



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN
ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA
CARRERA DE ALIMENTOS



Efecto de la adición de microencapsulado de aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) y Chía (*Salvia hispánica*) en el tiempo de vida útil de un suplemento alimenticio.

Informe final de Integración Curricular, Modalidad Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autor: Arturo Josue Basantez Chimborazo

Tutora: Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

Ambato – Ecuador

Septiembre -2022

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

CERTIFICA:

Que el presente Informe Final de Integración Curricular ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación del Informe Final de Integración Curricular bajo la modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grado de la Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 19 de agosto del 2022.

Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

C.I. 0501873954

TUTORA

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Arturo Josue Basantez Chimborazo, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final de Integración Curricular, modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales, a excepción de las citas bibliográficas.



Arturo Josue Basantez Chimborazo

C.I. 1850250109

AUTOR

APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Informe Final de Integración Curricular, modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para consistencia firman:

.....

Presidente del Tribunal

.....

Dr. Rubén Darío Vilcacundo Chamorro

C.I. 1802738102

.....

Dr. Orestes Darío López Hernández

C.I. 1754784864

Ambato, 30 de agosto del 2022

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Informe Final de Integración Curricular 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 Informe Final de Integración Curricular, 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.



Arturo Josue Basantez Chimborazo

C.I. 1850250109

AUTOR

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis queridos padres, María y Rafael, les agradezco de corazón por todo lo que hicieron para la culminación de esta etapa. Anhele que la vida me dé la dicha de devolverles todo su esfuerzo, confianza y apoyo incondicional a lo largo de mi proceso académico, son un ejemplo de constancia, amor y bondad, ustedes me dieron la vida y ahora me han hecho un profesional.

También quiero dedicárselo a mi hermano Ángel, mi ejemplo de perseverancia y por enseñarme a no rendirme a pesar de las adversidades, gracias por no dejarme solo.

Arturo Josue Basantez Chimborazo

AGRADECIMIENTO

A mis padres, gracias por brindarme todos los recursos que necesité para culminar la carrera, por sus consejos, su apoyo, su amor y sobre todo por su paciencia. Especialmente a María, mi madre, por entregar parte de su vida para que yo pueda cumplir mis objetivos.

A mi estimada tutora Dra. Mayra Paredes, por haberme aceptado como tesista, brindarme su tiempo, apoyo moral y académico en el desarrollo de este estudio.

Al Dr. Orestes López y a la Ing. Carla Peñafiel Msc. por su apoyo en el desarrollo de este proyecto, gracias por su tiempo y las enseñanzas compartidas.

A los buenos profesores de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato, por ofrecerme sus conocimientos a lo largo de mi preparación profesional.

A mis amigos, compañeros y pronto colegas, que juntos compartimos algunos años de nuestra vida, gracias por el apoyo brindado y hacer que este tiempo haya sido más llevadero.

A mis hermanos, familiares y a todas las personas de que de una u otra manera me apoyaron y estuvieron presentes en mi preparación académica.

Arturo Josue Basantez Chimborazo

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	iii
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIUNAL DE GRADO	iv
DERECHOS DE AUTOR	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
B. CONTENIDOS	1
CAPITULO I	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.1.1. Sacha Inchi	2
1.1.1.1. Taxonomía del Sacha Inchi	2
1.1.1.2. Producción de Sacha Inchi en Ecuador	3
1.1.1.3 Aceite de Sacha Inchi	4
1.1.2. Chía	5
1.1.2.1. Taxonomía de la Chía.....	5
1.1.2.2. Producción de Chía en Ecuador.....	6
1.1.2.3. Aceite Chía	6
1.1.3. Ácidos grasos	7
1.1.3.1. Ácidos grasos saturados	8
1.1.3.2. Ácidos grasos monoinsaturados	8
1.1.3.3. Ácidos grasos poliinsaturados	9
1.1.4. Mezcla de aceites.....	10

1.1.5. Oxidación de aceites.....	10
1.1.6. Microencapsulación.....	12
1.1.6.1. Secado por aspersión (<i>Spray drying</i>).....	13
1.1.6.2. Materiales encapsulantes	15
1.1.7. Estudio de la estabilidad oxidativa.....	18
1.1.7.1. Método de oxidación acelerada Oxitest	18
1.1.8. Tiempo de vida útil	20
1.1.9. Suplemento alimenticio.....	20
1.3. Objetivos	21
1.3.1. Objetivo general	21
1.3.2. Objetivos específicos.....	21
1.4. Hipótesis.....	22
1.4.1. Hipótesis nula.....	22
1.4.2. Hipótesis alternativa.....	22
1.5. Señalamiento de variables	22
1.5.1. Variables independientes	22
1.5.2. Variables dependientes	23
CAPÍTULO II	24
MATERIALES Y MÉTODOS	24
2.1. Materiales	24
2.2. Equipos.....	24
2.3. Métodos	24
2.3.1. Obtención del microencapsulado.....	24
2.3.2. Cuantificación del aceite superficial (libre).....	25
2.3.3. Determinación de la eficiencia	26
2.3.4. Caracterización con microscopía electrónica de barrido	26
2.3.5. Caracterización con espectroscopía infrarroja.....	27
2.3.6. Determinación de la estabilidad oxidativa.....	27
2.3.7. Estimación de vida útil del producto	27
2.3.8. Análisis estadístico	28
CAPÍTULO III	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
3.1. Análisis y discusión de resultados.....	29

3.1.1. Resultados de la microencapsulación por secado por aspersión	29
3.1.2. Caracterización morfológica de las MC	31
3.1.3. Análisis de la estabilidad oxidativa y determinación de vida útil del suplemento alimenticio	35
3.2.3. Verificación de hipótesis	38
CAPÍTULO IV	39
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	39
4.1. Conclusiones	39
4.2. Recomendaciones.....	40
C. MATERIALES DE REFERENCIA	41
Referencias Bibliográficas	41
ANEXOS	51

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Semillas de Sacha Inchi.....	3
Figura 2. Provincias de Ecuador donde se cultiva Sacha Inchi.....	4
Figura 3. Semillas de Chía.....	5
Figura 4. Zonas de cultivo de Chía en Ecuador.....	6
Figura 5. Tipos de ácidos grasos (AG).....	7
Figura 6. Configuraciones <i>cis</i> y <i>trans</i> de ácidos grasos saturados.....	9
Figura 7. Mecanismo de oxidación de lípidos	11
Figura 8. Tipos de microcápsulas (MC):	12
Figura 9. Equipo Mini Spray Dryer modelo: B-290 Büchi	14
Figura 10. Reactor de oxidación acelerada Oxitest	19
Figura 11. Representación de curva de oxidación y el IP	20
Figura 12. Imágenes SEM de las MC de mezcla de aceite de Sacha Inchi y Chía..	31
Figura 13. Distribución de tamaño de MC de la mezcla de aceite de Sacha Inchi y Chía	33
Figura 14. Espectros infrarrojo-superpuestos de la mezcla polimérica, mezcla de aceites y microencapsulado	34
Figura 15. Tiempos de inducción (IP) de las muestras a diferentes temperaturas ...	35
Figura 15. Análisis estadístico del tiempo de vida útil del suplemento.....	37
Figura 16. IP y curva de oxidación del suplemento + MC a 90 °C	51
Figura 17. IP y curva de oxidación del suplemento + MC a 100 °C	51
Figura 18. IP y curva de oxidación del suplemento + MC a 110 °C	52

Figura 19. Extrapolación y tiempo de vida útil del Suplemento a 15 °C	52
Figura 20. Extrapolación y tiempo de vida útil del Suplemento a 20 °C	53
Figura 21. Extrapolación y tiempo de vida útil del Suplemento + MC a 15 °C	53
Figura 22. Extrapolación y tiempo de vida útil del Suplemento + MC a 22 °C	54
Figura 23. Análisis de varianza de los tiempos de vida útil	55
Figura 24. Prueba de rangos múltiples.....	55
Figura 25. Proceso de microencapsulación.....	56
Figura 26. Extracción del aceite libre	57
Figura 27. Caracterización morfológica de las MC	58
Figura 27. Análisis de estabilidad oxidativa y tiempo de vida útil	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Recopilación taxonómica del Sacha Inchi.</i>	2
Tabla 2. <i>Recopilación taxonómica de la Chía.</i>	5
Tabla 3. <i>Ácidos grasos saturados más comunes.</i>	8
Tabla 4. <i>Ácidos grasos poliinsaturados más comunes.</i>	9
Tabla 5. <i>Diferentes métodos de microencapsulación.</i>	13
Tabla 6. <i>Principales materiales encapsulantes para secado por aspersión</i>	16
Tabla 7. <i>Aceite libre y Eficiencia de microencapsulación de aceite de Sacha Inchi y Chía</i>	29
Tabla 8. <i>Tiempos de vida útil del Suplemento y del Suplemento + MC</i>	36

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Resultados obtenidos en el reactor Oxitest	51
Anexo 2. Resultados del análisis estadístico	55
Anexo 3. Fotografías del proceso de microencapsulación.	56
Anexo 4. Fotografías del proceso de extracción del aceite libre.	57
Anexo 5. Fotografías del análisis de morfología de las MC.....	58
Anexo 6. Fotografías del analisis de estabilidad oxidativa y tiempo de vida útil.....	59

RESUMEN

La adición de ácidos grasos a productos alimenticios representa un desafío, debido a la baja estabilidad y la poca aceptabilidad de estos componentes. La microencapsulación es una alternativa que permite aprovechar sus beneficios. En contraste, en el presente estudio se microencapsuló una mezcla de aceites (MA) de Sacha Inchi y Chía en proporción 2:1, mediante secado por aspersion, empleando goma arábica y maltodextrina, carga de aceite del 33 por ciento, temperaturas de entrada de 150 y de salida de 90 grados centígrados, alcanzando una eficiencia del 68.20 por ciento. La caracterización mediante microscopía electrónica evidenció microcápsulas (MC) con paredes continuas y libres de grietas. Se observó aglomeraciones, el rango de tamaño encontrado fue entre 9.02 y 22.99 micras. Se realizó un análisis de espectroscopía infrarroja, lo cual confirmó la microencapsulación de la MA mediante la disminución de las bandas características de los ácidos grasos.

La estabilidad oxidativa del suplemento con MC, libre de conservantes y sin empaque, fue determinada empleando el reactor Oxitest (Modelo V02M2U) y el método AOCS Cd12c-16. Los tiempos de inducción exhibieron una disminución en las muestras con MC. El tiempo de vida útil se calculó a través de una extrapolación matemática a 15 y 20 grados centígrados, presentando una reducción de 3.37 a 0.37 meses y de 2.06 a 0.25 meses, respectivamente, comparándolo con la muestra blanco. Con los resultados obtenidos se determinó que la inclusión del MC al suplemento tiene un efecto negativo en el tiempo de vida útil, sin embargo, los atributos sensoriales mejoraron.

Palabras Clave:

Microencapsulación, Aceites vegetales, Sacha Inchi, Chía, Suplemento alimenticio, Estabilidad oxidativa, Vida útil de alimentos

ABSTRACT

The addition of fatty acids to food products represents a challenge, due to the low stability and poor acceptability of these components. Microencapsulation is an alternative to take advantage of their benefits. In contrast, in the present study, a mixture of Sacha Inchi and Chia oils (MA) in a 2:1 ratio was microencapsulated by spray drying, using gum arabic and maltodextrin, oil load of 33 percent, inlet temperature of 150 and outlet temperature of 90 degrees Celsius, reaching an efficiency of 68.20 percent. Characterization by electron microscopy showed microcapsules (MC) with continuous, crack-free walls. Agglomerations were observed, the size range found was between 9.02 and 22.99 microns. Infrared spectroscopy analysis was performed, which confirmed the microencapsulation of the AM by decreasing the characteristic bands of the fatty acids.

The oxidative stability of the MC supplement, free of preservatives and without packaging, was determined using the Oxitest reactor (Model V02M2U) and the AOCS Cd12c-16 method. Induction times exhibited a decrease in the samples with MC. The shelf life was calculated through a mathematical extrapolation at 15 and 20 degrees Celsius, presenting a reduction from 3.37 to 0.37 months and from 2.06 to 0.25 months, respectively, compared to the blank sample. With the results obtained, it was determined that the inclusion of MC in the supplement has a negative effect on the shelf life, however, the sensory attributes improved.

Keywords:

Microencapsulation, Vegetable oils, Sacha Inchi, Chía, Food supplement, Oxidative stability, Food shelf life.

B. CONTENIDOS

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

Actualmente las aplicaciones de la microencapsulación mediante secado por aspersión se han direccionado al tratamiento de componentes bioactivos, como los aceites vegetales con alto contenido de ácidos grasos insaturados, el aceite de Sacha Inchi posee alrededor de 51 % y 33 % de ácidos α -linolénico y linoleico respectivamente, al igual que el aceite de Chía que contiene 26 % de ácido linoleico y 57 % de ácido α -linolénico, estas características exhiben una elevada susceptibilidad a la oxidación lipídica (Ayerza, 1995; Gutiérrez et al., 2011).

La microencapsulación no es una tecnología reciente, se viene utilizando en la industria farmacéutica desde la década de 1950, la técnica de *spray drying* o microencapsulación por secado por aspersión se usa frecuentemente para microencapsular componentes liposolubles. Consiste en formar una capa protectora, mediante la exposición de un pulverizado de una mezcla homogénea, entre el componente microencapsulante y el material bioactivo a una corriente de aire caliente (Lozano et al. 2012).

En estudios relacionados mencionados por Solís (2018), se tuvo una eficiencia de microencapsulación superior al 50%, el objetivo del trabajo fue la extracción, microencapsulación de aceite de linaza y su adición en una matriz alimenticia. Para la microencapsulación se utilizó como agentes microencapsulantes maltodextrina (MD) y goma arábiga (GA), con temperatura de entrada de 150 °C y carga de aceite de 30%, dando como resultado el incremento de vida útil de la matriz al incorporar el aceite microencapsulado

Jordán (2017) en su investigación sobre microencapsulación de una mezcla de aceites para obtener un ingrediente funcional, señala que al utilizar el método de secado por aspersión con una carga de aceite del 33% y una mezcla polimérica de MD y GA,

logró obtener una eficiencia superior al 90 %, con el análisis de morfología reveló que las micropartículas presentaron superficies lisas y sin poros, además que no se verificaron cambios representativos en el contenido de ácidos grasos (AG) después del proceso

De manera similar, en un proyecto llevado a cabo por investigadores de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato en colaboración con técnicos del Centro de Productos Naturales del Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC) y el Centro de Investigación y desarrollo de medicamentos (CIDEM) de Cuba, se buscó determinar la influencia de la microencapsulación en la estabilidad de los AG del aceite de Chía, demostrando que el contenido de estos componentes no se afecta después de la microencapsulación , así mismo a través de análisis de espectroscopía infrarroja se evidenció que el aceite se encontraba completamente protegido con la mezcla polimérica, indicando una alta efectividad de la metodología aplicada (López et al., 2015).

1.1.1. Sacha Inchi

1.1.1.1. Taxonomía del Sacha Inchi

Tabla 1. *Recopilación taxonómica del Sacha Inchi.*

Descripción	Denominación
Reino	Plantae
Orden	Euphorbiales
Familia	Euphorbiaceae
Género	Plukenetia
Especie	<i>P. Volubilis</i> L
Nombre científico	<i>Plukenetia volubilis</i> L.

Elaborado por: Basantez, A. **Adaptado de:** (Núñez, 2022).

Descrita por primera vez en 1753 por el biólogo explorador Linneo en la selva peruana, es una planta de tipo trepadora o liana, su origen etimológico proviene de la lengua quechua, “sacha” que significa silvestre e “inchi” que es maní, por lo que también se

lo conoce como “maní del inca” o “maní de la selva”. En Sudamérica se han hallado 12 especies, distribuidas por las selvas de Perú, Ecuador, Bolivia, Colombia y Brasil. Actualmente sus semillas están siendo valoradas debido a que de ellas se extrae un aceite rico en ácidos grasos poliinsaturados (AGP) y antioxidantes, características que elevan su potencial en la industria alimentaria, médica y cosmética (**Alayón y Echeverri, 2016**).



Figura 1. Semillas de Sacha Inchi

Fuente: (Cadena, 2021).

1.1.1.2. Producción de Sacha Inchi en Ecuador

En nuestro país la producción de Sacha Inchi ha crecido potencialmente desde el año 2012, debido a que es un cultivo reciente y en desarrollo el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGAP) apoya a pequeños productores e incentiva su cultivo a través de proyectos, en donde brinda insumos, materiales y asistencia técnica. Se impulsa su cultivo gracias a la gran demanda que tiene Perú, donde después del tratamiento, las semillas se envían a mercados europeos y asiáticos (**Rodas y Andrade, 2013**).

Las zonas donde se presenta la mayor producción de Sacha Inchi son las provincias de Manabí, Pastaza, Esmeraldas, El Oro, Napo y Sucumbíos.

1.1.2. Chía

1.1.2.1. Taxonomía de la Chía

Tabla 2. *Recopilación taxonómica de la Chía*

Descripción	Denominación
Reino	Plantae
Orden	Lamiales
Familia	Lamiaceae
Género	Salvia
Especie	<i>Hispánica</i>
Nombre científico	<i>Salvia Hispánica</i>

Elaborado por: Basantez, A. **Adaptado de:**(Ixtaina et al., 2012).

Esta semilla es originaria de México y Guatemala, utilizada desde civilizaciones prehispánicas como Mayas y Aztecas, los cuales la empleaban como alimento y medicina, su aceite era usado para crear pinturas y cosméticos rudimentarios. Esta planta crece en zonas tropicales y subtropicales y puede llegar a medir hasta 1.5 m, las semillas de las cuales se obtiene el aceite, tienen forma ovoidal, pequeñas y brillantes, varían entre el color negro y blanco dependiendo de la especie (Xingú et al., 2017).



Figura 3. Semillas de Chía

Fuente: (Cortez y Sánchez, 2017).

1.1.2.2. Producción de Chía en Ecuador

A pesar de no ser un cultivo tradicional, en Ecuador la Chía se cultiva desde el 2005 con fines de exportación, las primeras producciones se impulsaron por los programas de la Corporación Internacional Chía S.A de Argentina, por lo que para 2008 existían alrededor de 500 hectáreas de cultivo las cuales produjeron 579 toneladas. Las principales provincias donde se cultivan este producto son Santa Elena, Los Ríos y Pichincha (León y Ochoa, 2014).

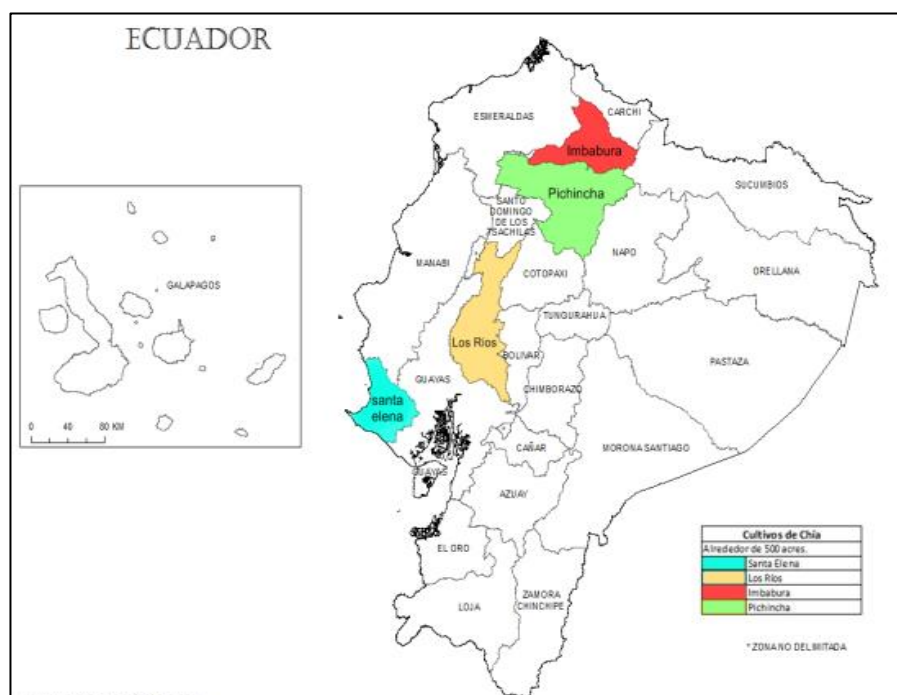


Figura 4. Zonas de cultivo de Chía en Ecuador

Fuente: (León y Ochoa, 2014).

1.1.2.3. Aceite Chía

Este aceite vegetal presenta grandes propiedades nutricionales debido al alto contenido de ácido α -linolénico (omega-3), aminoácidos esenciales y fibra, también posee efectos antiinflamatorios y anticoagulantes. El contenido de AGP es de alrededor del 80 % del cual el 60 % corresponde a ácido α -linolénico, estas características

proporcionan grandes beneficios en la nutrición y salud de sus consumidores (**Coates y Ayerza, 1996**).

Su uso está limitado ya que no soporta altas temperaturas y no posee un sabor agradable, sin embargo, debido a sus grandes propiedades es muy utilizado por industrias alimentarias y farmacéuticas, las cuales aprovechan el contenido de AG y tocoferoles para formular ungüentos dermatológicos, que presentan beneficios antiinflamatorios, antialérgicas e hidratantes (**Cortez y Sánchez, 2017**).

1.1.3. Ácidos grasos

Son compuestos orgánicos formados por una cadena alifática y un grupo carboxilo, pueden contener enlaces simples, dobles o triples, lo que da origen a los ácidos grasos saturados (AGS), monoinsaturados (AGM) y poliinsaturados (AGP). Son los componentes con mayor porcentaje de los lípidos, la mayoría de AG se forman de una cadena lineal con número par de átomos de carbono, entre 14 y 24 átomos (**Iparraguirre, 2019; Teijón et al, 2009**).

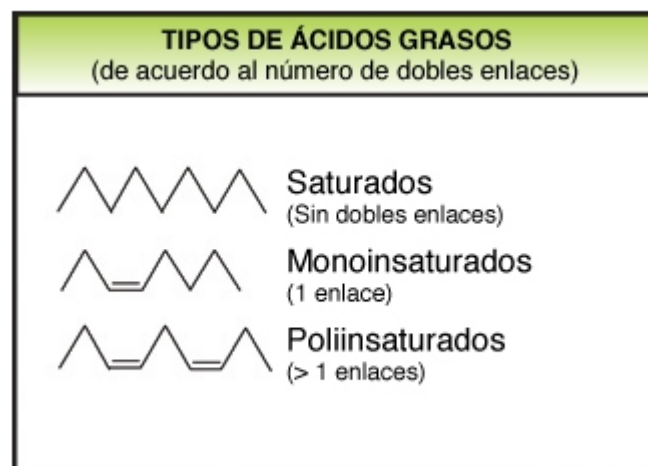


Figura 5. Tipos de ácidos grasos (AG)

Fuente: (Valenzuela B. y Nieto K., 2003).

1.1.3.1. Ácidos grasos saturados

Se caracterizan por ser sólidos a temperatura ambiente y poseen un punto de fusión alto a comparación de otros AG, su fórmula base es $C_nH_{2n}O_2$ sin dobles enlaces en su composición (Teijón et al, 2009).

Tabla 3. Ácidos grasos saturados más comunes

Nombre común	Nombre sistemático	Símbolo	Se encuentra en
Ácido láurico	n-dodecanoico	12:0	Aceite de coco y palma
Ácido mirístico	n-tetradecanoico	14:0	Aceite de coco y palma, lactosa
Ácido palmítico	n-hexadecanoico	16:0	Grasas animales
Ácido esteárico	n-octadecanoico	18:0	y vegetales
Ácido araquídico	n-eicosanoico	20:0	Aceite de cacahuete

Elaborado por: Basantez, A. **Adaptado de:** (Teijón et al, 2009).

1.1.3.2. Ácidos grasos monoinsaturados

Presentan un doble o triple enlace en la cadena alquílica, provienen de grasas vegetales y son líquidos a temperatura ambiente, a partir de la orientación de estos enlaces se clasifican en configuraciones *cis* y *trans*. Los AGS en su forma natural tienen configuración *cis*, mientras que la configuración *trans* se genera cuando se exponen a temperaturas superiores a 160 °C (Iparraguirre, 2019).

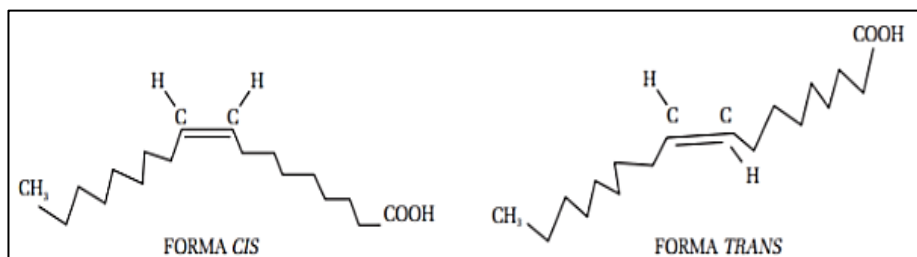


Figura 6. Configuraciones *cis* y *trans* de ácidos grasos saturados

Fuente: (Giacopini, 2008).

1.1.3.3. Ácidos grasos poliinsaturados

Contienen varias insaturaciones con dobles enlaces a lo largo de su cadena alquílica, separadas por un grupo metileno, entre este grupo los más importantes son el ácido linoleico que genera los omega-6 y el ácido α -linolénico precursor de los omega-3, también conocidos como ácidos esenciales, se encuentran en semillas, algunos frutos secos y grasas de origen vegetal (Cabezas et al, 2016).

Tabla 4. Ácidos grasos poliinsaturados más comunes

Nombre común	Nombre sistemático	Símbolo	Se encuentra en
Ácido linoleico	cis-9,cis-12-octadecadienoico	18:2n-6- 18:2 $\Delta^{9,12}$	Aceites vegetales
Ácido linolénico	α - cis-9,cis-12- cis-15-octadecatrienoico	18:3n-3- 18:3 $\Delta^{9,12,15}$	Aceite de canola, soja, lino
Ácido araquidónico	cis-5,cis-8-cis-11, cis-14-eicosatetraenoico	20:4n-6- 20:4 $\Delta^{5,8,11,14}$	Grasas animales, huevo y pescado

Elaborado por: Basantez, A. **Adaptado de:** (Teijón et al, 2009).

1.1.3.3.1. Ácidos grasos esenciales

Se denominan así porque el cuerpo humano no posee las enzimas necesarias para sintetizarlos y por ello se deben consumir a través de la dieta, estos AG son los responsables del crecimiento, intervienen en las reacciones metabólicas del sistema cardiovascular, inmune, endocrino y reproductor, regulan el funcionamiento de las membranas celulares y la transcripción genética, por lo que su deficiencia está relacionada directamente con enfermedades cardiovasculares, problemas fisiológicos como la mala coagulación de la sangre y respuestas inflamatorias e inmunológicas deficientes (**Cadena, 2021**).

1.1.4. Mezcla de aceites

Combinar aceites comestibles es la manera más sencilla y económica de crear nuevos productos con características específicas y aprovechar completamente sus cualidades, no solo se puede mejorar el perfil de AG, si no también elevar el contenido de componentes bioactivos y dar mejores cualidades de estabilidad. La Organización mundial de la salud (OMS) señala criterios que se deben tomar en cuenta cuando se combinan aceites, algunos son: la proporción de AGS, AGI y AGP, la presencia de antioxidantes y el contenido de ácido linoleico (omega-6) en relación con el ácido α -linolénico (omega-3), por lo que en base a investigaciones de combinaciones de diferentes aceites vegetales se sugieren proporciones de 1:1, 5:1, 1:1-4:1, con el fin de reducir riesgos de enfermedades cardíacas, cáncer y trastornos autoinmunes (**Cortez y Sánchez, 2017; Pattnaik y Mishra, 2021**).

1.1.5. Oxidación de aceites

Entre otras causas la oxidación está relacionada con el contenido de AGI, este proceso se produce a través de una serie de reacciones de formación de radicales libres, la cual comienza con la fase iniciación, luego la propagación y finaliza en la fase de terminación.

Iniciación:	$RH \xrightarrow{^3O_2} R \cdot + H \cdot$	(Reac. 1)
Propagación:	$R \cdot + ^3O_2 \rightarrow ROO \cdot$	(Reac. 2)
	$ROO \cdot + RH \rightarrow ROOH + R \cdot$	(Reac. 3)
Terminación:	$ROO \cdot + ROOR$	(Reac. 4)
	$R \cdot + R \cdot \rightarrow RR$	(Reac. 5)
	$ROO \cdot + ROO \cdot \rightarrow ROOR + O_2$	(Reac. 6)
	$R \cdot + ROO \cdot \rightarrow ROOR$	(Reac. 7)
	$R \cdot + RO \cdot \rightarrow ROR$	(Reac. 8)
	$R \cdot + H \cdot \rightarrow RH$	(Reac. 9)
	$RO \cdot + H \cdot \rightarrow ROH$	(Reac. 10)
	$ROO \cdot + H \cdot \rightarrow ROOH$	(Reac. 11)
	$RO \cdot + OH \cdot \rightarrow ROH$	(Reac. 12)

Figura 7. Mecanismo de oxidación de lípidos

Fuente: (Cadena, 2021).

En la fase de iniciación se genera un radical alquílico de un ácido graso, la reacción es lenta y depende del catalizador que puede ser: calor, trazas de metales, luz o enzimas. En esta etapa se dan dos reacciones, la primera donde intervienen las barreras energéticas (Energía de activación necesaria para romper los enlaces) que protegen de la interacción del oxígeno sobre los AGS y la segunda reacción donde se produce una catálisis enzimática producida por las enzimas lipoxigenasas (**Santos, 2018**).

En la etapa de propagación los radicales que se formaron en la iniciación tienen una reacción en cadena con otras moléculas de AG por interacción con oxígeno en estado basal. Finalmente, en la fase de terminación se da la combinación de dos radicales, lo que produce especies que no reaccionan, por ende, las reacciones se detienen. Los primeros productos de la oxidación son estables a temperatura ambiente, sin embargo, estos se descomponen rápidamente en presencia de metales y por el incremento de temperatura, dando origen a radicales alcoxis que producen aldehídos, cetonas, ésteres e hidrocarburos de cadena corta, que son responsables del sabor y olor desagradable característico de la rancidez (**Cadena, 2021; Santos, 2018**).

1.1.6. Microencapsulación

Este método consiste en el recubrimiento de materiales sólidos, líquidos y no muy comúnmente componentes gaseosos por una pared delgada, a la cual se le denomina, núcleo, carga útil o fase interna. Las microcápsulas (MC) obtenidas tienen tamaño a nivel de micras, por lo que con este proceso se puede obtener un polvo fino, seco y estable a partir de una emulsión líquida. El material que se usa para el recubrimiento normalmente es un polímero natural o artificial, llamado: material encapsulante, pared o matriz, esta debe tener características específicas como: capacidad de cohesión y compatibilidad química con el material a encapsular, poseer propiedades de resistencia, impermeabilidad, flexibilidad y estabilidad (López et al, 2011; Parra, 2010).

Desde su aparición entre 1930 y 1940 la microencapsulación ha tenido un notable impacto en las industrias farmacéuticas y alimentarias, ha permitido conservar componentes sensibles como polifenoles, AGI, enzimas, antioxidantes, etc. Además, permite tener una liberación controlada, en la industria alimenticia se usa esta técnica por más de 60 años para microencapsular aceites esenciales y ricos en AG utilizados como saborizantes y en el desarrollo de alimentos funcionales (Ghosh, 2006; López et al., 2011).

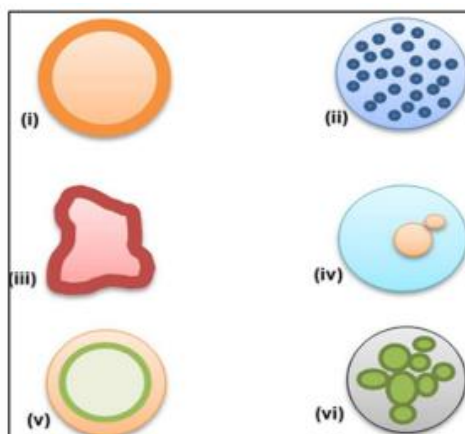


Figura 8. Tipos de microcápsulas (MC): MC simple (i), microesfera (ii), MC irregular (iii), MC multinúcleo (iv), MC multipared (v), cumulo de MC (vi)

Fuente: (Bakry et al., 2016).

Existen diferentes técnicas para microencapsular, entre las que se pueden diferenciar a las de tipo: emulsión/evaporación, emulsión/extracción, separación de fases y secado por atomización o aspersión. Para la elección del método se toma en cuenta las propiedades del núcleo, como la estabilidad y las condiciones a la cual se degrada (López et al., 2011).

Tabla 5. *Diferentes métodos de microencapsulación*

Métodos químicos	Métodos físicos
Coacervación	Secado por aspersión
Co-cristalización	
Polimerización interfacial	Secado por congelamiento
Gelificación iónica	
Incompatibilidad polimérica	Extrusión
Atrapamiento en liposomas	
Inclusión molecular	Liofilización

Elaborado por: Basantez, A. **Resumido de:** (Parra, 2010).

1.1.6.1. Secado por aspersión (*Spray drying*)

Es la tecnología más económica conocida para microencapsular, es un proceso físico que consiste en atomizar una emulsión de la fase interna y el material encapsulante dentro de una cámara con altas temperaturas, donde el solvente se evapora rápidamente, formando una película protectora y produciendo las MC. En comparación con otros métodos, la eficiencia que se alcanza con el secado por aspersión esta entre 90 – 100 %, además que entre otras ventajas es el método más adecuado para trabajar con materiales volátiles y termosensibles, debido a que el tiempo de exposición a las altas temperaturas no sobrepasa los 30 segundos (Iparraguirre, 2019; López y Gómez, 2018; López et al., 2011).

1.1.6.1.1. Etapas de la microencapsulación por aspersión

Bakry et al. (2016), señala que la microencapsulación por aspersión tiene cuatro etapas:

1. Preparación de la emulsión
2. Homogenización de la emulsión
3. Atomización de la dispersión
4. Deshidratación de la emulsión y recuperado de las MC

En resumen, este proceso consiste en que la emulsión formada por el material bioactivo y el material encapsulante ingrese al equipo y se atomicen formando gotas microscópicas; entonces se evapora el solvente por el contacto a la elevada temperatura de la cámara de secado, luego se hace precipitar las MC en el ciclón en donde, las partículas giran y el aire caliente es expulsado por el filtro de salida de aire. Finalmente, las MC son recuperadas en el vaso recolector (**Nguyen et al., 2021**).

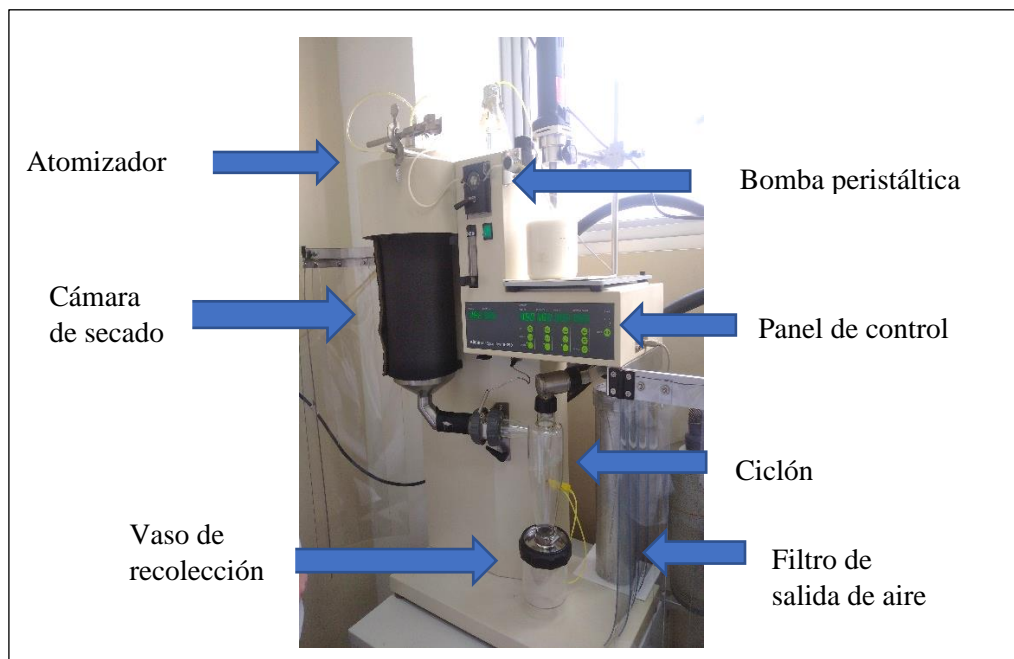


Figura 9. Equipo Mini Spray Dryer modelo: B-290 Büchi

Fuente: Laboratorio de caracterización microscópica. UODIDE.FCIAB-UTA.

1.1.6.1.2. Condiciones de funcionamiento del equipo

Para el funcionamiento adecuado se toman en cuenta algunos parámetros como: las temperaturas de entrada y salida del aire de secado, el flujo de alimentación de la emulsión, la proporción de la sustancia bioactiva y del material encapsulante, de estas depende de que el microencapsulado se forme correctamente.

La temperatura de entrada influye directamente con la fluidez de la alimentación y por ende en su capacidad de pulverización, si la temperatura es muy alta la emulsión se aglomera porque incrementa su viscosidad lo que ocasiona que se produzcan gotas heterogéneas (**Xu et al, 2015**).

Para asegurar que el secado sea homogéneo en todas las MC, se debe controlar la velocidad de alimentación al atomizador, regular la temperatura y la corriente del aire caliente que ingresa a la cámara de secado. Hay que tener en cuenta que la temperatura de salida no puede ser controlada directamente, ya que esta depende de la humedad de las MC y también de la temperatura del caudal de aire caliente y la velocidad de alimentación de la emulsión (**Cadena, 2021**).

Finalmente, la velocidad de deshidratación es proporcional a la temperatura del flujo del aire de entrada y al contenido final de humedad en las MC, cuando la temperatura es muy baja las partículas tienen mayor humedad y se aglomeran, a diferencia de que cuando la temperatura es muy alta la película protectora que forma el material encapsulante se rompe o forma grietas, lo que ocasiona poca estabilidad del microencapsulado (**Gharsallaoui et al, 2007**).

1.1.6.2. Materiales encapsulantes

La elección del material encapsulante depende de las propiedades físicas y químicas de este, como: el peso molecular, solubilidad, tiempo de transición vítrea, difusividad y capacidad para formar emulsiones, también es importante tener en cuenta el costo. La estabilidad del material microencapsulante al elaborar la emulsión está relacionado directamente con la eficiencia de la microencapsulación y por ende en la estabilidad de las MC (**Gharsallaoui et al, 2007**).

Tabla 6. Principales materiales encapsulantes para secado por aspersión

Carbohidratos	Gomas	Lípidos	Proteínas
Almidones	Arábiga	Ceras	Gelatina
Maltodextrinas	Guar	Parafinas	Proteína de soya
Jarabe de maíz	Alginato de sodio	Grasas	Caseinatos
Sacarosa	Carragenina	Ácido esteárico	gluten
Derivados de celulosa	Mezquite	Tristearina	Proteínas de suero de leche

Elaborado por: Basantez, A. **Resumido de:** (López et al., 2011)

Según **Lozano et al. (2012)**, el microencapsulante ideal debe tener propiedades específicas como:

- a. Presentar baja viscosidad, cuando se encuentre en altas concentraciones
- b. Poseer baja higroscopicidad para evitar aglomeraciones
- c. No reaccionar químicamente con el material de encapsulación
- d. No ser soluble con el material interno (núcleo)
- e. Dar la mayor protección posible a agentes externos como la luz y el oxígeno
- f. Ser soluble con los solventes utilizados
- g. Tener un mecanismo adecuado para la liberación del núcleo
- h. No tener sabor u olor desagradable
- i. Ser económico y de fácil manipulación

1.1.6.2. 1. Maltodextrina

La maltodextrina (MD) es un polímero nutritivo que se obtiene por hidrólisis ácida o enzimática del almidón, se compone de unidades de D-glucosa unidas por el enlace α -1-4, el nivel de hidrolisis se representa por el equivalente de dextrosa (DE) en un rango 3 y 20 el cual determina sus propiedades físicas. La MD es altamente eficiente, no es costosa, no proporciona sabor, puede producir altas concentraciones de sólidos y baja viscosidad lo que mejora la estabilidad a los aceites frente a la oxidación (**Gharsallaoui et al., 2007; Shahidi y Han, 1993**).

Este material es un buen agente formador de películas protectoras, pueden retrasar la cristalización y disminuir la higroscopicidad de una emulsión. Además, debido a su polaridad es altamente soluble en agua, las MD se utilizan en la industria de la encapsulación principalmente como aditivos en los procesos de secado . El beneficio más importante de la adición de MD es la disminución de los problemas de adherencia y aglomeración, mejorando así la estabilidad de las MC (**Gabas et al., 2009; Saavedra et al., 2015**).

1.1.6.2.2. Goma arábica

Llamada también goma acacia, se obtiene de la planta *Acacia Senegal L*, se compone de ácido D-glucurónico, L- ramnosa, D- galactosa y L-arabinosa, el 5% de proteína que contiene le atribuyen sus propiedades emulsificantes. Es altamente conocida y única por presentar baja viscosidad en soluciones acuosas, presenta alta solubilidad, posee propiedades surfactantes; puede producir emulsiones estables con aceites en varios rangos de pH; gracias a estas propiedades ha sido utilizada como material para formar paredes o películas protectoras en tecnologías como la microencapsulación (**Gracia, 1998; Shahidi y Han, 1993**).

La porción proteínica de la goma arábica (GA) es responsable de las propiedades emulsificantes, permite formar y estabilizar las mezclas de aceite/agua, generando una buena interacción superficial. Esta fracción se compone por la proteína arabino-galactano la cual se introduce en la fase oleosa, mientras que los carbohidratos permanecen en la fase acuosa proporcionando a las emulsiones alta estabilidad, todo esto le atribuyen sus propiedades surfactantes (**Monroy et al., 2014**).

1.1.6.2.3. Combinación de Goma arábica y Maltodextrina como agentes encapsulantes

Esta combinación presenta algunas características funcionales que benefician en la formación de la película protectora, la combinación de compuestos de diferente masa molecular contribuye al enmascaramiento de aceites con bajo peso molecular, además,

esta diferencia de peso funciona como barrera en los procesos de adsorción de agua reduciendo la higroscopicidad del producto (**López et al., 2011**).

Por otro lado, el nivel de DE es otro punto importante, mientras es más alto, el nivel de protección frente al oxígeno es mayor. Esta mezcla también aprovecha las propiedades de la GA la cual puede mantener estable la interacción de aceite y agua, esto gracias a la formación de uniones entre las gotas de aceite en los anclajes de la cadena de la goma, resultando beneficioso para la protección de los AG frente a la oxidación. Esta mezcla presenta propiedades anfifílicas, es decir, sus moléculas poseen propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas, lo que beneficia la formación de las emulsiones agua/aceite (**Sotelo et al., 2018**).

1.1.7. Estudio de la estabilidad oxidativa

La rancidez oxidativa es la causa principal del deterioro de alimentos con contenido representable de grasa, esto influye en la vida de anaquel de este tipo de productos, la oxidación da origen a olores y sabores desagradables. Las evaluaciones de este parámetro en condiciones normales determinan datos cercanos a la realidad, sin embargo, el tiempo que toman estas pruebas son muy prolongados, puede tomar entre semanas y meses, por esta razón se han desarrollado pruebas aceleradas de oxidación, las cuales miden variaciones específicas generadas en las reacciones de degradación, como por ejemplo: la detección de compuestos específicos que se liberan en la oxidación o el consumo de oxígeno por las muestras (**Cortez y Sánchez, 2017**).

1.1.7.1. Método de oxidación acelerada Oxitest

El reactor Oxitest desarrollado por la compañía italiana Velp Scientifica, es un equipo para pruebas de oxidación acelerada de muestras de cualquier tipo, no necesita extracción previa de la grasa ya que el análisis se lleva a cabo en toda la muestra. Este método está validado y reconocido oficialmente por la AOCS (American Oil Chemist's Society) desde el 2017 y se identifica como: AOCS Método oficial Cd 12c-16, prueba

de oxidación acelerada para determinar la estabilidad de oxidación en aceites, grasas y alimentos (VELP Scientifica, 2022).

Los análisis realizados con el método Oxitest aceleran los procesos de oxidación en condiciones normales que pueden tomar mucho tiempo, para llevar a cabo esto, el equipo simula un ambiente de alto estrés oxidativo, la cual combina altas temperaturas con una sobrepresión de oxígeno. El equipo detecta y mide el consumo de oxígeno por las muestras, lo que produce un cambio en la presión absoluta en el interior de los reactores y se relaciona con la oxidación lipídica (AOCS, 2021).

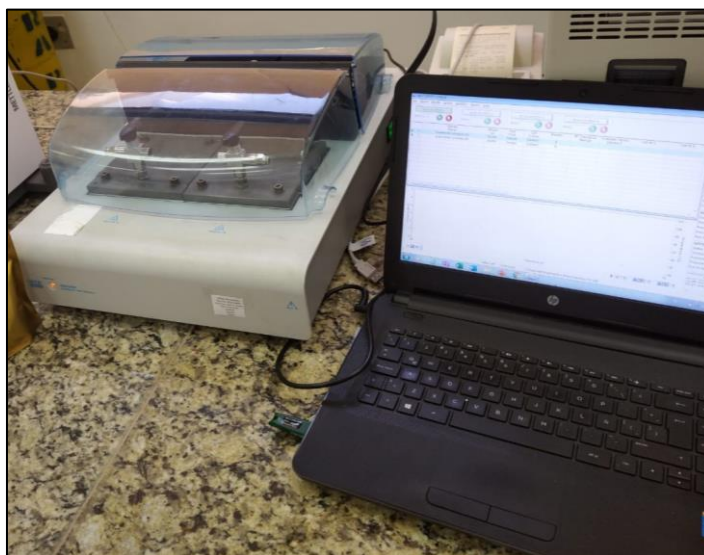


Figura 10. Reactor de oxidación acelerada Oxitest

Fuente: Laboratorio de Análisis Químicos. Proyecto de Canje y Deuda. UODIDE. FCIAB-UTA.

El análisis permite obtener una curva de oxidación caracterizando el periodo de inducción (IP), el cual refleja el tiempo que toma el inicio de la oxidación. La información del producto se puede analizar usando la pendiente de la curva de oxidación, uno de los parámetros que se pueden estudiar es la estimación de la caducidad, con esto es posible obtener una predicción de la vida útil de una muestra incluso a temperatura ambiente (VELP Scientifica, 2019).

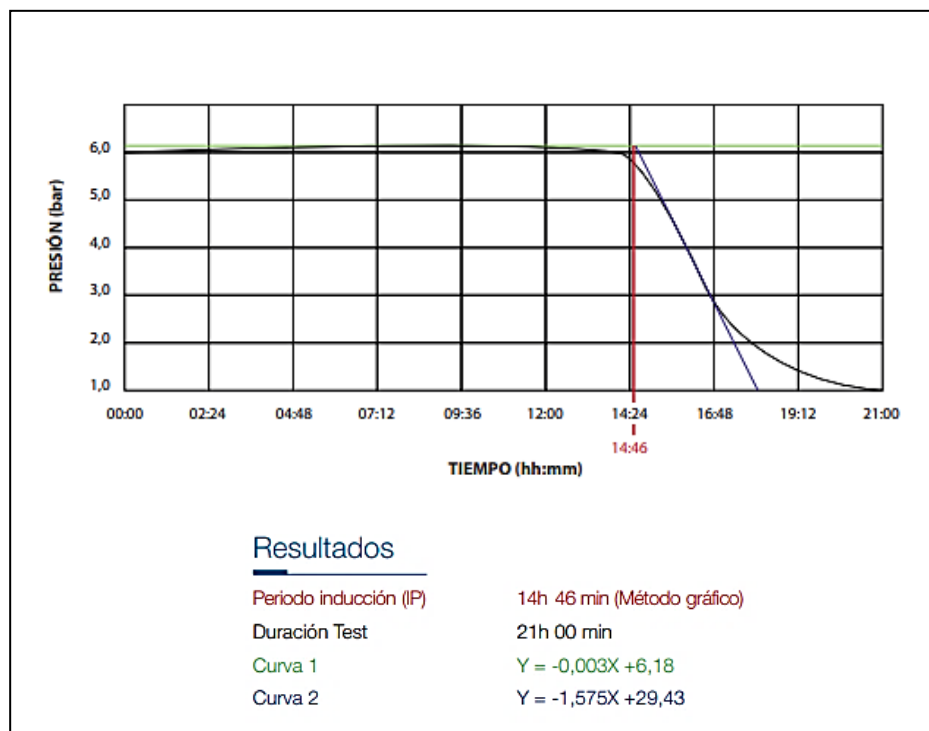


Figura 11. Representación de curva de oxidación y el IP

Fuente: (VELP Scientifica, 2019).

1.1.8. Tiempo de vida útil

Se define como el tiempo transcurrido después de la producción en condiciones de almacenamiento, en el cual el alimento conserva sus cualidades organolépticas y de seguridad, hasta que pierde sus propiedades físicas, químicas, sensoriales y microbiológicas. Los factores que influye en el tiempo de vida útil son: la formulación, el proceso industrial de transformación, el tipo de envasado y las condiciones de almacenamiento y distribución (Carrillo y Reyes, 2014).

1.1.9. Suplemento alimenticio

Los suplementos alimenticios o complementos dietéticos se elaboran mediante la combinación de extractos vegetales, frutas deshidratadas o concentradas, pueden

incluir complejos vitamínicos, minerales, ácidos grasos, enzimas u otros ingredientes que aporten una función nutricional, normalmente se encuentran en forma de capsulas o polvos listos para adicionar a otros alimentos (**Ghosh et al., 2018**).

La FDA (U.S. Food and Drug Administration) señala que los complementos alimenticios no son medicamentos, aditivos alimentarios, ni alimentos convencionales, por lo que estos productos no pueden estar destinados para prevenir o tratar ninguna enfermedad. Los suplementos pueden contener diferentes dosis y combinaciones de sus componentes, debido a esto, para cuidar el bienestar de los consumidores estos productos solo pueden consumirse con un análisis previo de las deficiencias nutricionales y con una recomendación de una dosis diaria adecuada (**Hassan et al., 2020**).

Rovira et al. (2013), señala que los suplementos alimenticios pueden clasificarse en dos grupos en base a su función.

- a. Suplementos alimenticios que actúan como complementos de una dieta normal, sirven para satisfacer las deficiencias que esta dieta presente.
- b. Suplementos alimenticios que están destinados para tratamientos nutricionales específicos, en este grupo se encuentran los productos con composiciones particulares destinadas a una categoría específica de personas, se recetan a personas con problemas metabólicos o pacientes en estado fisiológico especial.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Estudiar el efecto de la adición de microencapsulado de aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) y Chía (*Salvia hispánica*) en el tiempo de vida útil de un suplemento alimenticio.

1.3.2. Objetivos específicos

- Microencapsular el aceite de Sacha Inchi y Chía mediante secado por aspersión.

- Determinar la eficiencia del microencapsulado de aceite Sacha Inchi y Chía.
- Caracterizar las microcápsulas mediante microscopía electrónica de barrido y espectroscopía infrarroja.
- Analizar la estabilidad oxidativa del microencapsulado con su adición al suplemento.
- Estimar el tiempo de vida útil del suplemento alimenticio con adición de microencapsulado.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis nula

H₀: La adición de MC de aceite de Sacha Inchi y Chía no influye en la vida útil del suplemento alimenticio en estudio.

1.4.2. Hipótesis alternativa

H₁: La adición de MC de aceite de Sacha Inchi y Chía influye en la vida útil del suplemento alimenticio en estudio.

1.5. Señalamiento de variables

1.5.1. Variables independientes

- Condiciones de trabajo en el proceso de microencapsulación
- Eficiencia del microencapsulado
- Morfología de las microcápsulas

1.5.2. Variables dependientes

- Estabilidad oxidativa y tiempo de vida útil del suplemento alimenticio al adicionar el microencapsulado.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales

- Aceite de Sacha Inchi, INPALCA SCC
- Aceite de Chía, HANSIK
- Maltodextrina, Norbright
- Goma arábiga, Nexira
- Éter de petróleo, Fisher Chemical

2.2. Equipos

- Secador por aspersión, Buchi B290
- Espectrofotómetro de infrarrojo, Jasco FT/IR-4100
- Extractor de grasa, Velp Scientifica
- Reactor Oxitest, Velp Scientifica
- Metalizador, SPI Supplies
- Microscopio electrónico de barrido, VESCAN-VEGA3 SEM
- Balanza analítica, Mettler Toledo
- Homogenizador Ultra turrax, Ika
- Material de vidrio

2.3. Métodos

2.3.1. Obtención del microencapsulado

Se siguió el método sugerido por **Pastuña (2016)**, con modificaciones, se comenzó pesando los polímeros, 100 g de MD y 100 g de GA para tener una proporción de 1:1, luego se calentó 572 ml de agua destilada a 42°C, entonces se añadió de la mezcla de polímeros al agua y se empezó a mezclar con un agitador mecánico por 5 min a 1270

rpm, después se adicionó 100 ml de la mezcla de aceites (67 % Sacha Inchi y 33 % Chía) que representa una carga de 33% y se homogenizó por 5 min a 2400 rpm para formar la emulsión. La mezcla se llevó al secador por aspersión, primero se acopló los componentes del secador y se encendió el equipo, luego en el panel de control se programó la temperatura de entrada a 150 °C y de salida a 90°C, a continuación, se verificó que el flujo del atomizador y se circuló agua para estabilizar las temperaturas de funcionamiento. Se comenzó con el proceso, la alimentación de la emulsión se dio mediante la bomba peristáltica para luego ser atomizada y circular por la cámara de secado, luego las MC pasaron al ciclón para luego ser recolectadas en el vaso recolector, una vez terminado el proceso de desarmó el equipo, se limpió todos los componentes y finalmente se almacenaron las MC recuperadas en fundas herméticas.

2.3.2. Cuantificación del aceite libre

Para llevar a cabo este análisis se aplicó el método **AOAC 2003.06 (2003)** y la metodología mencionada por **Solís (2018)**, con modificaciones, se hizo tres réplicas. Para la determinación del aceite libre (AL) se utilizó el extractor Soxhlet de la marca Velp Scientifica. Primero se pesaron los vasos de extracción vacíos, se colocó 3 g de MC en un papel filtro y se ubicó en el dedal de celulosa. A continuación, se encendió el equipo de extracción y se seleccionó la temperatura de 110 °C, se ubicaron los dedales con la muestra y los vasos con 60 ml de éter de petróleo en los lugares respectivos. Una vez iniciada la ebullición del disolvente se sumergieron los dedales por un periodo de 15 minutos, luego se levantaron para permitir la recirculación del disolvente durante 30 minutos. Transcurrido este tiempo se abrieron las válvulas de la cámara de recuperación y se procedió a recoger el disolvente por 40 min. Finalmente, se colocaron los vasos con la muestra obtenida de aceite durante 1 hora a 96 °C en una estufa con el fin de eliminar todo el disolvente. Se enfrió a temperatura ambiente en un desecador y se pesó en una balanza analítica.

Para el cálculo del aceite libre se utilizó la siguiente formula:

$$\text{Aceite libre}(\%) = \left[\frac{A - B}{C} * 100\% \right]$$

Donde:

A: Peso del vaso con el aceite superficial después de la extracción.

B: Peso del vaso vacío.

C: Peso de la muestra antes del proceso de extracción.

2.3.3. Determinación de la eficiencia

La eficiencia se calculó en base a la cantidad de aceite libre encontrado, para esto se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%E. M = \frac{\%Aceite\ total - \%Aceite\ libre}{\%Aceite\ total} * 100$$

2.3.4. Caracterización con microscopía electrónica de barrido

Este análisis se realizó en el Laboratorio de Metalografía SEM de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, la metodología que se siguió es mencionada por **Pastuña (2016)**, para lo cual se empleó el microscopio electrónico de barrido VESCAN-VEGA3 SEM. El proceso inició con la preparación de la muestra, primero se fijó una mínima cantidad de MC sobre una placa, porta muestras, que contiene una cinta de carbono, seguidamente se metalizó al vacío con una capa de oro por 20 segundos. Lista la muestra, se llevó al microscopio electrónico para su medición. El SEM se inició despresurizando la cámara de muestras evacuando el N₂ contenido, posteriormente se abrió y colocó la muestra metalizada, se cerró la cámara y se formó un nuevo vacío con Nitrógeno (4.8 de alta pureza). A continuación, se observó a través del microscopio mediante la manipulación de los diferentes lentes y la velocidad del haz de electrones. Se identificó las imágenes de las MC y finalmente se analizó su morfología, superficie y tamaño.

2.3.5. Caracterización con espectroscopía infrarroja

Se aplicó el método sugerido por **López et al. (2011)**, con modificaciones. El análisis de espectroscopía infrarroja se realizó con el espectroscopio infrarrojo Jasco FT/IR-4100 en el Laboratorio de Análisis Químicos. Proyecto de Canje y Deuda. UODIDE. FCIAB-UTA. Luego de encendido el equipo, se inició con una limpieza delicada con algodón y alcohol en el cristal de diamante del área de porta muestra, seguidamente se colocó 1 gota de la mezcla de aceites sin microencapsular y realizó el barrido espectral de la muestra. Así se obtuvieron los espectros en la pantalla. Después se realizó el mismo procedimiento, con una pequeña cantidad del microencapsulado y con la mezcla de polímeros, por ser muestras sólidas se requirió un ajuste, lo cual se realizó manualmente con el soporte que posee el equipo. Finalmente, se analizaron los espectros obtenidos, utilizando el programa Spectra Analysis, se identificaron las bandas más relevantes y se guardaron los espectros resultantes.

2.3.6. Determinación de la estabilidad oxidativa

Para determinar la estabilidad oxidativa se trabajó con la metodología establecida en el manual del equipo Oxitest (Modelo V02M2U), aplicando el método AOCS Cd12c-16, ubicado en el Laboratorio de Análisis Químicos. Proyecto de Canje y Deuda. UODIDE. FCIAB-UTA, con dos muestras, la primera correspondió al suplemento sin MC y la segunda al suplemento con adición de MC (8.2%), sin adición de ningún conservante ni la influencia de empaques. Las condiciones del análisis en el reactor Oxitest fueron las siguientes: presión 6 bar, temperaturas (90, 100, 110 °C) por un tiempo de 90 horas. Se limpió el equipo con alcohol etílico al 70%, después, se distribuyó 30 g de muestra entre los 3 soportes, luego se colocó en la cámara de oxidación, que consta de dos reactores (A y B), se tapó con las coberturas de titanio y se ajustó los tornillos para asegurarlas. Seguidamente, en el software Velp OXIsoft, instalado en la computadora adjunta se ingresó los datos según el perfil seleccionado para la muestra en estudio, se esperó que el equipo alcance la temperatura programada. A continuación, se cerró las válvulas del equipo y se abrió la llave del oxígeno hasta alcanzar una presión de 6 bares, conseguida esa presión, el equipo comenzó a registrar

los datos. Al finalizar el estudio se obtuvo los valores de IP (periodo de inducción) y la ecuación de la curva de oxidación. Finalmente, luego de haber transcurrido el tiempo que le toma al análisis, se despresurizó el equipo, se esperó que se enfríe y se recolectó los datos obtenidos.

2.3.7. Estimación de vida útil del producto

Para la estimación de vida útil del suplemento antes y después de adicionarle MC, se utilizó la herramienta “ESTIMATED SHELF LIFE” del software Velp OXIsoft, este método realiza una extrapolación matemática con los datos obtenidos en el análisis de estabilidad oxidativa (IP, curva de oxidación). Esto permitió obtener el tiempo de vida útil a temperatura ambiente, para la extrapolación se tomó en cuenta temperaturas de 15 °C y 20 °C que es la temperatura promedio de la ciudad de Ambato. Se utilizó la siguiente ecuación:

$$y = mx + c$$

Donde:

y= ln IP (h:min)

m= pendiente de la recta

x = Temperatura (15 – 20 °C)

c= ordenada en el origen

2.3.8. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se empleó el software STATGRAPHICS Centurion XVIII, las comparaciones entre los tiempos de vida útil del suplemento a diferentes temperaturas se hicieron con el análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de rangos múltiples, con esto se comprobó el efecto que tiene la adición de MC en la vida de anaquel del suplemento.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de resultados

3.1.1. Resultados de la microencapsulación por secado por aspersión

3.1.1.1. Aceite libre (AL) y eficiencia de la microencapsulación (EM)

Terminado el proceso de microencapsulación mediante secado por aspersión se cuantificó el AL y posteriormente se calculó la EM. En la tabla 7 se presentan los resultados obtenidos de los análisis de eficiencia del microencapsulado.

Tabla 7. Aceite libre y Eficiencia de Microencapsulación de la mezcla de aceites de Sacha Inchi y Chía

Réplica	Carga de aceite (%)	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de salida (°C)	Aceite libre (%)	Eficiencia (ME) (%)
1				10.94	66.84
2	33%	150	90	10.42	68.42
3				10.11	69.36
			Promedio	10.49	68.20

De acuerdo con **Cadena (2021)**, el aceite superficial o AL es la cantidad de aceite que no se ha introducido en la matriz polimérica por diversos factores y tiene una relación directa con su eficiencia. En la Tabla 5 se reporta los resultados obtenidos en este estudio, estos no sobrepasan el 10 % para AL y el 68 % para la EM. Estos valores concuerdan por los reportados por **Bae y Lee (2008)**, en una investigación sobre microencapsulación de aceite de aguacate, utilizando una carga de 20 % y temperatura de entrada de 180 °C, en donde se obtuvo una EM de alrededor del 66% y una determinación de AL que no fue superior al 11% (**Bae y Lee, 2008**). De la misma

manera los valores obtenidos se relacionan con los presentados por **Castejón et al. (2021)**, en su estudio sobre microencapsulación de lípidos omega-3 de semillas de oleaginosas y microalgas, en la cual se determinó una EM de 67.8 % de con un 4.8 % de AL.

En una investigación similar sobre microencapsulación de aceite linaza con una carga de aceite de 30 % y una temperatura de entrada de 150°C, el resultado de la EM máxima fue de 59 % (**Solís, 2018**). Mientras que en el estudio de **Pastuña et al. (2016)**, obtuvieron más del 90 % de EM, utilizando una mezcla polimérica de GA y MD, con una carga de aceite del 33%.

La variación presentada en las diversas investigaciones está influenciada por algunos factores, como, por ejemplo: el tipo de material encapsulante, la carga de aceite y las condiciones del proceso de microencapsulación. En el trabajo realizado por **Sanchez y Gutiérrez (2017)**, se concluye que la EM está directamente relacionada con tipo de material polimérico, además, señala que a mayor cantidad de material encapsulante y menor carga de aceite la eficiencia es superior. Esta afirmación se fortalece con lo descrito por **Tonon et al. (2011)**, quienes al microencapsular aceite de linaza determinaron que, entre los factores más influyentes en la EM final, está la concentración de aceite en la emulsión inicial, ya que encontraron que a mayor concentración en la superficie de secado la distancia de difusión a la interfaz aire caliente/partículas decrece. El efecto de la temperatura de entrada es también relevante, cuando esta es demasiado elevada el tiempo de formación de la película es muy rápido lo que no permite que el aceite se guarde en el núcleo de las MC.

De acuerdo, a los resultados presentados en las distintas investigaciones , se puede deducir que los resultados obtenidos en el presente estudio son relevantes y competitivos, por tanto, aceptables

3.1.2. Caracterización morfológica de las microcápsulas

3.1.2.1. Morfología de las microcápsulas y tamaño de partículas mediante microscopía electrónica de barrido

Las características morfológicas de las MC de aceite de Sacha Inchi y Chía fueron analizadas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). La Figura 12, muestra una microfotografía del microencapsulado metalizado, en la cual se observó superficies redondeadas con una pared continua, sin grietas ni poros visibles, estas características son deseables para proveer una mejor protección del ingrediente activo, debido a que permiten obtener una menor permeabilidad a los gases y mejoran la retención del núcleo (Aguilar, 2017). Este tipo de morfología también ha sido reportada por otros autores (Carneiro et al., 2013; Landoni et al., 2019).

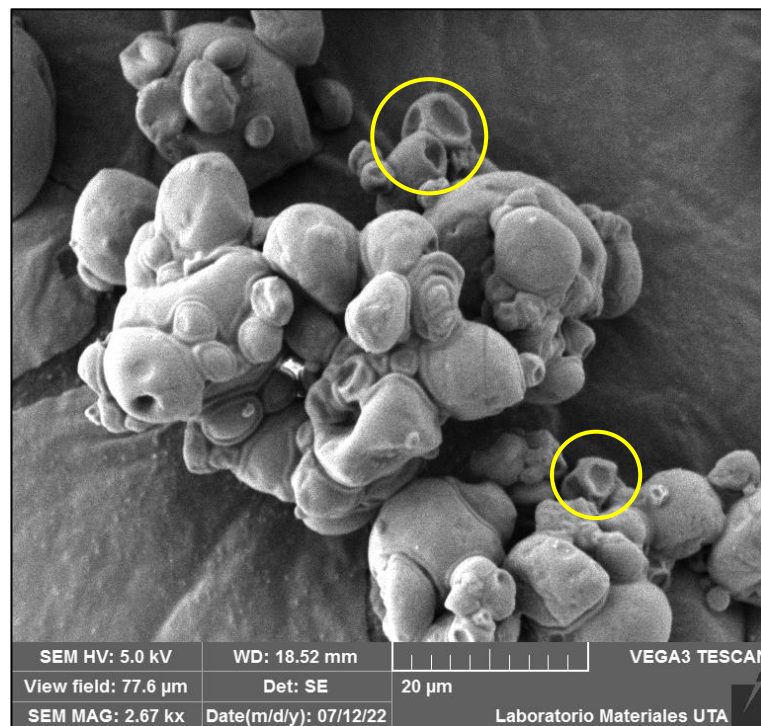


Figura 12. Imágenes SEM de las MC metalizadas de la mezcla de aceite de Sacha Inchi y Chía. Superficies cóncavas y rugosas (círculos amarillos)

Fuente: Laboratorio de Metalografía SEM, FCIM-UTA.

Según **Tonon et al (2012)**, la morfología de la superficie está relacionada con la eficiencia del microencapsulado, la presencia de poros o aberturas es un indicio de una mala práctica en el proceso de microencapsulación y dan como resultado una liberación prematura del núcleo, lo que incide negativamente en su estabilidad oxidativa en el caso de los aceites.

Por otra parte, se evidenciaron algunas superficies cóncavas y rugosas (círculos amarillos) (Figura 12), estas anomalías son características de las MC procedentes de secado por aspersión y han sido observadas en estudios semejantes (**Castejón et al., 2021; Karaca et al., 2013**). De acuerdo con **Gallardo et al. (2013)**, este fenómeno es el resultado del secado irregular en las fases iniciales del proceso, lo que ocasiona una lenta formación de la película protectora. Se ha demostrado que se puede mejorar la esfericidad de las micropartículas con la utilización de MD con más de 20 DE, sin embargo, también se ha observado que existe una influencia importante de la interacción del núcleo con la pared de polímeros en la formación de estas irregularidades (**Aguilar, 2017**).

Asimismo, se observó aglomeración entre las partículas, esta anomalía está relacionada con el porcentaje de AL y humedad, por lo que, se infiere que el contenido de AL del 10.49 % determinado en este estudio puede ser en parte responsable de la agregación presentada. Sin embargo, esta entre los de menor valor reportado bibliográficamente. La presencia de aglomeración concuerda con las observaciones de otros investigadores, que también la reportan en sus estudios de microencapsulación (**Bae y Lee, 2008; Partanen et al., 2008; Soottitantawat et al., 2004**).

En cuanto al análisis de la distribución del tamaño de las micropartículas (Figura 13), estas se encontraron en un rango entre 9.02 μm y 22.99 μm , indicando una dispersión de tamaño considerable. Estos resultados tienen concordancia con los presentados por diversos autores (**Bajac et al., 2022; M. Bordón et al., 2021; Umaña et al., 2021**), los cuales determinaron tamaños y comportamientos similares al producir MC de componentes oleosos mediante secado por aspersión.

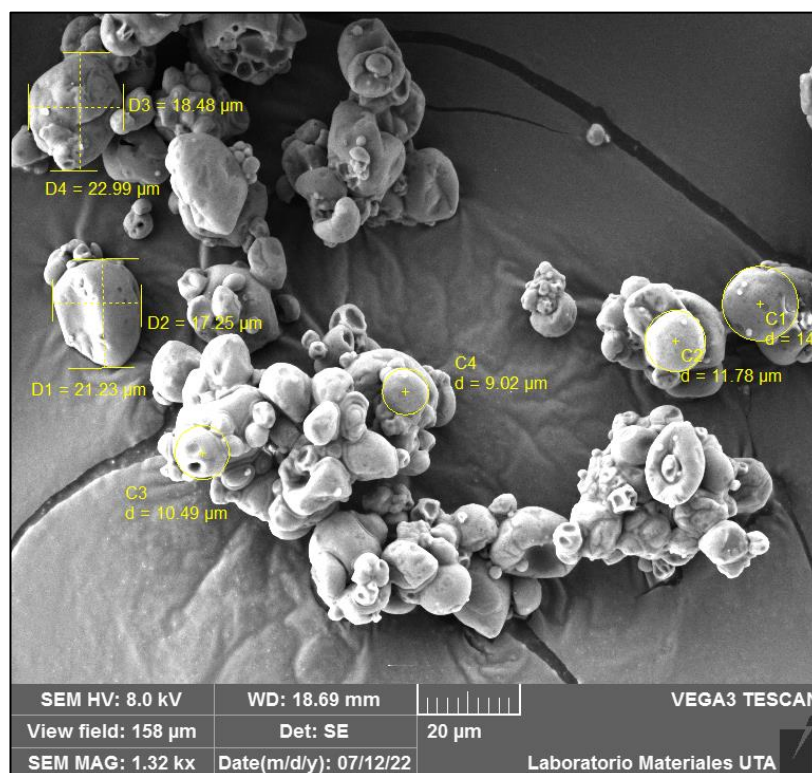


Figura 13. Distribución de tamaño de MC de la mezcla de aceite de Sacha Inchi y Chía. MC con dispersión de tamaño entre 9.02 y 22.99 μm .

Fuente: Laboratorio de Metalografía SEM, FCIM-UTA.

Karrar et al. (2021) y **Shamaei et al. (2017)**, resaltan que eficiencias menores del 60% se relacionan con un tamaño de partícula superior a los 50 μm , mientras que las MC que alcanzan tamaños inferiores y poseen una distribución homogénea alcanzan eficiencias superiores al 70%, lo cual es congruente con los resultados obtenidos en la presente investigación.

Hoyos et al. (2019), señala que el tamaño de las MC también tiene relación con la viscosidad inicial de la emulsión y la velocidad de atomización, mientras mayor es la viscosidad de la mezcla las gotículas formadas por el atomizador son de mayor tamaño, ya que la velocidad de alimentación no permanece constante. Según **Reineccius (2004)**, la temperatura de secado también influye en la dimensión de las MC, las temperaturas excesivas dan lugar a una evaporación acelerada y una formación prematura de la capa protectora, esto no permite que las micropartículas se encojan y formen su estructura característica.

3.1.2.2. Análisis de espectroscopía infrarroja de las microcápsulas

El análisis de espectroscopía infrarroja se llevó a cabo en un rango espectral de 550 cm^{-1} hasta 4000 cm^{-1} , se analizó la mezcla polimérica de GA y MD, la mezcla de aceites de Sacha Inchi y Chía y las MC, los espectros obtenidos se muestran en la Figura 14.

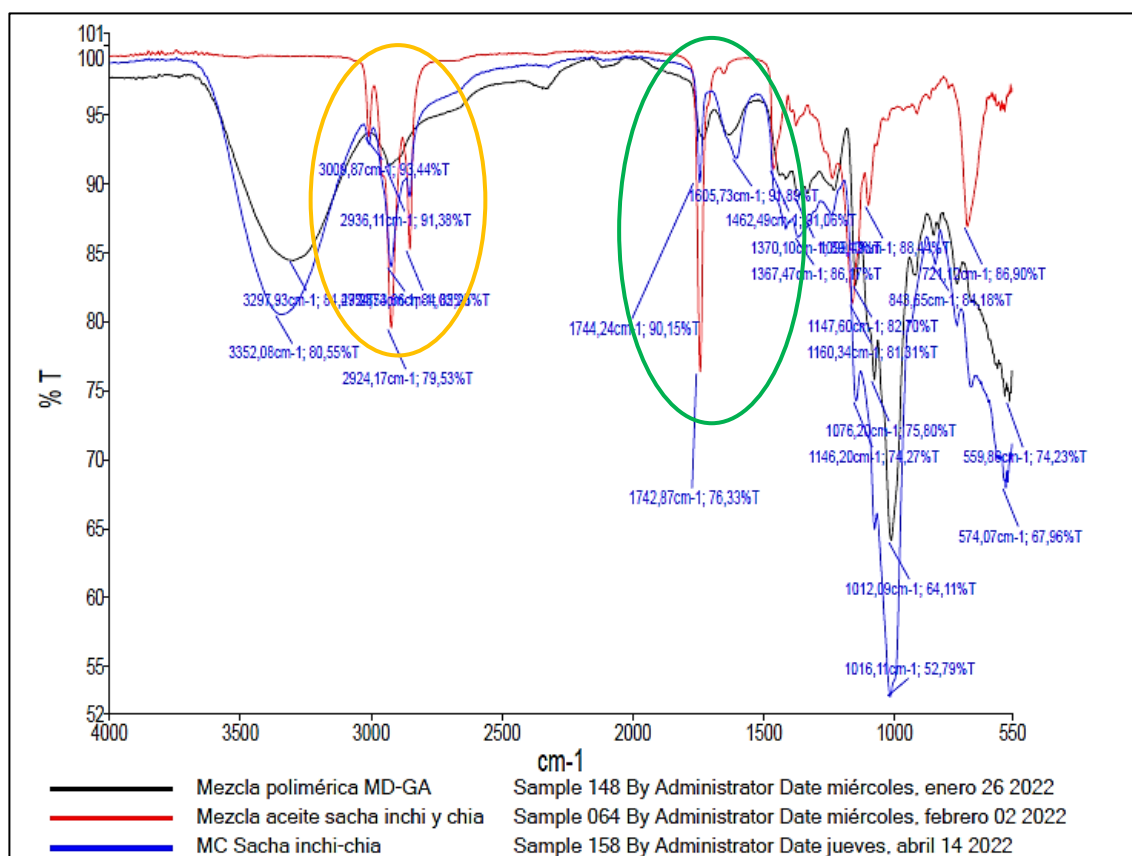


Figura 14. Espectros infrarrojo-superpuestos de la mezcla polimérica, mezcla de aceites y microencapsulado. Reducción de picos característicos de los AG de la mezcla de aceite (Elipse naranja y verde)

Fuente: Laboratorio de Análisis Químicos. Proyecto de Canje y Deuda. UODIDE. FCIAB-UTA.

El espectro de la mezcla de aceites presentó los picos característicos de los grupos funcionales de los AG. Entre 2800 cm^{-1} y $3009,87\text{ cm}^{-1}$ (elipse naranja) se observó la banda de absorción de los enlaces del grupo carboxilo, propio de los AGI, encontrados

también por otros investigadores en estudios similares (**Bordón et al., 2021; Pastuña et al., 2016**). Asimismo, en la longitud de onda de $1742,87\text{ cm}^{-1}$ (elipse verde) se evidenció la banda típica de absorción de los ésteres que forman los triacilglicerolos, que normalmente poseen los aceites con alto nivel de insaturación, como es el caso del aceite de Sacha Inchi y Chía (**Da Silva et al. 2019**).

Los resultados indican que las bandas que diferencian a la mezcla de aceites se encuentran minimizadas en el caso del aceite microencapsulado, mientras que en el espectro de la mezcla polimérica no se observan, por lo que se deduce que los aceites están protegidos por la mezcla de polímeros, demostrando la eficiencia de la microencapsulación mediante secado por aspersión, estos resultados coinciden con lo reportado en otras investigaciones (**Başığit et al., 2020; López et al., 2015; Sanchez y Gutiérrez, 2017**)

3.1.3. Análisis de la estabilidad oxidativa y determinación de vida útil del suplemento alimenticio

3.1.3.1. Resultados de Estabilidad Oxidativa

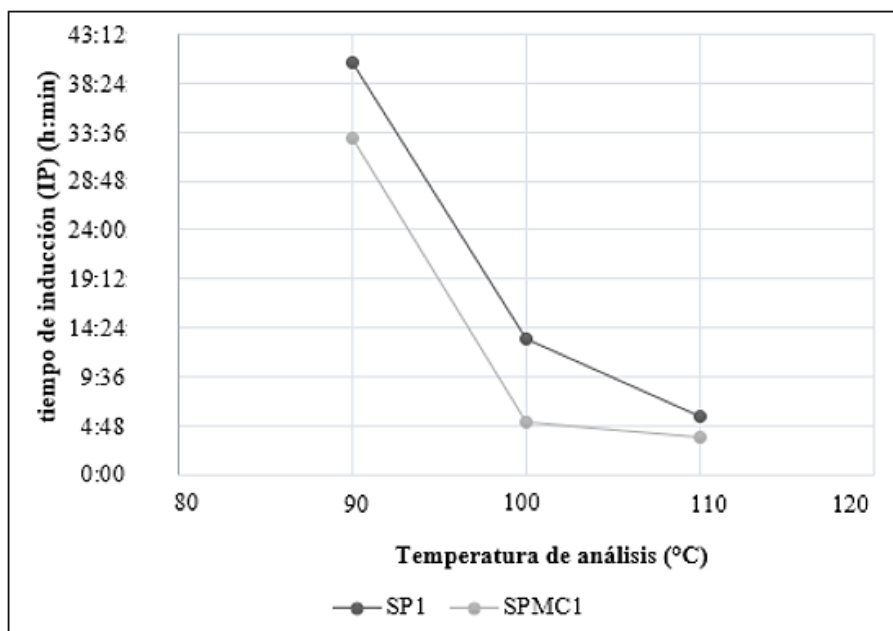


Figura 15. Tiempos de inducción (IP) de las muestras a diferentes temperaturas. **SP1** (suplemento), **SPMC1** (suplemento + MC).

La estabilidad oxidativa del suplemento antes y después de la adición de MC se representa mediante la variación de los tiempos de inducción (IP), registrados por el reactor Oxitest (Figura 15), el análisis reveló un comportamiento similar en las muestras, la disminución del IP al incrementarse la temperatura. Por otro lado, se identificó que la muestra de suplemento a la que se le agregó MC (**SPMC1**) exhibió IPs menores, en relación de los de la muestra de suplemento (**SP1**), lo que significa que la disminución de la estabilidad oxidativa está relacionada con la inclusión de MC.

Estos resultados concuerdan con lo descrito en investigaciones similares (**Claus et al., 2015; Dordoni et al., 2019; Wang et al., 2022; Xie et al., 2019**), donde se señala que el IP es una medida de la rancidez detectable mediante el cambio de la tasa de oxidación, por lo que, un valor superior de IP representa una mayor estabilidad oxidativa. Asimismo, estos autores concuerdan que los resultados obtenidos por este método de oxidación acelerada son representativos, esto favorece a la validación de la metodología aplicada.

3.1.3.2. Resultados de estimación de vida útil

Para la estimación de vida útil de las muestras se efectuó una extrapolación matemática utilizando los resultados del IP y las ecuaciones de las curvas de oxidación conseguidas del reactor Oxitest, con estos datos se determinó la vida útil del suplemento alimenticio con y sin adición de MC, a 15 °C y 20 °C que es la temperatura promedio de la ciudad de Ambato.

Tabla 8. *Tiempos de vida útil del Suplemento y del Suplemento + MC*

Muestra	Réplica	Tiempo de vida útil (meses)	
		15°C	20°C
Suplemento (SP1)	RA	3.324	2.041
	RB	3.428	2.097
Suplemento + MC (SPMC1)	RA	0.373	0.250
	RB	0.384	0.263

Los resultados reportados en la Tabla 8, muestran los tiempos de vida útil calculados en meses de las muestras de suplemento con y sin inclusión de MC, los mismos que exhiben una disminución considerable en las muestras a las que se les añadió MC (SPMC1). Además, en la Figura 16 del diagrama de comparación se observó como la temperatura de conservación influye en esta reducción, es así como las muestras que presentaron mayor estabilidad oxidativa fueron las de SP1 a 15 °C donde el tiempo de vida útil medio estimado fue de 3.37 meses y se redujo a 0.37 meses al adicionarle MC, con un factor de reducción de 9.1 aproximadamente. Mientras que, las muestras con menor tiempo de conservación fueron las de SPMC1 a 20 °C, pasando de un promedio de 2.06 a 0.25 meses, con un factor de disminución de alrededor de 8.2. Sin embargo, se debe indicar que el análisis de vida útil se lo realizó en muestras sin conservantes y sin empaque que lo proteja de las condiciones ambientales.

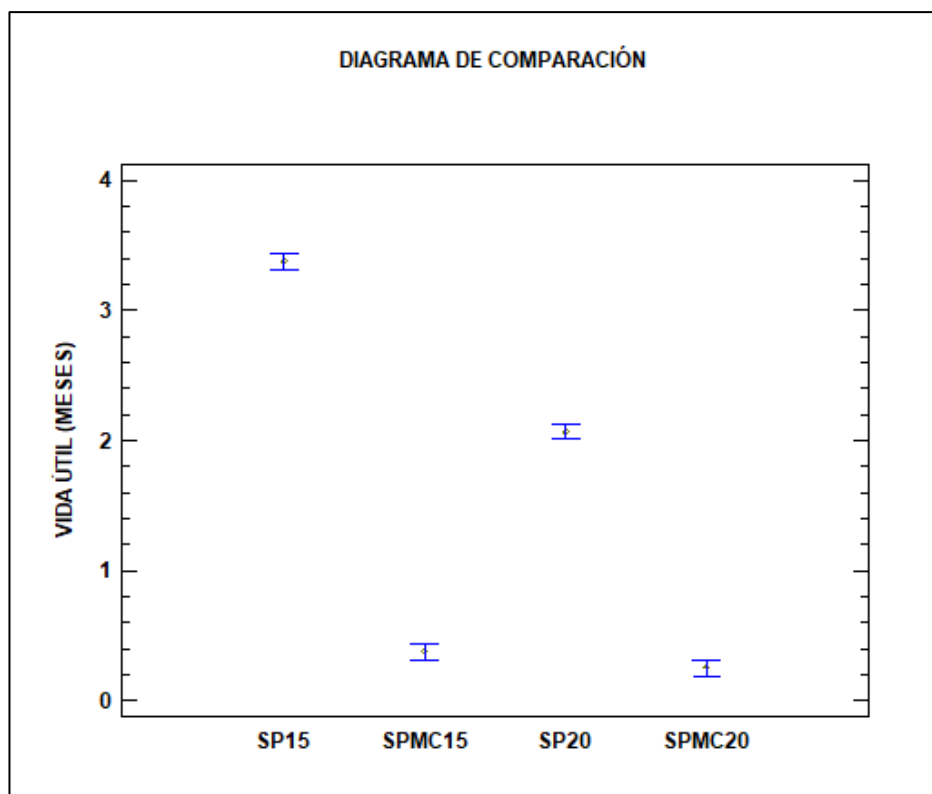


Figura 16. Análisis estadístico del tiempo de vida útil del suplemento. (SP15) Suplemento a 15 °C, (SPMC15) Suplemento + MC a 15 °C, (SP20) Suplemento a 20 °C, (SPMC20) Suplemento+ MC a 20°C.

De acuerdo con los resultados alcanzados en el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de múltiples rangos (Anexo 2) se estableció que existe diferencias significativas en un nivel de confianza de 95%, por lo que se deduce que el tiempo de conservación estimado para las muestras con y sin adición de MC difieren estadísticamente.

El decrecimiento de este parámetro puede estar relacionado con la liberación de la mezcla de aceites de las MC, la baja estabilidad del aceite de Chía y Sacha Inchi está relacionada con el alto contenido de AGP, en un estudio similar, **Guayta (2021)**, encontró que el IP del aceite de Chía sin conservantes ni con la influencia de ningún empaque, fue de alrededor de 2.4 h, denotando un considerable aumento de la estabilidad oxidativa respecto a los datos obtenidos en el presente estudio

Por último, se determinó un mejoramiento de las propiedades organolépticas del suplemento alimenticio, al reducirse notablemente el olor y sabor característico de los aceites vegetales empleados en este estudio, esto concuerda con lo afirmado por **Negrete (2016)**, donde se logró mejorar la aceptabilidad de aceite de cúrcuma y jengibre empleando el método de microencapsulación.

3.2.3. Verificación de hipótesis

3.2.3.1. Comparación de vida útil entre el suplemento con y sin adición de MC de la mezcla de aceite de Sacha Inchi y Chía

Los resultados obtenidos mostraron la influencia que tiene la adición de microencapsulado al suplemento. Mediante el análisis estadístico realizado, se estableció que para un nivel de confianza del 95 % (Anexo 2), no se presenta ninguna semejanza entre los grupos analizados (tiempo de vida útil estimado en meses a 15 y 20 °C del suplemento antes y después de la inclusión de MC). Por lo que, se concluye en aceptar la hipótesis alternativa (H_1) y se establece que la inclusión de MC tiene efectos negativos en el suplemento, al reducirse considerablemente el tiempo de vida útil.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se microencapsuló una mezcla de aceite (67 % Sacha Inchi y 33% Chía) empleando secado por aspersión, la mezcla polimérica utilizada fue goma arábica y maltodextrina en relación 1:1, temperatura de entrada de 150 °C y de salida de 90 °C y una carga de aceite del 33%.
- La eficiencia de microencapsulación obtenida fue de 68.28 %, mientras que el porcentaje de aceite libre encontrado fue del 10.49 %, lo cual demostró que la eficiencia es aceptable y está relacionada con los parámetros de operación de la microencapsulación.
- El análisis morfológico obtenido en el SEM reveló microcápsulas (MC) con paredes redondeadas, libres de poros y agrietamientos, también se encontró apelmazamiento y un rango de tamaño disperso, entre 9.02 μm y 22.99 μm , estos resultados se relacionaron con la eficiencia determinada.
- La disminución de las bandas características de los ácidos grasos evidenciadas a través del análisis de espectroscopía infrarroja confirmó una aceptable eficiencia del microencapsulado obtenido.
- Los tiempo de inducción (IP) de la rancidez oxidativa del suplemento con microencapsulado disminuyeron respecto al mismo sin MC, provocando una disminución del tiempo de vida útil, sin embargo, el suplemento con microencapsulado analizado no contenía conservantes ni tampoco empaque, lo cual seguramente marcó una gran diferencia en el estudio de su estabilidad.

- El tiempo de vida útil estimado presentó una reducción de 3.37 a 0.37 meses en el análisis a 15 °C y de 2.06 a 0.25 meses a temperatura de 20 °C, lo cual determinó que la inclusión de MC tiene un efecto negativo, resultados que fueron validados mediante análisis estadístico, sin embargo, existió un mejoramiento de las propiedades organolépticas.

4.2. Recomendaciones

- Adicionar un antioxidante de origen orgánico para extender la estabilidad oxidativa.
- Mejorar los parámetros de microencapsulación para incrementar la eficiencia del microencapsulado.
- Realizar pruebas de vida útil mediante análisis microbiológicos establecidos en la normativa vigente para este tipo de productos.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

Referencias Bibliográficas

- Aguilar, S. (2017). *Obtención de colorante de quinua (Chenopodium quinoa Wild) y su estabilización mediante encapsulamiento por atomización en MD* . Investigación científica. Universidad Nacional de Juliaca, Perú.
- Alayón, A., y Echeverri, I. (2016). Sacha Inchi (Plukenetia volubilis linneo): ¿Una experiencia ancestral desaprovechada? Evidencias clínicas asociadas a su consumo. *Revista Chilena de Nutricion*, 43(2), 167–171. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000200009>
- AOAC. (2003). Official Method 2003.06. Crude Fat, Hexanes Extraction, in Feed, Cereal Grain, and Forage: AOAC.
- AOCS. (05 de junio del 2022). *Procedimiento estándar AOCS Cd 12c-16*. Recuperado de: <https://www.aocs.org/attain-lab-services/methods/methods/search-results?method=87372592&keywords=Cd-12c-16>
- Ayerza, R. (1995). Oil content and fatty acid composition of Chía (Salvia hispanica L.) from five northwestern locations in Argentina. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 72(9), 1079–1081. <https://doi.org/10.1007/BF02660727>
- Bae, E. K., y Lee, S. J. (2008). Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin. *Journal of Microencapsulation*, 25(8), 549–560. <https://doi.org/10.1080/02652040802075682>
- Bajac, J., Nikolovski, B., Lončarević, I., Petrović, J., Bajac, B., Đurović, S., y Petrović, L. (2022). Microencapsulation of juniper berry essential oil (Juniperus communis L.) by spray drying microcapsule characterization and release kinetics of the oil. *Food Hydrocolloids*, 125, 107430. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2021.107430>
- Bakry, A., Abbas, S., Ali, B., Majeed, H., Abouelwafa, M., Mousa, A., y 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. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12179>

Başığit, B., Sağlam, H., Kandemir, Ş., Karaaslan, A., y Karaaslan, M. (2020). Microencapsulation of sour cherry oil by spray drying: Evaluation of physical morphology, thermal properties, storage stability, and antimicrobial activity. *Powder Technology*, 364, 654–663. <https://doi.org/10.1016/J.POWTEC.2020.02.035>

Bordón, M., Alasino, N., Villanueva, Á., Carrera, C., Pedroche, J., Millán, M., y Martínez, M. (2021). Scale-up and optimization of the spray drying conditions for the development of functional microparticles based on Chía oil. *Food and Bioproducts Processing*, 130, 48–67. <https://doi.org/10.1016/J.FBP.2021.08.006>

Bordón, M. G., Alasino, N. P. X., Martínez, V., Gauna Peter, R., Iturralde, R., Ribotta, P. D., y Martínez, M. L. (2021). Influence of the spray drying operating conditions on the estimated drying kinetics of emulsion single droplets and the properties of microencapsulated Chía oil. *Powder Technology*, 383, 302–317. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.01.030>

Cabezas, C., Hernández, B., y Vargas, M. (2016). Fat and oils: Effects on health and global regulation. *Revista Facultad de Medicina*, 64(4), 761–768. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v64n4.53684>

Cadena, D. (2021). *Estabilidad oxidativa del aceite microencapsulado de la semilla de Sacha Inchi con adición de un antioxidante sintético y natural*. Tesis de pregrado. Universidad Central del Ecuador, Quito.

Carneiro, H., Tonon, R., Grosso, C., y Hubinger, M. (2013). Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. *Journal of Food Engineering*, 115(4), 443–451. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.03.033>

Carrillo, M., y Reyes, A. (2014). Vida útil de los alimentos. *Revista Iberoamericana de Las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 2(3), 32. <https://doi.org/10.23913/ciba.v2i3.20>

- Castejón, N., Luna, P., y Señoráns, F. J. (2021). Microencapsulation by spray drying of omega-3 lipids extracted from oilseeds and microalgae: Effect on polyunsaturated fatty acid composition. *Lwt - Food Science and Technology*, 148. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111789>
- Claus, T., Maruyama, A., Palombini, S., Montanher, F., Bonafé, G., de Oliveira Santos Junior, O., y Visentainer, J. (2015). Chemical characterization and use of artichoke parts for protection from oxidative stress in canola oil. *LWT - Food Science and Technology*, 61(2), 346–351. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2014.12.050>
- Coates, W., y Ayerza, R. (1996). Production potential of Chía in northwestern Argentina. *Industrial Crops and Products*, 5(3), 229–233. [https://doi.org/10.1016/0926-6690\(96\)89454-4](https://doi.org/10.1016/0926-6690(96)89454-4)
- Cortez, D., y Sánchez, E. (2017). *Evaluación de la estabilidad oxidativa de la mezcla de aceites de chía (Salvia Hispánica L.) Y ajonjolí (Sesamum Indicum L.)*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional del Santa, Perú.
Recuperado de:
<http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/2557/23177.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Da Silva, B., Pinto, R., de Carvalho, M. G., Juarez, V., y Garcia, E. (2019). Microencapsulation of Sacha Inchi oil (*Plukenetia volubilis* L.) using complex coacervation: Formation and structural characterization. *Food Chemistry*, 298, 125045. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125045>
- Dordoni, R., Cantaboni, S., y Spigno, G. (2019). Walnut paste: oxidative stability and effect of grape skin extract addition. *Heliyon*, 5(9), e02506. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2019.E02506>
- Gabas, A. L., Telis-Romero, J., Giraldo-Gómez, G. I., y Telis, V. R. N. (2009). Propiedades termodinámicas de sorción de agua de la pulpa de lulo en polvo con encapsulantes. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 29(4), 911–918. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612009000400032>

- Gallardo, G., Guida, L., Martínez, V., López, M. C., Bernhardt, D., Blasco, R., ... Hermida, L. (2013). Microencapsulation of linseed oil by spray drying for functional food application. *Food Research International*, 52(2), 473–482. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.01.020>
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., y Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40(9), 1107–1121. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.004>
- Ghosh, S. K. (2006). Functional Coatings and Microencapsulation: A General Perspective. *Functional Coatings*, 1–28. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/3527608478.ch1>
- Ghosh, S., Pahari, S., y Roy, T. (2018). An updated overview on food supplement. *Asian Journal of Research in Chemistry*, 11(3), 691. <https://doi.org/10.5958/0974-4150.2018.00122.0>
- Giacopini, M. (2008). Efecto de los ácidos grasos trans sobre las lipoproteínas del plasma. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 27(1), 19–21. Recuperado de: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-02642008000100005
- Gracia, O. (1998). Goma arábica: Una maravilla natural que nos beneficia a todos. *Industria Alimentaria*, pp. 1–12. Recuperado de: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/GomaArabiga_1838.pdf
- Guayta, I. (2021). *Evaluación de la estabilidad oxidativa del aceite de chía (Salvia hispanica L.) obtenido por prensado a diferentes concentraciones de α -tocoferol como antioxidante*. Tesis de Posgrado. Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
- Gutiérrez, L., Rosada, L., y Jiménez, Á. (2011). Chemical composition of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and. *Grasas y Aceites*, 62(1), 76–83. <https://doi.org/10.3989/gya044510>
- Hassan, S., Egbuna, C., Tijjani, H., Ifemeje, J., Olisah, C., Patrick, K., y Ephraim, B. (2020). Dietary Supplements: Types, Health Benefits, Industry and Regulation.

Functional Foods and Nutraceuticals, (October), 23–38.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-42319-3_3

Hoyos, J., Bello, L., Agama, J., Alvarez, J., y Jaramillo, L. (2019). Characterization of spray drying microencapsulation of almond oil into taro starch spherical aggregates. *LWT*, *101*, 526–533. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2018.11.079>

Iparraguirre, K. J. (2019). *Microencapsulados Y Su Importancia En La Industria Alimentaria*. 175. Tesis de pregrado. Universidad de Lima, Perú.

Ixtaina, V. Y., Nolasco, S. M., y Tomás, M. C. (2012). Oxidative stability of Chía (*Salvia hispanica L.*) seed oil: Effect of antioxidants and storage conditions. *JAACS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, *89*(6), 1077–1090. <https://doi.org/10.1007/s11746-011-1990-x>

Jordán, M. (2017). *Obtención de un ingrediente funcional en polvo rico en omega-3, 6 y 9 a partir de una mezcla de aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) y aceite de girasol (*Helianthus annuus*)*. Tesis de pregrado. Universidad Técnica de Ambato, Ambato.

Juarez, V., de Souza, T., Barreto, L., da Rocha, E., Guilherme, R., Ormino, G., y García, E. (2017). Microencapsulation of Sacha Inchi oil using emulsion-based delivery systems. *Food Research International*, *99*, 612–622. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.039>

Karaca, A., Nickerson, M., y Low, N. (2013). Microcapsule production employing chickpea or lentil protein isolates and maltodextrin: Physicochemical properties and oxidative protection of encapsulated flaxseed oil. *Food Chemistry*, *139*(1–4), 448–457. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.040>

Karrar, E., Mahdi, A. A., Sheth, S., Mohamed Ahmed, I. A., Manzoor, M. F., Wei, W., y Wang, X. (2021). Effect of maltodextrin combination with gum arabic and whey protein isolate on the microencapsulation of gurun seed oil using a spray-drying method. *International Journal of Biological Macromolecules*, *171*, 208–216. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2020.12.045>

Landoni, L. N., Gallardo, G. L., Calderon, L. V., Perez-Camino, M. C., Mulinacci, N., y Chasquivol Silva, N. (2019). *Microencapsulación de aceite de sachá inchi (*

Plukenetia huayllabambana) con extracto antioxidante de cáscara de papa “añil ” mediante secado por aspersión: morfología y caracterización. <https://www.researchgate.net/publication/352882614>

León, M., y Ochoa, J. (2014). *Estudio de Factibilidad sobre el Proceso de Exportación de Semillas de Chía producidas en el Ecuador y comercializadas al Mercado Europeo*. Tesis de pregrado. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil. Recuperado de: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/2413/1/T-UCSG-PRE-ECO-GES-122.pdf>

López, O., y Gómez, M. (2018). Preparación de microesferas mediante secado por aspersión. *Revista Cubana de Farmacia*, 42(3), 1–8. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S003475152008000300010&lng=es&nrm=iso&tlng=es

López, O., Vicente, R., Rodríguez, E., Gonzalez, V., Nogueira, A., y González, M. (2015). Influence of the Microencapsulation Process in Fatty Acids of *Salvia Hispanica* Oil. *Alimentos, Ciencia e Investigación*, 23(1), 60–64. Recuperado de: [https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/14241/1/López et al. %282015%29_ACI-23%281%2960-64.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/14241/1/López%20et%20al.%202015%29_ACI-23%281%2960-64.pdf)

López, O. D., Nuñez, Y., y Mayo, O. (2011). *Aumento de la biodisponibilidad de lípidos mediante microencapsulación*. Editorial Académica Española.

Lozano, C., Córdoba, D., y Córdoba, M. (2012). *Manual de tecnología farmacéutica* (1st ed.). Barcelona: Elsevier España, S.L.

Monroy, A., Cano, C., Alamilla, A., y Hernández, H. (2014). Coupled Taguchi-rsm optimization of the conditions to emulsify α -tocopherol in an arabic gum-maltodextrin matrix by Microfluidization. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 13(3), 679–688. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382014000300003&lng=es&nrm=iso&tlng=

Negrete, F. (2016). *Elaboración y estandarización de microencapsulados de aceites esenciales de cúrcuma (*Curcuma longa*) y jengibre (*Zingiber officinale*) como*

aditivos nutricionales para piscicultura. Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, Quito. Recuperado de: [http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf%0Afile:///C:/Users/Usuario/Desktop/Camila/papers 1/31.pdf](http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf%0Afile:///C:/Users/Usuario/Desktop/Camila/papers%201/31.pdf)

Nguyen, T., Le, A., Dang, N., Nguyen, C., Nguyen, N., Tran, T., y Pham, D. (2021). Microencapsulation of Essential Oils by Spray-Drying and Influencing Factors. *Journal of Food Quality*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5525879>

Núñez, D. (2022). *Plukenetia volubilis L.: Usos tradicionales, metabolitos secundarios y efectos farmacológicos*. Tesis de pregrado. Universidad Técnica de Ambato, Ambato.

Parra, R. A. (2010). Revisión: Microencapsulación de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 63(2), 5669–5684. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472010000200020&lng=en&nrm=isoy&lng=es

Partanen, R., Raula, J., Seppänen, R., Buchert, J., Kauppinen, E., y Forsell, P. (2008). Effect of relative humidity on oxidation of flaxseed oil in spray dried whey protein emulsions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(14), 5717–5722. <https://doi.org/10.1021/jf8005849>

Pastuña, A. (2016). *Microencapsulación de aceite de sacha inchi (Plukenetia volubilis L.) mediante secado por aspersion*. Tesis de pregrado. Universidad Técnica de Ambato, Ambato.

Pastuña, A., López, O., Debut, A., Vaca, A., Rodríguez-Leyes, E., Vicente, R., y Tapia, F. (2016). Microencapsulación de aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis L.*) mediante secado por aspersion. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 45(3), 422–437. <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v45n3.62029>

Pattnaik, M., y Mishra, H. N. (2021). Amelioration of the stability of polyunsaturated fatty acids and bioactive enriched vegetable oil: blending, encapsulation, and its application. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 0(0), 1–23. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1899127>

- Rodas, M., y Andrade, M. (2013). *La producción para la exportación de sachá inchi en el colegio técnico agropecuario Pueblo Viejo en la provincia de Los Ríos*. Tesis de Pregrado. Universidad de Guayaquil, Guayaquil.
- Rovira, M., Grau, M., Castañer, O., Covas, M. I., y Schröder, H. (2013). Dietary supplement use and health-related behaviors in a mediterranean population. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 45(5), 386–391. <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2012.03.007>
- Saavedra, Z., Leyva, C., Araujo, S., Toxqui, A., y Borrás, A. (2015). Technological application of maltodextrins according to the degree of polymerization. *Molecules*, 20(12), 21067–21081. <https://doi.org/10.3390/molecules201219746>
- Sanchez, Z., y Gutiérrez, L. (2017). Effects of the Emulsion Composition on the Physical Properties and Oxidative Stability of Sachá Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Oil Microcapsules Produced by Spray Drying. *Food and Bioprocess Technology*, 10(7), 1354–1366. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1906-3>
- Santos, S. (2018). *Estudio de la estabilidad del aceite de Sachá Inchi (Plukenetia volubilis L.) a diferentes condiciones de inhibición oxidativa*. Tesis de pregrado. Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
- Shahidi, F., y Han, X. (1993). Encapsulation of Food Ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 33(6), 501–547. <https://doi.org/10.1080/10408399309527645>
- Shamaei, S., Seiedlou, S. S., Aghbashlo, M., Tsotsas, E., y Kharaghani, A. (2017). Microencapsulation of walnut oil by spray drying: Effects of wall material and drying conditions on physicochemical properties of microcapsules. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 39, 101–112. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2016.11.011>
- Solís, M. (2018). Extracción y microencapsulación de aceite de linaza (*Linum Usitatissimum*) para la adición en una matriz alimenticia. Tesis de posgrado. Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
- Soottitantawat, A., Yoshii, H., Furuta, T., Ohgawara, M., Forssell, P., Partanen, R., y Linko, P. (2004). Effect of Water Activity on the Release Characteristics and

- Oxidative Stability of D-Limonene Encapsulated by Spray Drying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(5), 1269–1276. <https://doi.org/10.1021/jf035226a>
- Sotelo, M., González, R., y Bello, L. (2018). Propiedades emulsionantes de una maltodextrina modificada con anhídrido octenil succínico. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos.*, Vol. 3, pp. 461–466.
- Teijón, M., Garrido, A., Blanco, M., Olmo, R., y Teijón, C. (2009). *Bioquímica estructural. Conceptos y Tests* (2nd ed.). Madrid: Editorial Tébar, S.L.
- Tonon, R., Grosso, C., y Hubinger, M. (2011). Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying. *Food Research International*, 44(1), 282–289. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.018>
- Tonon, R., Pedro, R., Grosso, C., Hubinger, M., y Grosso, C. (2012). Drying Technology: An International Journal Microencapsulation of Flaxseed Oil by Spray Drying: Effect of Oil Load and Type of Wall Material. *Drying Technology*, 1491–1501. <https://doi.org/10.1080/07373937.2012.696227>
- Umaña, M., Wawrzyniak, P., Rosselló, C., Llavata, B., y Simal, S. (2021). Evaluation of the addition of artichoke by-products to O/W emulsions for oil microencapsulation by spray drying. *Lwt*, 151. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112146>
- Valenzuela B., A., y Nieto K., S. (2003). Ácidos grasos omega-6 y omega-3 en la nutrición perinatal: su importancia en el desarrollo del sistema nervioso y visual. *Revista Chilena de Pediatría*, 74(2), 149–157. <https://doi.org/10.4067/S0370-41062003000200002>
- VELP Scientifica. (2019). *OXITEST Reactor de estabilidad de oxidación. Estudio de estabilidad según método oficial*. Recuperado de: https://www.rafer.es/sites/default/files/velp_oxitest.pdf
- VELP Scientifica. (05 de junio del 2022). Método Oficial Internacional Oxitest – AOCS Cd 12c-16. Recuperado de: <https://www.velp.com/en-ww/oxitest-international-official-method-aocs-cd-12c-16.aspx>

- Wang, M., Wang, M., Huyan, Z., Li, Q., Hu, K., Li, J., y Yu, X. (2022). Investigation of the effects of lights, temperatures, and packaging materials on the virgin rapeseed oil flavors during storage. *LWT*, *157*, 113089. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2022.113089>
- Xie, K., Zhou, D., Liu, Z., Li, D., Tan, F., Dong, F., y Zhu, B. (2019). Effects of natural phenolics on shelf life and lipid stability of freeze-dried scallop adductor muscle. *Food Chemistry*, *295*, 423–431. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.133>
- Xingú, A., González, A., de La Cruz, E., Sangerman, D., Rosas, G., y Arriaga, R. (2017). Chía (*Salvia hispanica* L.) current situation and future trends. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *8*, 1619–1631. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263153520010.pdf>
- Xu, D., Wei, L., Guangyue, R., Wenchao, L., y Yunhong, L. (2015). Comparative study on the effects and efficiencies of three sublimation drying methods for mushrooms. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, *8*(1), 91–97. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20150801.012>

ANEXOS

Anexo 1. Resultados obtenidos en el reactor Oxitest

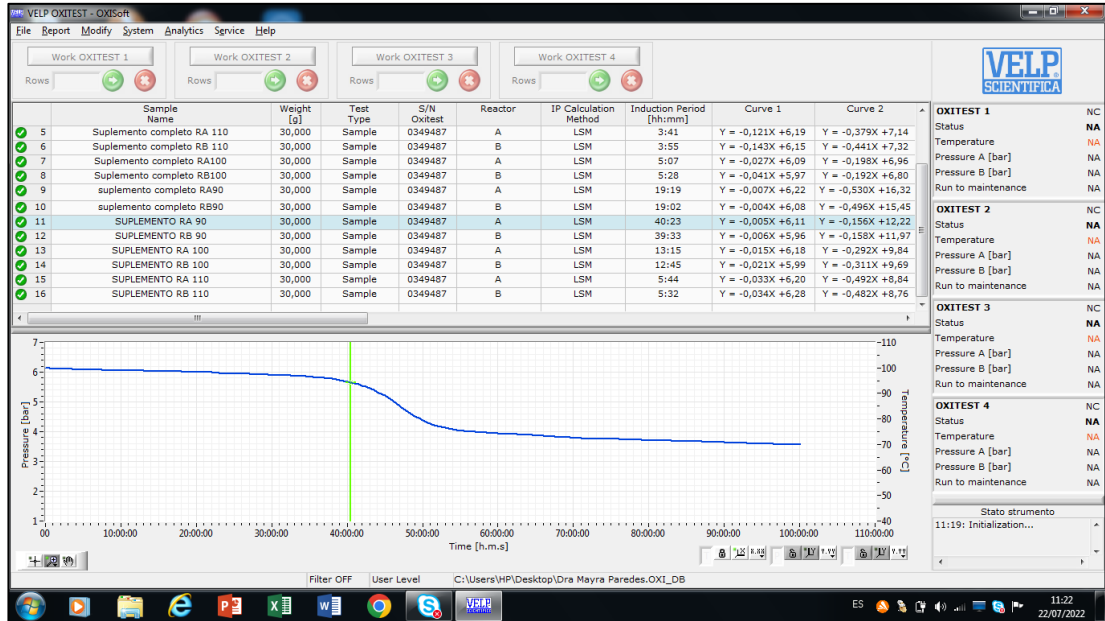


Figura 16. IP y curva de oxidación del suplemento + MC a 90 °C

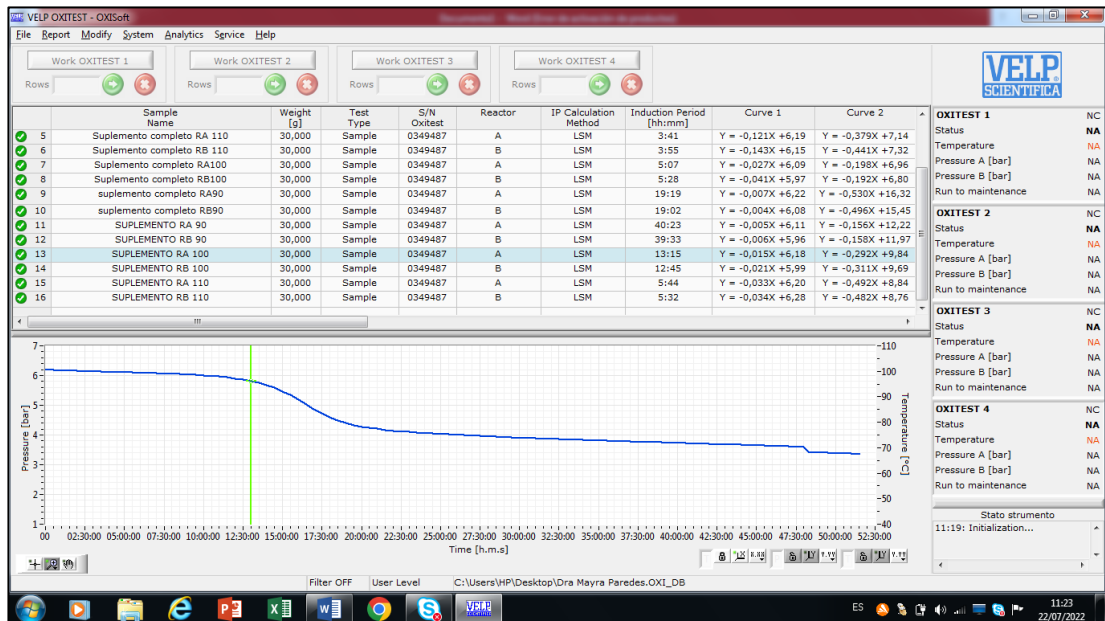


Figura 17. IP y curva de oxidación del suplemento + MC a 100 °C

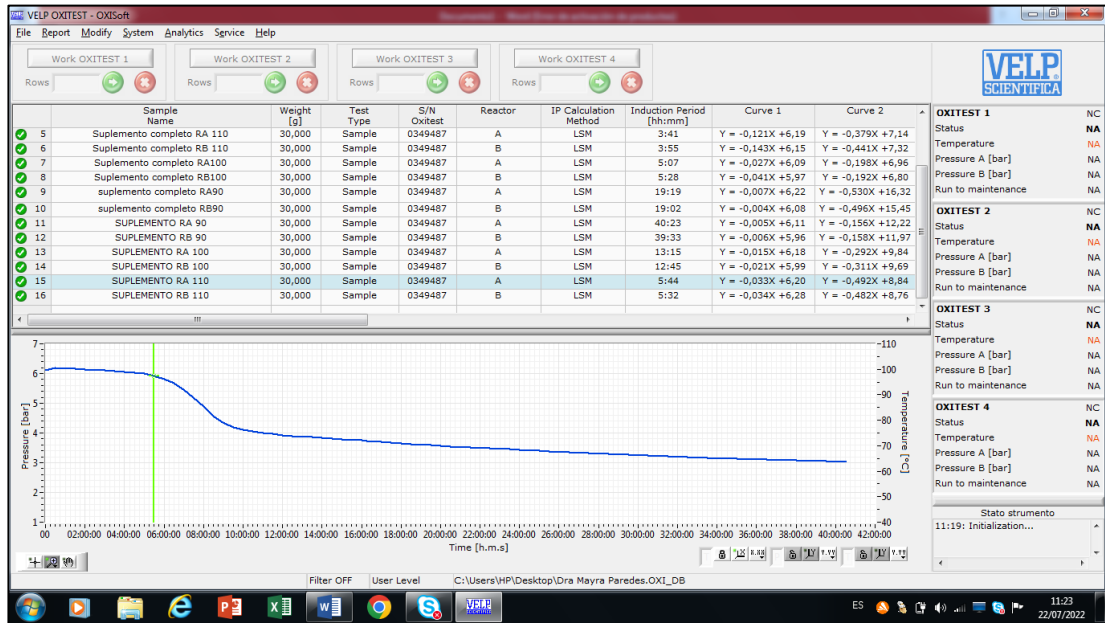


Figura 18. IP y curva de oxidación del suplemento + MC a 110 °C

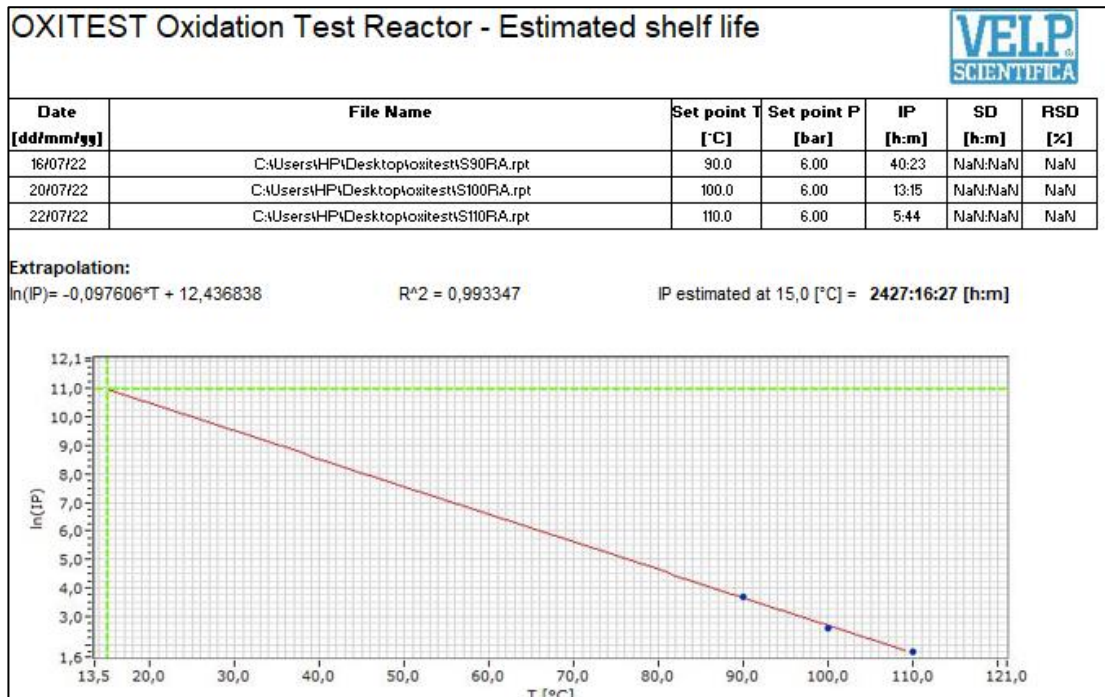


Figura 19. Extrapolación y tiempo de vida útil del Suplemento a 15 °C

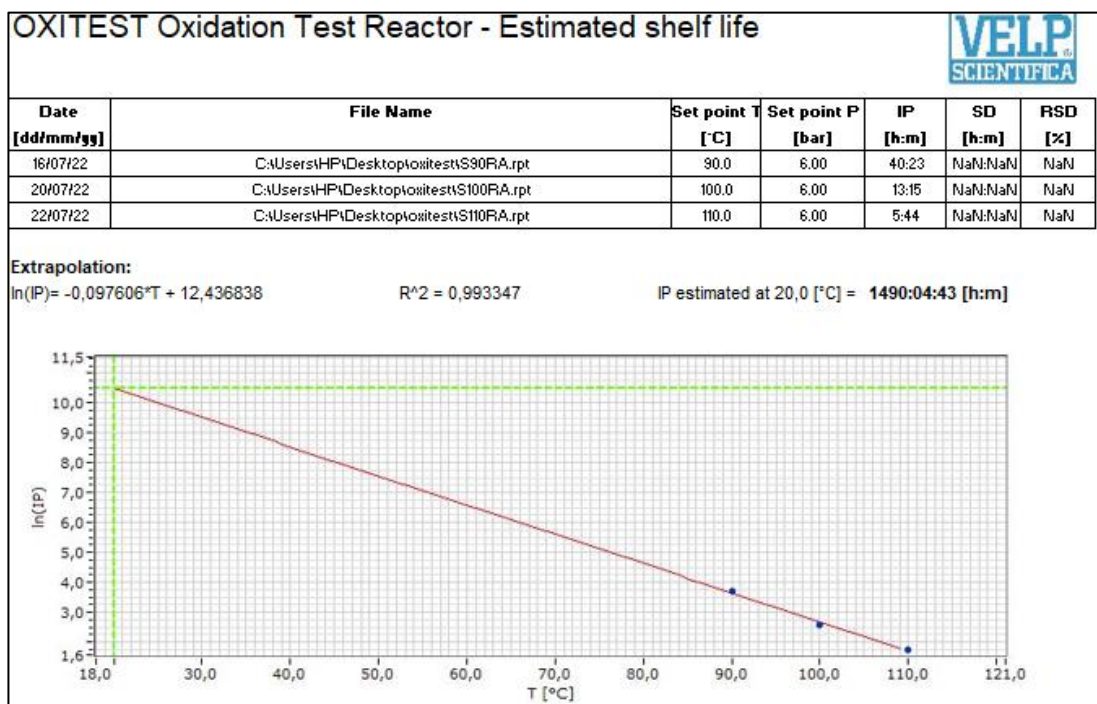


Figura 20. Extrapolación y tiempo de vida útil del Suplemento a 20 °C

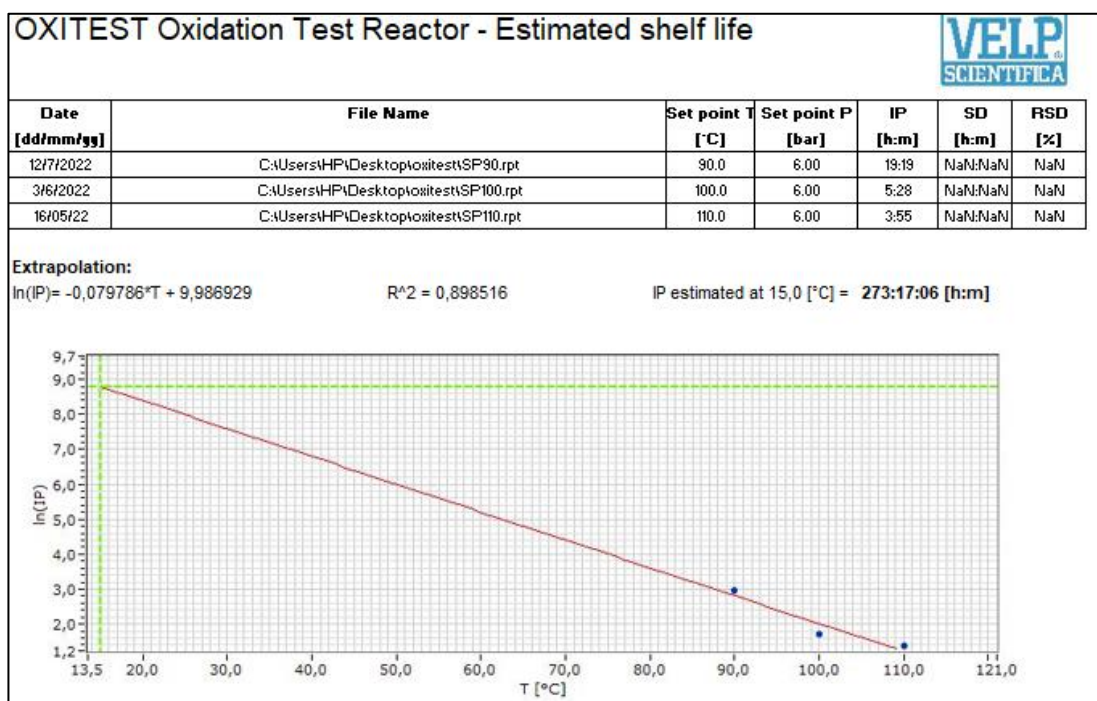


Figura 21. Extrapolación y tiempo de vida útil del Suplemento + MC a 15 °C

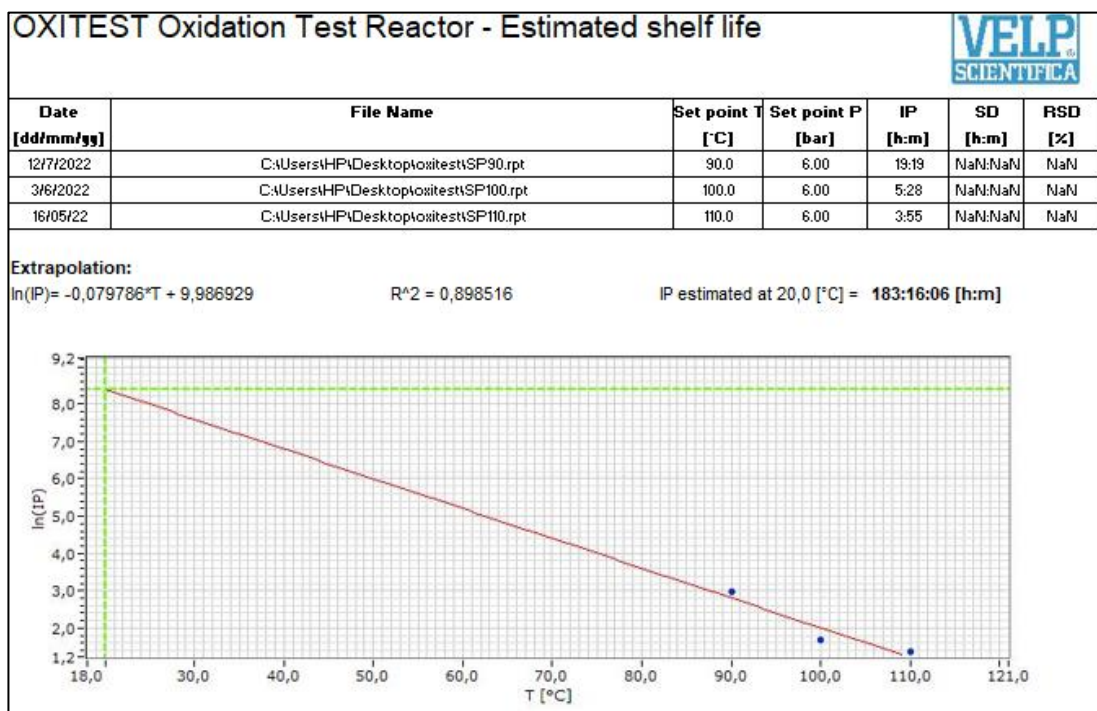


Figura 22. Extrapolación y tiempo de vida útil del Suplemento + MC a 20 °C

Anexo 2. Resultados del análisis estadístico

Tabla ANOVA					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	13.2906	3	4.4302	2483.64	0.0000
Intra grupos	0.007135	4	0.00178375		
Total (Corr.)	13.2977	7			

El StatAdvisor
 La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 2483.64, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables con un nivel del 5% de significación. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Figura 23. Análisis de varianza de los tiempos de vida útil

Pruebas de Múltiple Rangos			
Método: 95.0 porcentaje LSD			
	Casos	Media	Grupos Homogéneos
SPMC20	2	0.2568	X
SPMC15	2	0.3794	X
SP20	2	2.0691	X
SP15	2	3.37665	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
SP15 - SPMC15	*	2.99725	0.117262
SP15 - SP20	*	1.30755	0.117262
SP15 - SPMC20	*	3.11985	0.117262
SPMC15 - SP20	*	-1.6897	0.117262
SPMC15 - SPMC20	*	0.1226	0.117262
SP20 - SPMC20	*	1.8123	0.117262

* indica una diferencia significativa.

El StatAdvisor
 Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 6 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 4 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Figura 24. Prueba de rangos múltiples

Anexo 3. Fotografías del proceso de microencapsulación





	
<p>a. Preparación de la emulsión</p>	<p>b. Equipo <i>spray dryer</i></p>
	
<p>c. Microencapsulación</p>	<p>d. Recolección de las MC</p>

Figura 25. Proceso de microencapsulación

Anexo 4. Fotografías del proceso la extracción de aceite libre

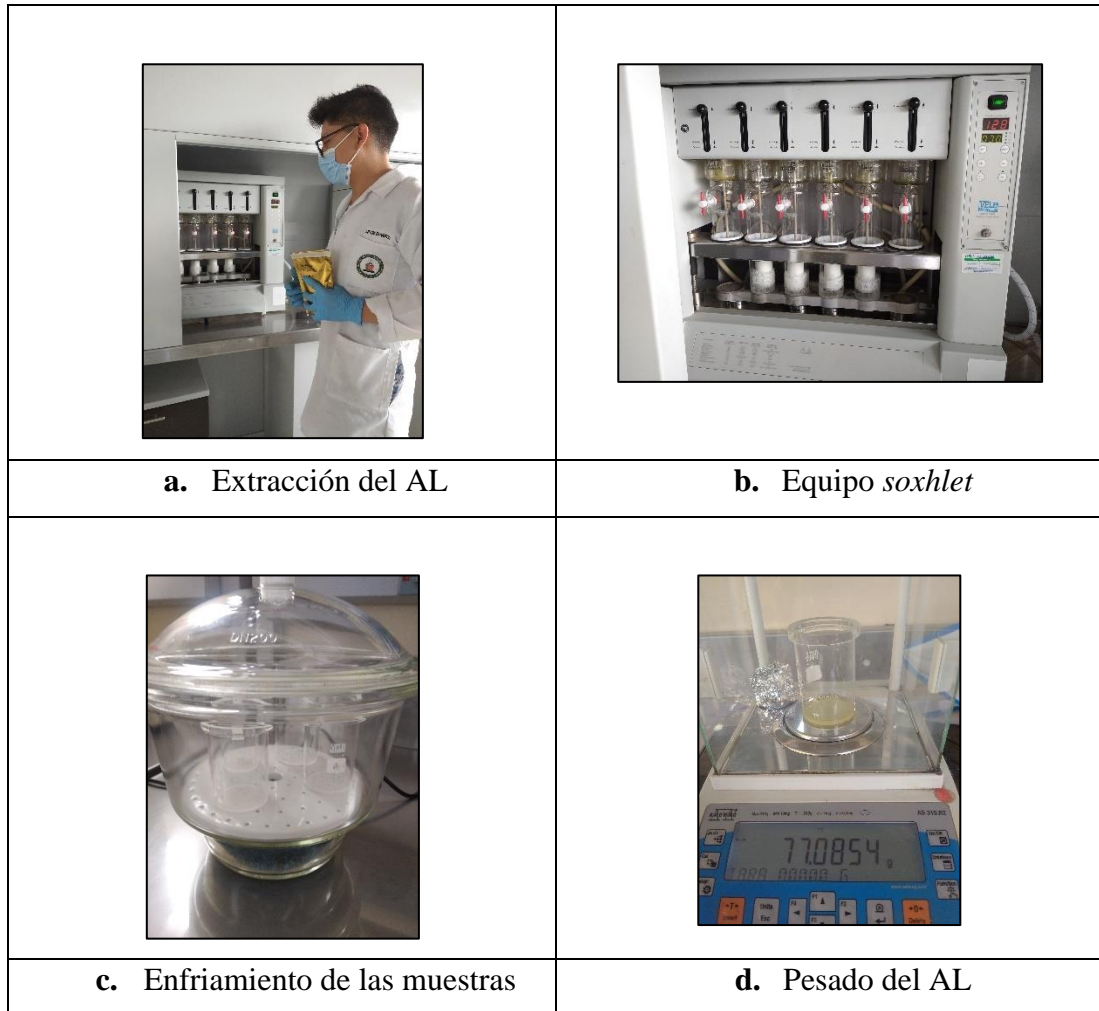


Figura 26. Extracción del Aceite libre

Anexo 5. Fotografías del análisis de morfología de las MC




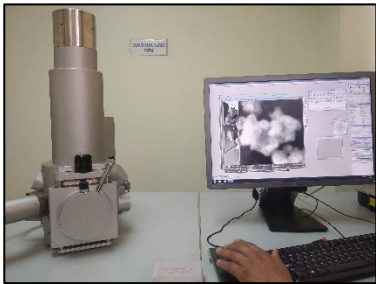
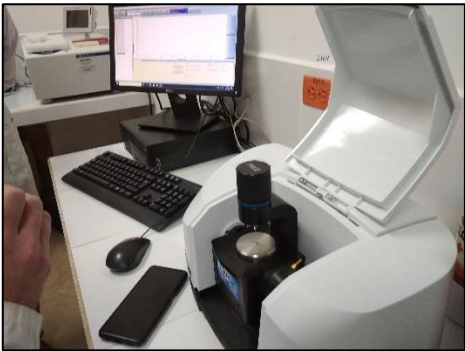
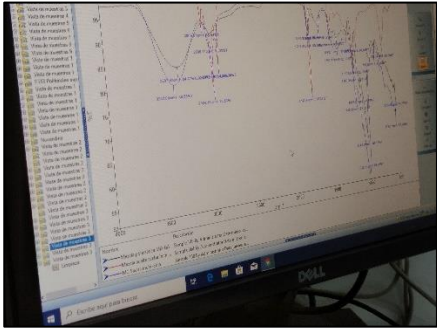
CARACTERIZACIÓN SEM	
	
a. Metalizado de la muestra	b. Microscopio SEM
	
c. Visualización de las MC	d. Análisis de las microfotografías
ANÁLISIS DE ESPECTROSCOPIA INFRARROJA	
	
a. Colocación de muestras en el espectrómetro	b. Bandas resultantes del análisis

Figura 27. Caracterización morfológica de las MC

Anexo 6. Fotografías del análisis de estabilidad oxidativa y tiempo de vida útil




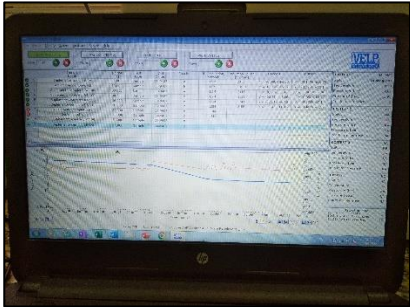

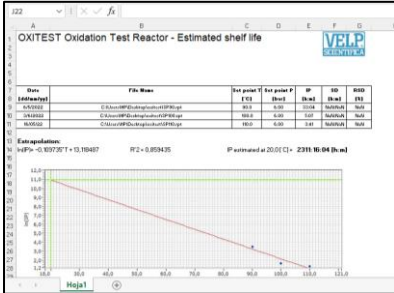
	
<p>a. Preparación del suplemento</p>	<p>b. Reactor Oxitest</p>
	
<p>c. Colocación de las muestras en el Oxitest</p>	<p>d. IP y curva de oxidación</p>
	
<p>e. Muestras después del análisis</p>	<p>f. Extrapolación y cálculo de tiempo de vida útil</p>

Figura 28. Análisis de estabilidad oxidativa y tiempo de vida útil