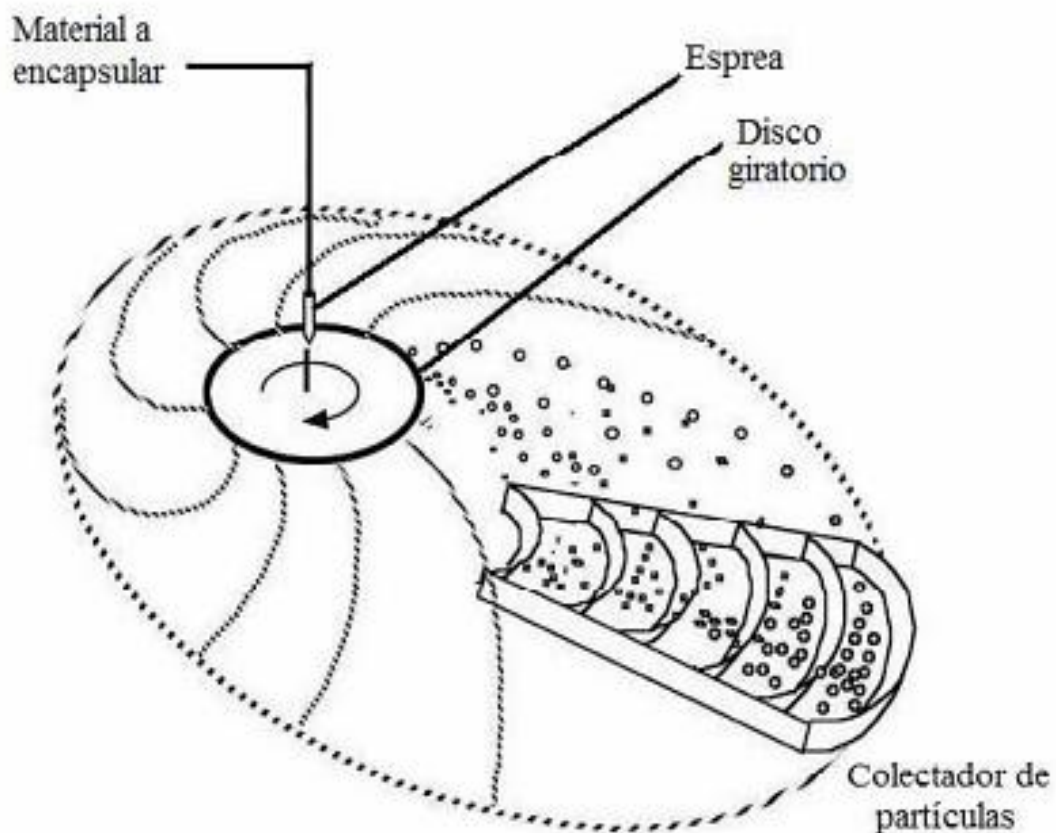
Este método es considerado uno de los más adecuados para el secado de materiales biológicos y alimentos sensibles (Parra, 2010). En este método el material encapsulante pasa por un tratamiento de fusión. La combinación de la cubierta con el material a encapsular, que se encuentra distribuido en la misma, es fundido en una cámara por lo que atraviesa una corriente de aire frío o un gas enfriado con anterioridad (Parra, 2010). El siguiente paso es pulverizar la muestra. Los materiales que se utilizan como cubierta tienen un punto bajo de fusión, como por ejemplo las ceras, grasas y ácidos grasos, esta técnica es adecuada para compuestos termolábiles (Hernández, 2011). Vitaminas, minerales, acidulantes, materiales líquidos a bajas temperaturas, materiales sensibles al calor y aquellos materiales no solubles con el solvente son encapsulados mediante secado por enfriamiento. Por otra parte en sopas e ingredientes para panificación se utiliza la técnica de secado por congelamiento (Gibbs et al., 1999). Estos dos métodos son considerados económicos y frecuentemente utilizados para encapsulación de compuestos con liberación controlada mediante el punto de fusión del material encapsulante (Arroyo, 2015).

1.6.2.3 Coextrusión centrifuga y Disco giratorio

Ambos son métodos de atomización que pueden utilizarse en la encapsulación modificada por enfriamiento. La técnica de disco giratorio (figura 7) involucra la formación de una suspensión de los agentes activos en el líquido encapsulante y el paso de esta suspensión sobre un disco giratorio bajo condiciones que conducen a la formación de una película de encapsulante mucho menor que el tamaño de partícula del agente activo. Se puede decir que consiste en la desintegración del sistema, donde el líquido alimentado es distribuido centralmente sobre el torno o disco y acelerado por centrifugación antes de que se descargue a una atmósfera con aire en forma de gotas (Teunou, 2005). Las cuales son atomizadas por enfriamiento o por secado (Peggy y Shaihi, 1999). La coextrusión centrifuga está basada en una espina doble modificada, donde el ingrediente activo es bombeado a través de la parte interna de la espina, mientras el material encapsulante es bombeado a través de la parte externa de la espina, y se unen en un dispositivo giratorio que gira sobre su propio eje

vertical (Gouin, 2004). A la vez que va girando, tanto el agente activo como el agente encapsulante son extruídos a través de los orificios concéntricos de la esprea; la fuerza centrífuga permite que la barra extruida sea expulsada formando pequeñas partículas y por acción de la tensión superficial el agente encapsulante envuelva al agente activo (Guevara y Jiménez, 2008).

FIGURA 7: Esquema del Atomizador del disco giratorio



FUENTE: (Guevara y Jiménez, 2008).

1.6.2.4 Liofilización

Según (Alvarado, 2013), “La liofilización es uno de los métodos de secado más utilizados para alargar la vida útil de los alimentos”. Y es considerado como el mejor método de secado, porque se conserva las características nutritivas y organolépticas de los alimentos (Ramírez, 2006). En otras palabras, no afecta a las características físico químicas, y permite su conservación en ambientes con 15% de humedad (Aroca y Proaño, 2020).

En un sentido más amplio, el proceso de liofilizado se realiza en estado de sublimación (Orrego, 2008), en donde el contenido de agua del alimento en estado sólido pasa a vapor, omitiendo el estado líquido. Obteniendo finalmente un alimento con menor peso y mismo volumen, pero conservando el valor nutricional (Parzanese, 2012). En esta función se trabaja en 0.01°C y 4.5 mmHg (Aroca y Proaño, 2020).

1.6.2.4 Liofilización de microorganismos

La conservación de microorganismos a largo plazo se da por medio del secado por congelación o secado térmico (Gao & Li, 2016). Este método es usado a menudo para la preservación y almacenamiento de muestras biológicas (Ávila et al., 2015). La liofilización es un método utilizado para la conservación de microorganismos, manteniendo su viabilidad a temperatura ambiente por largos periodos de tiempo (Fernandez y Romero, 2020).

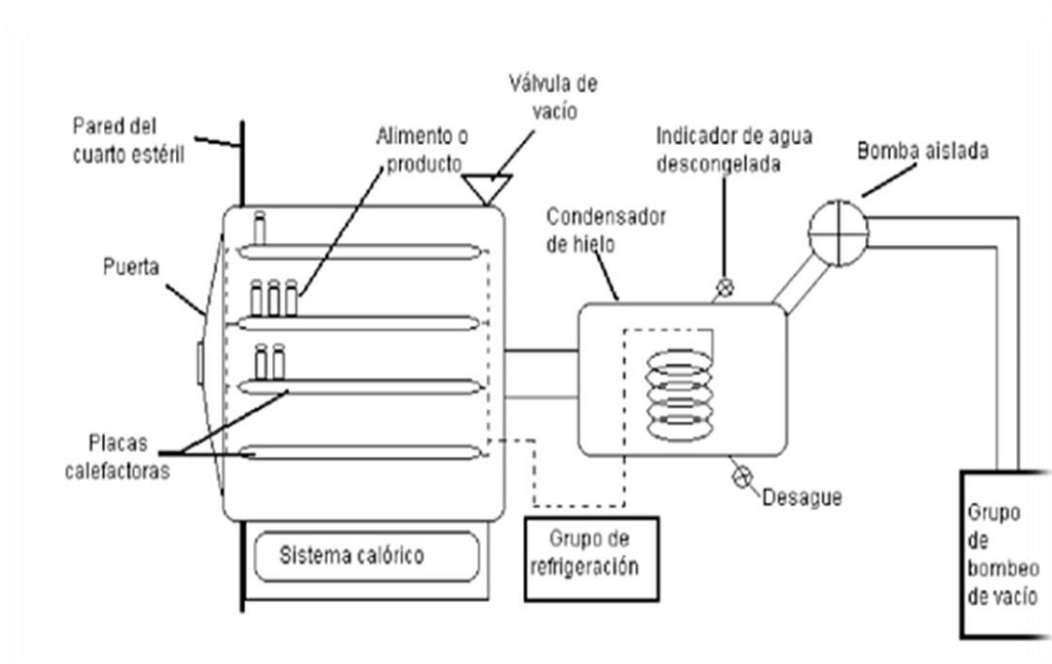
1.6.2.4.1 Proceso de Liofilización

- 1. Preparación.** Lo primero es verificar que las materias primas serán óptimas para el consumo, luego acondicionarlas de manera correcta en los equipos (Aroca y Proaño, 2020).
- 2. Congelación.** Se realizan en congeladores que forman parte del liofilizador o congeladores independientes. En esta etapa el agua libre presente en el alimento es congelado entre temperatura de - 20°C y - 40°C (Orrego, 2008). La importancia de congelar la materia prima, es para obtener una estructura sólida y evitar presencia líquida, de manera que el secado se realice por sublimación. Durante la congelación los alimentos se cubren de cristales de hielo eutéctico (hielo muy compacto) (Aroca y Proaño, 2020)
- 3. Desecación Primaria.** Se inicia con la reducción inicial del agua mediante sublimación. En esta etapa se reduce la

presión interior de la cámara usando bomba de vacío y aplicando calor al alimento (evitando subir la temperatura). Es decir, el hielo se sublima de la parte superficial del alimento y mientras avanza el proceso, el estado de sublimación retrocede para que el vapor pase por las capas secas y así poder salir del producto (Aroca y Proaño, 2020).

- 4. Deseccación secundaria.** En esta última etapa, la materia prima pasa por desorción, donde el agua que no fue congelada o también conocido como agua ligada es evaporada, obteniendo como resultado un producto con humedad menor al 2% (Aroca y Proaño, 2020).

FIGURA 8: Equipo de Liofilización



FUENTE: (Parzanese, 2012).

FIGURA 9: Alimentos Liofilizados



FUENTE: (Parzanese, 2012).

1.6.2.5 Extrusión

Este procedimiento consiste en la formación de una emulsión con el agente activo y el agente encapsulante, la cual se hace pasar por un tornillo extrusor a alta presión. Es la segunda técnica más utilizada en la encapsulación. Su aplicación más importante en el área alimenticia es para la encapsulación de sabores, ya que las matrices de carbohidrato al estar en su estado vítreo, presentan buenas propiedades de barrera contra la oxidación de estos ingredientes volátiles. También se utiliza para encapsular vitaminas y colorantes que posteriormente se usan en la elaboración de bebidas, pasteles, gelatinas, postres, entre otros (Madene et al., 2004; Yañez et al., 2005). En la figura 10, se presenta un ejemplo del equipo utilizado en la encapsulación de micropartículas por extrusión. (Guevara y Jiménez, 2008).

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

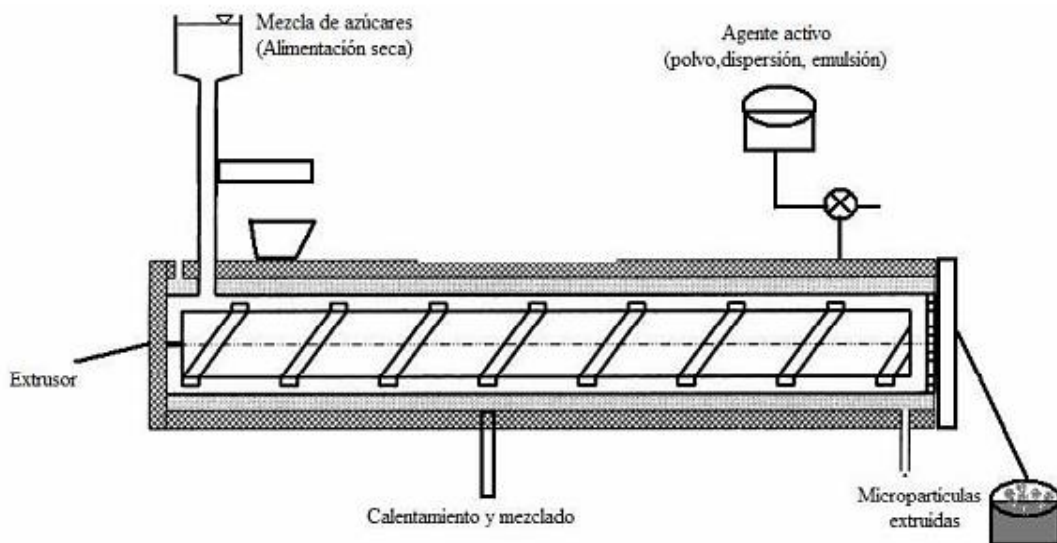
1. Los extrusores son equipos que pueden manipularse de acuerdo a las temperaturas y velocidades de corte deseadas, variando

parámetros como el diseño de tornillo, calentamiento del cilindro, velocidad de mezclado, velocidad de alimentación, contenido de humedad, entre otros.

2. Posibilidad de incorporar los agentes activos en varios puntos del proceso; para el caso de materiales lábiles al calor, éstos pueden incorporarse al final del proceso para evitar su degradación.
3. Este tipo de equipo, además puede producir diferentes formas en las matrices o microcápsulas obtenidas.
4. Se requieren pequeñas cantidades de agua para cambiar los carbohidratos del estado vítreo al estado cristalino en el extrusor, por lo que no se requiere de posterior secado.
5. En general se obtienen rendimientos altos, mayores al 30%.
6. Se le considera económico ya que es un sistema continuo además de que no requiere un secado posterior (Guevara y Jiménez, 2008).

Por otra parte, una de las limitantes de esta técnica es el gran tamaño de partícula obtenido (500-1000 μm), lo cual limita su aplicación por ejemplo para el caso de sabores, donde la sensación en la boca es un factor esencial. Otra limitante es la escasa variedad de agentes encapsulantes, entre los que se encuentran, maltodextrinas de diferentes equivalentes dextrosa, almidón y mezclas de aditivos (Guevara y Jiménez, 2008).

FIGURA 10: Equipo utilizado para encapsulación de micropartículas por extrusión



FUENTE: (Guevara y Jiménez, 2008).

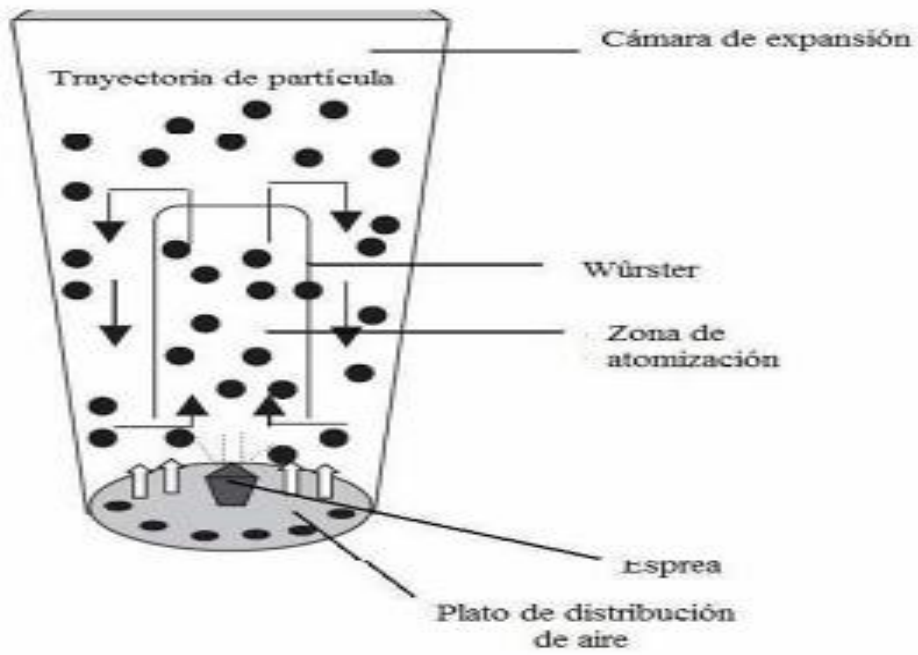
1.6.2.6 Fluidización en lecho

se trata de una técnica muy eficiente para lograr capas uniformes del material encapsulante y formar partículas sólidas. Usualmente se manejan equipos con aditamentos de atomización, Wurster o rotacionales (fig. 11), para lograr la fluidización de las partículas, y compensar la fuerza de gravedad. Se obtienen cápsulas desde 100 μm hasta unos cuantos milímetros; sin embargo, para partículas pequeñas las fuerzas electrostáticas son de suma importancia para el proceso. Polisacáridos, proteínas, emulgentes, grasas, formulaciones complejas, cubiertas entéricas, polvos encapsulantes y extracto de levadura, son algunos materiales que se utilizan como agentes encapsulantes. Muchos ingredientes alimenticios han sido encapsulados por esta técnica: ácido ascórbico, acidulantes para procesar carne, agentes leudantes. Partículas secadas por atomización también utilizan esta técnica incluyendo una cubierta de grasa, para impartir una mejor protección y vida de anaquel (Guevara y Jiménez, 2008).

Básicamente los pasos del proceso son los siguientes: primero las partículas que serán encapsuladas (agente activo) se fluidifican en una atmosfera caliente de la cámara de secado; después el material encapsulante es atomizado a través de una esprea sobre las partículas de agente activo y la formación de película comienza y coalescen; el solvente o la mezcla es evaporada por el aire caliente y el material encapsulante se adhiere sobre las partículas (Guevara y Jiménez, 2008).

Esta técnica depende sobre todo de la esprea de atomización del material encapsulante sobre el lecho fluidificado. El tamaño de partícula varia de 0.3 a 10 mm. Algunas ventajas de esta técnica son: permite una distribución de tamaño específico, baja porosidad, altas velocidades de secado por las buenas condiciones de contacto gas-partícula, óptimas velocidades de transferencia de calor y masa, áreas más pequeñas de flujo, alta eficiencia térmica, bajo presupuesto y costos de mantenimiento, así como un fácil control (Madene et al., 2006). Otra ventaja de esta técnica es su versatilidad en cuanto a la liberación controlada, respecto a otras técnicas (Guevara y Jiménez, 2008).

FIGURA 11: Secador de lecho fluidizado con mecanismo Wuster



FUENTE: (Guevara y Jiménez, 2008)

CAPÍTULO II: CONCLUSIONES

1. La microencapsulación en alimentos costa de dos tipos de métodos que son: Procesos Químicos, Procesos Físicas o mecánicas de las cuales la más utilizada es el secado por atomización o aspersion por ser el método más económico para realizar la microencapsulación de alimentos.
2. Dentro del proceso físicas o mecánicas también se encuentra la liofilización que es uno de los métodos más eficientes con respecto a la conservación de los nutrientes y prolongación de vida útil de los alimentos, pero considerado el más costoso.
3. La Microencapsulación es recomendable porque conserva las características sensoriales y nutricionales de los alimentos y prolonga la vida útil del producto.

CAPÍTULO III: RECOMENDACIONES

1. Hacer estudios adicionales por medio de los otros métodos y técnicas de la microencapsulación aplicados en los alimentos.
2. Investigar nuevos métodos de encapsulación y conseguir un material de recubrimiento que garantice las condiciones de protección requeridas para distintos alimentos encapsulados, para permitir obtener mayores aplicaciones en el sector alimentario y novedosos productos.

CAPÍTULO IV: FUENTES DE INFORMACION

- AROCA, L. y PROAÑO, J., 2020. ENCAPSULACIÓN DE ACEITE DE PLUKENETIA VOLUBILIS L. (SACHA INCHI) RECUBIERTAS CON PROTEÍNAS DE SANGRE BOVINA PARA FORTIFICACIÓN DE GALLETAS. *Sustainability (Switzerland)* [en línea], vol. 4, no. 1, pp. 1-9. ISSN 14664461. Disponible en: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/en/mdl-20203177951%0Ahttp://dx.doi.org/10.1038/s41562-020-0887-9%0Ahttp://dx.doi.org/10.1038/s41562-020-0884-z%0Ahttps://doi.org/10.1080/13669877.2020.1758193%0Ahttp://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article>.
- ARROYO, J., 2015. Conservación de Alimentos Mediante Microencapsulación por Emulsificación. [en línea], pp. 1-68. Disponible en: http://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/123456789/1057/TRABAJO_DE_GRADO_JOE_ARROYO.pdf?sequence=1.
- BASTIDAS, V., 2019. Evaluación de la actividad antioxidante del contenido de antocianinas microencapsuladas de mora (*Rubus glaucus*). , pp. 1-9. DOI .1037//0033-2909.I26.1.78.
- CASTAÑEDA, H., GEMIO, R., YAPU, W. y NOGALES, J., 2011. Microencapsulacion, Un Metodo Para La Conservacion De Propiedades Fisicoquimicas Y Biologicas De Sustancias Quimicas. *Boliviana de Quimica*, vol. 28, pp. 135-140.
- COPADO, C.N., IXTAINA, V.Y. y TOMÁS, M.C., 2017. Aplicación de los productos de la reacción de Maillard en microcápsulas de aceite de semilla de chía con diferentes relaciones núcleo/pared. *Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA)*, pp. 263-272.
- CORDOVA, J.C., 2016. Proyecto de Trabajo de Titulación, modalidad proyecto de investigación, previa 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. , pp. 2016.
- FERNANDEZ, A. y ROMERO, J., 2020. Evolución De Las Bacterias Acido Lácticas Durante La Elaboración Del Tocosh Fresco, Aislamiento Y Concentración Por

Liofilización. ,

GUEVARA, N. y JIMÉNEZ, T., 2008. *Encapsulación: técnicas y aplicaciones en la Industria alimentaria*. 2008. S.l.: s.n.

HUERTAS, G. y MORENO, A., 2015. OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ATOMIZACIÓN DEL ZUMO DE TORONJA (*Citrus paradisi*). ,

INESCOP, 2016. Técnicas De Microencapsulación. [en línea], pp. 1-16. Disponible en:

<https://www.inescop.es/images/Proyectos/Regionales/2016/MICROCAPS/E1-TECNICAS DE MICROENCAPSULACION.pdf>.

PARRA, R., 2010. Revisión: Microencapsulación de Alimentos Food Microencapsulation: A Review. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*, vol. 63, no. 2, pp. 5669-5684.

PARZANESE, M., 2012. Tecnologías para la Industria Alimentaria Liofilización de alimentos. *Alimentos argentinos* [en línea], pp. 1-12. Disponible en: www.alimentosargentinos.gob.ar.

RIVERA, M., 2020. Microencapsulación de Astaxantina y su Aplicación Potencial en Bebidas. , pp. 156.

USME, P., JARAMILLO, D. y ÁLVAREZ, F., 2013. MICROENCAPSULACIÓN DE LA LACTASA COMO ESTRATEGIA PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD Y LA APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS. *Occupational Medicine*, vol. 53, no. 4, pp. 130.

VALLEJO, S., 2019. Microencapsulación del micronutriente hierro mediante secado por atomización para su uso en alimento fortificado. ,

YOPLAC, I., 2019. “Desarrollo de Biopelículas Activas Con Aceite Esencial de Citral Microencapsulado y su Efecto en la Carga Microbiana del Queso Fresco”. *Universidad Nacional Agraria La Molina*, pp. 100.