



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



Microencapsulación del aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en combinación con el aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus* L.), limón (*Citrus limonum*) y albahaca (*Ocimum basilicum* L.) mediante secado por aspersión.

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

Autor: Abraham Rodolfo Sánchez Palacios.

Tutor: PhD. Orestes Darío López Hernández

Ambato-Ecuador

Septiembre-2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

PhD. Orestes Darío López Hernández

CERTIFICA:

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

Ambato, 27 de Enero de 2023

Orestes Darío López Hernández
C.I. 1754784864
TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

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



Abraham Rodolfo Sánchez Palacios
C.I. 1804658183
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

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



Abraham Rodolfo Sánchez Palacios
C.I. 1804658183
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

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

Para constancia firman:

Presidente del tribunal

Mg. Daniel Alfonso Cabrera Valle

C.I. 1802561595

Dr. Santiago Esmiro Cadena Carrera

C.I. 1715602593

Ambato, 22 Agosto de 2023

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios, por darme las fuerzas y la inteligencia de poder llegar a donde estoy, a mi padre Abraham Sánchez, quien me enseñó a ser un buen ser humano y siempre confió en que yo podría lograrlo y lo seguiré logrando.

A mis abuelitos Manuel Sánchez y Gloria Piñuela, por ser un ejemplo de constancia, fuerza y sobre todo de que siempre se puede conseguir lo que se propone ya que con sus consejos y sabiduría esto no podría ser posible.

Dedico esto también a mis amigos, y personas cercanas que han aportado mucho a mi crecimiento personal para lograr afrontar muchos momentos difíciles que la vida nos ha puesto.

Se lo dedico a una persona muy especial que fue un pilar importante para mí durante mucho tiempo, quien me enseñó a crecer como persona y siempre encontrar la manera de salir adelante.

Abraham Sánchez

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer principalmente a mi familia, por inculcarme el camino del bien siempre y brindarme cariño y apoyo, aunque yo no siempre pude hacer lo mismo por ellos, pero ellos siempre me dieron las oportunidades y posibilidades que me permitieron ser la persona que soy ahora.

Quiero expresar un gran agradecimiento a los docentes de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, principalmente a la Mg. Paola Proaño, la Ing. Patricia Avendaño, la PhD Nair Dugarte, el Ing. Yoel Hernández, el Doc. Mario García, el Mg. Daniel Cabrera, la Ing. Isabel Pasmíño, que gracias a su apoyo incondicional y enseñanzas aprendí mucho y logré estar aquí ahora, pero principalmente al PhD. Orestes López, mi tutor, quien con su paciencia, sabiduría y amor por la docencia e investigación confió en mí, dedicó su tiempo en esto y fue un pilar importante para el desarrollo de este proyecto.

Agradezco con igual cariño a mis amigos, Leonardo Aldaz, Luis Jimenez, David Núñez, Katherine Jurado, Dayana Anchatipan, Lisette Ramos, Kerly Rodríguez, quienes siempre fuimos un equipo, y aunque nunca fue fácil este trayecto para ninguno de nosotros, siempre estuvimos el uno para el otro y jamás nos separamos en este trayecto hasta el final, y quisiera decirles amigos **LO LOGRÉ AL IGUAL QUE USTEDES.**

Finalmente me gustaría extender mi agradecimiento a la Universidad Técnica de Ambato, por haberme permitido ser miembro de la comunidad universitaria en la carrera de Ingeniería Bioquímica, y que siempre los que pasamos seremos unos excelentes profesionales y buenas personas como los principios inculcados en nuestro tiempo allí

Abraham Sánchez

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
RESUMEN EJECUTIVO	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.2. Fundamentación teórica.....	3
1.2.1. Sacha Inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.)	3
1.2.2. Composición química del Sacha Inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.).....	4
1.3. Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i> L.)	5
1.3.1. Composición química del Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i> L.)	5
1.4. Limon (<i>Citrus limonum</i> .).....	6
1.4.1. Composición química del Limon (<i>Citrus limonum</i> .)	6
1.5. Albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.).....	6
1.5.1. Composición química de la Albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.)	7
1.6. Estrés oxidativo	7
1.6.1. Mecanismo antioxidante	8
1.6.2. Método DPPH para determinar la actividad antioxidante.	9
1.7. Factores que influyen en estabilidad de los aceites	9
1.7.1. Temperatura	9

1.7.2. Luz	9
1.7.3. Oxígeno.....	10
1.8. Microencapsulación.....	10
1.8.1. Microcápsulas y microesferas	10
1.8.2. Importancia de la microencapsulación.....	11
1.6 Objetivos.....	11
1.6.1 Objetivo general	11
1.6.2 Objetivos específicos	11
CAPÍTULO II	12
METODOLOGÍA	12
2.1. Materiales	12
2.1.1. Material de laboratorio.....	12
2.1.2. Reactivos	12
2.1.3. Equipos e insumos.....	12
2.1.4. Recursos Tecnológicos.....	13
2.2. Métodos	13
2.2.1. Microencapsulación del concentrado.....	13
2.2.2. Análisis por espectroscopía infrarroja FT-IR.....	13
2.2.3. Análisis del índice de compresibilidad y fluidez de los microencapsulados.....	14
2.2.4. Análisis de la actividad antioxidante mediante el método DPPH.....	16
CAPÍTULO III.....	18
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
3.1. Espectroscopia infrarroja de la transformada de Fourier del aceite de sacha inchi en combinación con los aceites esenciales de eucalipto, limón y albahaca microencapsulados.	18

3.2. Evaluación de la fluidez y compresibilidad de los microencapsulados obtenidos a través de los índices de Carr y de Hausner.	29
3.2.1. Evaluación del índice de Carr.....	30
3.2.3. Evaluación del índice de Hausner.....	31
3.3. Capacidad antioxidante mediante el método de DPPH.....	33
CAPÍTULO IV.....	36
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	36
4.1. Conclusiones.....	36
4.2. Recomendaciones.....	37
MATERIALES DE REFERENCIA	38
BIBLIOGRAFÍA.....	38
ANEXOS.....	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estructura molecular de los ácidos grasos esenciales	4
Tabla 2 Análisis del espectro FTIR-ATR para el análisis de lípidos.....	
Tabla 3 Índices de Hausner y Carr para el microencapsulado del aceite de sachá inchi con el aceite esencial de limón.....	50
Tabla 4 Índices de Hausner y Carr para el microencapsulado del aceite de sachá inchi con el aceite esencial de albahaca	51
Tabla 5 Índices de Hausner y Carr para el microencapsulado del aceite de sachá inchi con el aceite esencial de limón.....	52
Tabla 6 Resultados obtenidos para la prueba DPPH de los microencapsulados con un factor de disolución 1/200.....	54
Tabla 7 Resultados obtenidos para la prueba DPPH de los microencapsulados con un factor de disolución 1/250.....	55
Tabla 8 Resultados obtenidos para la prueba DPPH de los microencapsulados con un factor de disolución 1/300.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura molecular del 1,8-cineol.....	5
Figura 2 Estructura molecular del D-Limoneno	6
Figura 3 Estructura molecular del estragol	7
Figura 5 Espectro FTIR del aceite esencial de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i> L.) .	
Figura 6 Espectro FTIR del aceite esencial de eucalipto en combinación con el aceite fijo de sachá inchi.....	
Figura 7 Espectro FTIR superpuestos de aceite fijo de sachá inchi, aceite esencial de eucalipto, mezcla polimérica y microensapsulados.	
Figura 8 Espectro FTIR del aceite esencial de limón (<i>Citrus limonum</i> .).....	
Figura 9 Espectro FTIR del aceite esencial de limón en combinación con el aceite fijo de sachá inchi	
Figura 10 Espectro FTIR superpuestos de aceite fijo de sachá inchi, aceite esencial de limón, mezcla polimérica y microensapsulados	
Figura 11 Espectro FTIR del aceite esencial de albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.)...	
Figura 12 Espectro FTIR del aceite esencial de albahaca en combinación con el aceite fijo de sachá inchi.....	
Figura 13 Espectro FTIR superpuestos de aceite fijo de sachá inchi, aceite esencial de albahaca, mezcla polimérica y microensapsulados	
Figura 14 Diagrama de cajas y bigotes comparación de los índices de Carr obtenidos de los microencapsulados.....	
Figura 15 Diagrama de cajas y bigotes comparación de los índices de Hausner obtenidos de los microencapsulados	
Figura 16 Diagrama de cajas y bigotes, comparación de la actividad antioxidante de los microencapsulados obtenidos	
Figura 17 Certificado de los Análisis de perfil lipídico para el aceite fijo de sachá inchi	47
Figura 18 Certificado de la entrega de los aceites esenciales de eucalipto, limon y albacha así como el aceite de sachá inchi por parte de la Empresa de D'SANPI.	49

Figura 17 Curva de calibración estándar del reactivo TROLOX.....	53
--	----

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Mecanismo antioxidante	8
Ecuación 2 Calculo del índice de Hausner.....	14
Ecuación 3 Calculo del índice de Carr	15
Ecuación 4 Determinación de la actividad antioxidante	16
Ecuación 5 Porcentaje de inhibición del DPPH.....	16

RESUMEN EJECUTIVO

La degradación de ácidos grasos poliinsaturados es un problema común en aceites vegetales, se produce normalmente al exponerlos a distintas condiciones ambientales; comúnmente se emplean antioxidantes naturales como aceites esenciales y métodos industriales como la microencapsulación para garantizar la reducción de dichos procesos degenerativos y prolongar su vida útil.

Esta investigación tiene por objetivo microencapsular el aceite de sachá inchi en combinación con los aceites esenciales de eucalipto limón y albahaca mediante secado por aspersión para lo cual se empleó una mezcla de maltodextrina-goma arábiga-sachá inchi en proporción 1:1:1 junto a los aceites esenciales en concentraciones de 0.5 , 0.4 y 0.5 por ciento respectivamente con temperatura de entrada de 150 grados celsius. Aplicando espectrofotometría FTIR-ATR (Reflectancia Total Atenuada) se evidenció la eficiencia de la microcápsulación. Se evaluó la fluidez y compresibilidad mediante los índices Hausner y Carr, cada mezcla demostró tener índices relativamente malos en comparación a su límite, mayor de 38 para Carr y mayor a 1,6 para Hausner. La capacidad antioxidante se evaluó mediante el ensayo DPPH con disoluciones de 1 sobre 200, 250 y 300 para cada mezcla de microencapsulados, diluyéndose 0,1 g de cada muestra en 20, 25 y 30 ml de agua destilada respectivamente.

Se concluyó que la mezcla de aceite de los aceites de sachá inchi junto al limón es superior en comparación a las tres antes mencionadas presentando índices de Carr y Hausner de 42,23 y 1,42 respectivamente y una capacidad antioxidante de un valor de 326,74 micromol por litro del compuesto Trolox.

Palabras clave: aceites vegetales, aceites esenciales, albahaca, eucalipto, limón, sachá inchi, microencapsulación.

ABSTRACT

Degradation of polyunsaturated fatty acids is a common problem in vegetable oils, usually caused by exposure to different environmental conditions; natural antioxidants such as essential oils and industrial methods such as microencapsulation are commonly used to ensure the reduction of these degenerative processes and prolong their shelf life.

The objective of this research is to microencapsulate sachu inchi oil in combination with the essential oils of lemon eucalyptus and basil by spray drying, using a mixture of maltodextrin, arabic gum and sachu inchi in a 1:1:1 ratio together with the essential oils in concentrations of 0.5, 0.4 and 0.5 percent respectively, with an inlet temperature of 150 degrees Celsius. Applying FTIR-ATR (Attenuated Total Reflectance) spectrophotometry, the efficiency of microencapsulation was evidenced. Fluidity and compressibility were evaluated by means of the Hausner and Carr indices, each mixture showed relatively poor indices compared to its limit, greater than 38 for Carr and greater than 1.6 for Hausner. The antioxidant capacity was evaluated by the DPPH test with dilutions of 1 over 200, 250 and 300 for each mixture of microencapsulates, diluting 0.1 g of each sample in 20, 25 and 30 ml of distilled water, respectively.

It was concluded that the oil mixture of sachu inchi oils together with lemon is superior in comparison to the three previously mentioned, presenting Carr and Hausner indexes of 42.23 and 1.42 respectively and an antioxidant capacity of 326.74 micromol per liter of the Trolox compound.

Keywords: vegetable oils, essential oils, basil, eucalyptus, lemon, sachu ichi, microencapsulation.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

La encapsulación es una técnica la cual consiste en recubrir principios bioactivos en una pared polimérica cuyas propiedades pueden ser hidrofílicas y/o hidrofóbicas (Fuchs y otros, 2019). Esta técnica se hace conocida comercialmente durante los años 1930 y 1940 gracias a la empresa National Cash Register (NCR), la misma que logró diseñar un tinte con ayuda de gelatina como material encapsulante (Yáñez y otros, 2018).

En este sentido, una de las tecnologías que causa gran interés en la industria alimenticia es la microencapsulación de aceites que contienen ácidos grasos poliinsaturados con la metodología de secador por aspersión, la razón es simple, ya que con esto se consigue incrementar su vida útil y mantener sus propiedades por más tiempo evitando su desnaturalización. Previamente la misma tecnología ha sido empleada en la microencapsulación de aceite de pescado, el mismo que presenta un elevado contenido de omega-3 (27 %), gracias a esto el contenido total del aceite microencapsulado se mantuvo en un rango del 33-38 % con un tamaño de partícula que oscilaba entre los 10-100 μm . El microencapsulado obtenido fue analizado mediante cromatografía de gases, gracias a esto se confirmó que el aceite de pescado no varía con respecto a su homólogo sin microencapsular, esto deja en evidencia que la microencapsulación mediante secado por aspersión es un método óptimo para evitar la oxidación de ácidos grasos poliinsaturados (Hermida y otros, 2013).

En este sentido, los ácidos grasos poliinsaturados tienden a ser mucho más propensos a la degradación por reacciones de oxidación, es por eso que las investigaciones acerca la microencapsulación de aceites fijos mediante secado por aspersión se centran en evitar este tipo de reacciones, la tendencia que presenta la gente a regresar a lo natural hace que el aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L) se convierta en uno de los favoritos por sus propiedades. Su contenido presenta

un 50,8 % que pertenece a ácidos grasos Omega 3 (linolénico); cerca del 33,4 % a ácidos grasos Omega 6 (linoleico), y aproximadamente un 9 % a ácidos grasos Omega 9 (oleico) (Gutiérrez y otros, 2011). La microencapsulación mediante secado por aspersión es una técnica que permite enmascarar diversas sustancias bioactivas a nivel micro por una pared polimérica, esto permite conservar las características originales de las sustancias bioactivas por más tiempo (Avendaño & Acevedo 2015).

Se establece que, a pesar de existir estudios previos sobre la microencapsulación de aceite de sacha inchi, la presente investigación pretende generar nuevos reportes bibliográficos, que corroboren que esta tecnología previene la degradación de ácidos grasos poliinsaturados aumentando su tiempo de vida útil y ahora en combinación de aceites esenciales con una gran capacidad antioxidante como es el eucalipto, limón y albahaca (Pastuña y otros, 2016). Los antioxidantes son considerados como sustancias las cuales inhiben o retardan la oxidación de aquellos sustratos que presentan sensibilidad a la acción de los oxidantes. En esencia se podría decir que son sustancias “suicidas” las cuales modifican su composición logrando evitar el daño en otras sustancias (Zamora, 2017).

De otro lado, en los sistemas biológicos, los antioxidantes son cualquier sustancia que se encuentra en menor concentración que las sustancias de un sustrato oxidable como es el caso del ADN, ácidos poliinsaturados y proteínas, las mismas que se ven afectadas directamente por los efectos de la oxidación, estas sustancias son capaces de retrasar de manera considerable la oxidación (García et al., 2013). El mecanismo de acción de estas sustancias es eliminar los radicales libres mediante reacciones con el fin de evitar la interacción del oxígeno reduciendo así el estrés oxidativo (Boveris, 2002).

Si bien en muchos alimentos se consiguen de manera fácil, su conservación no siempre es la adecuada, tienden a degradarse aceleradamente o requieren preparaciones poco prácticas para poder consumirlos, por ello es importante explorar otros métodos como la microencapsulación para mejorar su conservación y disponibilidad (Avendaño & Acevedo, 2015).

Por otra parte, la actividad antioxidante de los aceites esenciales tiene un gran efecto gracias a su composición química, la cual es en su mayoría terpenos, en el caso del aceite esencial del eucalipto cuyo componente principal es el 1,8-cineol es capaz de evitar la generación de especies reactivas al oxígeno, sin embargo, su rendimiento depende del método de extracción que se utilice, siendo el arrastre de vapor el más apropiado (Rodenak, 2017). La composición química de la albahaca de igual manera que la del eucalipto presenta una gran influencia en la actividad antioxidante en el aceite de sachá inchi; el eugenol es uno de los principales componentes en dicho aceite esencial el mismo que mejora la actividad antioxidante gracias a que atrapa los radicales libres producidos en la oxidación por medio del oxígeno en aceites poliinsaturados (Ramírez et al., 2013).

La microencapsulación de ácidos grasos poliinsaturados y terpenos en una matriz polimérica presenta diversos beneficios sobre estas sustancias, evita la oxidación y degradación a nivel molecular lo que permite conservar sus propiedades por más tiempo, enmascara olores y facilita su inclusión como ingrediente dentro de la industria alimenticia y farmacéutica (Rodríguez & Simón, 2008).

1.2. Fundamentación teórica

1.2.1. Sachá Inchi (*Plukenetia volubilis* L.)

El sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), es una planta tipo arbusto trepador que crece a una altitud de entre 100 a 1500 msnm también conocido como maní Inca, es una planta oleaginosa, de la familia *Euphorbiaceae*, nativa de la selva tropical de la región andina de Sudamérica y fue empleada por la civilización inca hace 3000 años. Hoy en día, se encuentra en las selvas montañosas de Colombia y Ecuador. (Alban G, Greffa J., López O., Gaibor J., Altuna J., Carrillo W., 2018).

Esta planta produce frutos en forma de cápsulas tetra lobulares, las cuales contienen cuatro semillas comestibles de un diámetro de alrededor de 2 cm de color marrón. Estas semillas son ricas en aceite (35-60 %) y proteínas (27 %), contienen sustancias termolábiles de sabor amargo. (Pullutasig A., López O., Debut A., Vaca A., 2016).

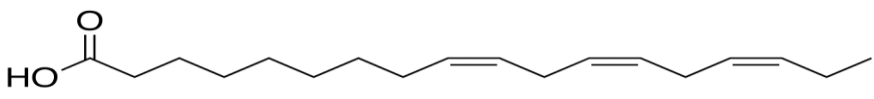
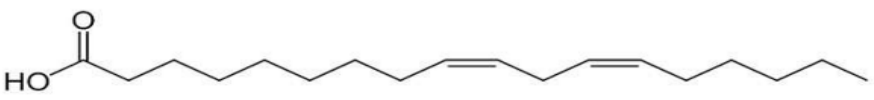
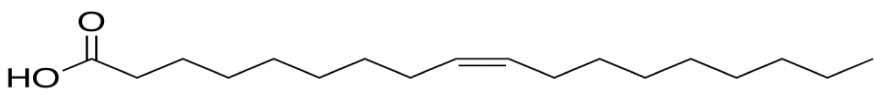
Las etnias nativas y otros grupos tribales de la región extraen el aceite de las semillas, que se utiliza para la para la preparación de diversas comidas. (Alban G, Greffa J., López O., Gaibor J., Altuna J., Carrillo W., 2018).

1.2.2. Composición química del Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.)

Las semillas de sacha inchi presentan un contenido de proteína del 33 %, y de lípidos en un 54 %, de este último, se presenta gran cantidad de ácidos grasos insaturados, alrededor del 93 % del total, del cual un 50,8 % pertenece a ácidos grasos omega 3 (ácido cis, cis-9,12,15-octadecatrienoico; α -linolénico), cerca del 33,4 % a ácidos grasos omega 6 (ácido cis,cis-9,12-octadecadienoico; α -linoleico), y aproximadamente un 9 % a ácidos grasos omega 9 (ácido cis-9-octadecenoico; α -oleico) como se muestra en la Tabla 1 y anexo 1; su contenido de ácidos grasos saturados es relativamente bajo, de alrededor del 6 % (Alban G, Greffa J., López O., Gaibor J., Altuna J., Carrillo W., 2018).

El aceite de sacha inchi presenta además un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs), contiene vitaminas liposolubles como la A y E, y antioxidantes (Gutiérrez; Rosadab, Lina; y Jiménez Álvaro, 2011).

Tabla 1 Estructura molecular de los ácidos grasos esenciales

	Ácido linolénico
	Ácido linoleico
	Ácido oleico

1.3. Eucalipto (*Eucalyptus globulus* L.)

El Eucalipto (*Eucalyptus globulus* L.), es un árbol perenne que ha logrado aclimatarse a cualquier medio, perteneciente a la familia *Myrtaceae*, nativo de Australia y de Tasmania. Actualmente ha sido distribuida a diferentes países del mundo como Argentina, Ecuador, Uruguay, Bolivia, entre otros, formando hoy en día uno de los cultivos introducidos más exitosos cumpliendo un importante papel económico ya que su madera es apreciada en la industria del papel y la maderera. Se caracteriza por su rápido crecimiento por lo que su cultivo permite forestar importantes áreas en poco tiempo (Azeez & Barzinjy, 2020).

Este árbol presenta glándulas translúcidas, aceites aromáticos, a menudo con corteza exfoliante además de hojas simples, enteras, coriáceas y glabras, sin estípulas, una flora generalmente solitaria, grandes, blancas, axilares y subsésiles. El fruto puede medir hasta 3 cm de diámetro con 3-6 lóculos, de valvas anchas y triangulares; es muy utilizado en la industria de la medicina por sus propiedades expectorantes, principalmente las hojas donde se encuentra la mayor cantidad de aceites esenciales (Rodenak, 2017).

1.3.1. Composición química del Eucalipto (*Eucalyptus globulus* L.)

El eucalipto es una planta que ha podido generar aceites esenciales en combinación con otros principios activos que generan un gran interés en la industria farmacéutica; este presenta un 82,27 % de 1,8-Cineol o Eucaliptol cuya estructura molecular se muestra en la Figura 1, el cual resulta de ser el principio activo mayoritario, seguido de un 3,70 % de Limoneno, 2,76 % de Guaiol, 1,3 % de Linalol, y en mínima cantidad Terpinen-4-ol (1,4 %), α -Terpineol (1,2 %), β -Mirceno (1,12 %), α -Terpineno (Azeez & Barzinjy, 2020).

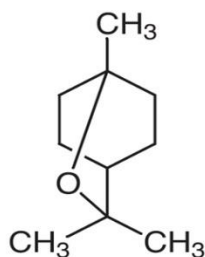


Figura 1 Estructura molecular del 1,8-cineol

1.4. Limon (*Citrus limonum.*)

El limón (*Citrus limonum.*), es un árbol de talla media o grande, el mismo que es ampliamente utilizado y apreciado en la industria alimenticia por su versatilidad al momento de desarrollar alimentos o sus propiedades medicinales, el árbol como tal presenta ramas con espinas fuertes, posee hojas de color verde pálido y flores de color rosa - violáceo. Sus frutos son alargados o más o menos redondeados de corteza ligeramente rugosa de donde se obtiene mayoritariamente su aceite esencial, debido a que éste no se encuentra libre a manera de gotas, sino que es absorbido en las partículas de pulpa, la misma que es de tono amarillo rica en zumo de sabor ácido. Presenta semillas (Razola y otros, 2021).

1.4.1. Composición química del Limon (*Citrus limonum.*)

El aceite esencial de limón según análisis previos presenta 23 compuestos que representan 98,22 % del total identificado, entre los compuestos mayoritarios se identificaron: D-limoneno (57,96 %) que a su vez es el principio activo del aceite esencial de limón siendo este un monoalqueno sustituido como se evidencia en la Figura 2 seguido del terpineno (10,07 %), terpinol (9,35 %), pineno (6 %) y terpinoleno (2,97 %) (Gavahian & Khaneghah, 2018).

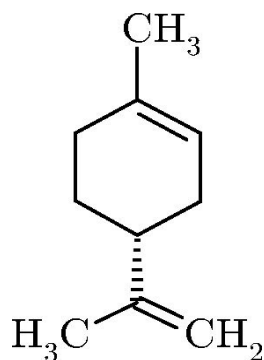


Figura 2 Estructura molecular del L-Limoneno

1.5. Albahaca (*Ocimum basilicum* L.)

La albahaca (*Ocimum basilicum* L.) es una planta herbácea que crece anualmente y puede alcanzar una altura de hasta de 50 cm de altura además de ser muy aromática. Su importancia en la economía radica en la parte alimenticia ya que ayuda

principalmente en la digestión e impidiendo la proliferación de microbios perjudiciales para la flora intestinal (Ramírez et al., 2013).

Esta planta posee un tallo anguloso y muy ramificado. Hojas opuestas, pecioladas, aovadas, puntiagudas, anchas, de un color verde intenso, con glándulas de aceite, dichos aceites son utilizados en la industria de cosméticos, alimentos y productos farmacéuticos lo cual le confiere un aporte superior en la industria general (Rivas y otros, 2015).

1.5.1. Composición química de la Albahaca (*Ocimum basilicum* L.)

Al aceite esencial de la albahaca se le atribuyen la mayor cantidad de sus propiedades, donde según análisis en previos trabajos de esta planta se han identificado 14 constituyentes, los cuales representan el 77,22 % del aceite. El isoestragol (58,33 %) siendo este el principal componente en el aceite esencial de albahaca y su grupo funcional principal es un eter como se puede evidenciar en la Figura 3 seguido del humuleno (5,71 %), eucaliptol (4,09 %), β -linalol (2,71 %), cis- β -ocimeno (2,00 %), alcanfor (1,63 %) y elemeno (0,78 %) fueron los mayores compuestos (Rivas K, et al. 2015).

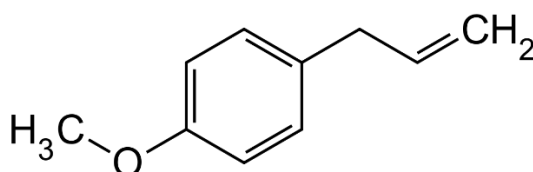


Figura 3 Estructura molecular del estragol

1.6. Estrés oxidativo

Es el equilibrio existente entre sustancias oxidantes y antioxidantes, sin embargo, dicho equilibrio es capaz de fracturarse cuando las sustancias oxidantes se encuentran en mayor concentración, como consecuencia se generan cambios en los organismos vivos (Camps & Ruffino, 2010).

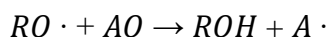
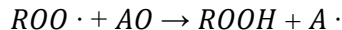
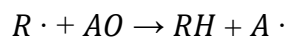
Se denomina sustancia oxidante aquella especie reactiva al oxígeno o radicales libres, esto se da ya que poseen un número impar de electrones en su última capa de energía, produciendo interacciones químicas con las moléculas celulares,

quitándoles uno o más electrones para completar su octeto y ocasionando que estas últimas se inestabilicen por perder su octeto provocando el llamado “estrés oxidativo” (Viada y otros, 2017).

Claros ejemplos de radicales libres son los aniones peróxidos, peróxido de hidrogeno, radical hidroxilo; por otro lado, existen antioxidantes como las antocianinas, catequinas, citoflavonoides, terpenos, vitamina C, etc. Estos son encontrados en su mayoría en fuentes vegetales como plantas medicinales, cítricos y vegetales con pigmentos (Coronado y otros, 2015).

1.6.1. Mecanismo antioxidante

Como se muestra en la Ecuación 1 el mecanismo antioxidante tiene como fundamento el consumo de antioxidantes (AO) generando radicales libres (A•) que son capaces de proteger moléculas lipídicas y sus respectivos radicales (R•, ROO• o RO•) (Flores y otros, 2017).



Ecuación 1 Mecanismo antioxidante

Al momento de la liberación o extracción de un radical libre del ácido graso, ocurre la formación de un segundo radical, esto ocurre en cadena generando una tercera molécula y continúan el ciclo con la producción de compuestos muy inestables (Zamora, 2017). En caso de los antioxidantes, su mecanismo de reacción para romper la cadena reactiva necesita donadores de átomos de hidrogeno (H+) y electrones (e-) o ambos (es decir, una transferencia de electrones que se encuentran acoplados a protones), con esto se consigue retrasar el inicio de la reacción química en la oxidación de lípidos (Flores y otros, 2017).

1.6.2 Método DPPH para determinar la actividad antioxidante.

El método DPPH por su abreviatura común para el compuesto químico orgánico 2,2-difenil-1-picrylhydrazyl, el mismo que es un polvo cristalino oscuro que está compuesto de moléculas estables en radicales libres (Poma y otros, 2015).

El DPPH se puede describir como un radical libre invariable gracias a la deslocalización que presenta en su electrón de reserva en la molécula de su grupo, lo que ocasiona que no se formen dímeros como es el caso de la mayoría de los radicales libres (García y otros, 2015).

El fundamento del método DPPH es medir la capacidad de captación de antioxidante hasta sí mismo (Aslan, 2018). El electrón impar del átomo de nitrógeno en la estructura química del DPPH es reducido al atraer un átomo de hidrogeno liberado de los antioxidantes (Guija y otros 2015).

1.7. Factores que influyen en estabilidad de los aceites

1.7.1. Temperatura

Al momento de la extracción de aceites H y aceites esenciales, así como en su periodo de almacenamiento la temperatura juega un factor fundamental, esto debido a que afecta directamente a la tasa de oxidación de dichos aceites. Esto hace de gran importancia controlar el tiempo de exposición a determinadas condiciones a la fuente vegetal para así no perder la actividad propia del compuesto de interés (Pinto, 2022).

1.7.2. Luz

La degradación lipídica ocurre comúnmente en aceites comestibles y aceites esenciales los mismos que contienen algunos pigmentos como el caso de clorofilas y otros componentes minoritarios como carotenoides, tocoferoles, tocotrienoles, fosfolípidos, esteroides y polifenoles; estos actúan como sensibilizadores que absorben la energía luminosa, al momento de su almacenamiento en presencia de luz y en combinación con el ataque directo del oxígeno actúan sobre los dobles enlaces de los ácidos grasos poliinsaturados, en consecuencia se producen hidroperóxidos alílico, sin la formación de radicales libres y sin ser necesariamente

una reacción en cadena. El problema radica principalmente en la posición y tipo del doble enlace, el mismo que puede pasar de la forma *cis* a *trans* durante la mencionada reacción (Pastuña & Min, 2006).

1.7.3. Oxígeno

Los ácidos grasos que provienen de aceites poseen un mayor contenido de dobles enlaces en su estructura, es decir que son más insaturados, y se oxidan con mayor velocidad en presencia del oxígeno que aquellos mucho menos insaturado (Isaza et al., 2013). A medida en que aumenta el grado de insaturación aumenta la velocidad de formación de compuestos de oxidación primaria al igual que su cantidad, esto ocurre principalmente por una reacción en la que al entrar en contacto con el oxígeno el doble enlace tiende a romperse como consecuencia, la molécula se escinde permitiendo la formación de aldehídos (Márquez & Holgado, 2018).

1.8. Microencapsulación

La micropartícula está conformada con una combinación de polímeros y uno o más compuestos activos, indiferentemente se trate de una microcápsula o una microesfera, los polímeros que generalmente se utilizan son la maltodextrina y goma arábiga, dichos compuestos toman el papel de protección para el compuesto en relación 1:1, además esto permite controlar las dimensiones de la partícula, concentración, porcentaje de humedad y gracias a esto la industria se permite realizar múltiples formulaciones (Pastuña y otros, 2016).

1.8.1. Microcápsulas y microesferas

El secado por aspersión se considera como uno de los principales y más eficientes métodos para microencapsular, este consiste básicamente en esparcir una mezcla de polímero y compuesto activo mediante un aspersor consiguiendo de esa forma microgotículas, posterior a eso una corriente de aire caliente es aplicada con el fin de evaporar la humedad y obtener micropartículas sólidas (Mondragón y otros, 2013).

Se denomina microcápsula de ser el caso que el compuesto se agrupa dentro de las paredes del polímero; toma el nombre de microesfera cuando el compuesto tiende a mezclarse con el polímero formando como consecuencia una estructura sólida y

compacta. Las estructuras mencionadas anteriormente dependen de la naturaleza del compuesto activo para formarse de una u otra manera, en el caso de formarse una emulsión como resultado se obtendrá una microcápsula, por otro lado, de conseguir una suspensión o solución como consecuencia se generará una microesfera, en el caso de los aceites poliinsaturados como el aceite de sacha inchi la tendencia siempre será a la formación de microcápsulas (López & Gómez, 2008).

1.8.2. Importancia de la microencapsulación

Permite la conservación de principios activos cuyas propiedades tienden a degradarse con facilidad, permitiendo conservarlos en forma sólida por un tiempo prolongado sin alterar dichos compuestos, además de su versatilidad en la aplicación de distintas formulaciones; se puede preservar aceites esenciales, aceites fijos, enmascarar propiedades organolépticas, evitar la oxidación gracias a la microencapsulación (Finch & Bodmeier, 2000).

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Microencapsular el aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en combinación con el aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus* L.), limón (*Citrus limonum*) y albahaca (*Ocimum basilicum* L.) mediante secado por aspersión.

1.6.2 Objetivos específicos

- Microencapsular las mezclas de aceite de sacha inchi con cada uno de aceites esenciales mediante secado por aspersión.
- Verificar la eficiencia de microencapsulación mediante espectroscopía infrarroja de la transformada de Fourier.
- Evaluar la fluidez de los microencapsulados obtenidos a través de los índices de Carr y de Hausner.
- Evaluar la capacidad antioxidante de los microencapsulados mediante el método DPPH.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales

2.1.1. Material de laboratorio

- Frascos color ámbar
- Micropipetas
- Magnetos Elicrom
- Balones de aforo (vidrio **PYREX-GLASSCO**)
- Matraces Erlenmeyer (vidrio **PYREX-GLASSCO**)
- Pipetas (vidrio **PYREX-GLASSCO**)
- Probetas graduadas (vidrio **PYREX-GLASSCO**)

2.1.2. Reactivos

- Aceite de sachá inchi (Agroindustria SANPI, Ecuador)
- Aceite esencial de eucalipto (Agroindustria SANPI, Ecuador)
- Aceite esencial de limón (Agroindustria SANPI, Ecuador)
- Aceite esencial de albahaca (Agroindustria SANPI, Ecuador)
- Goma arábiga (Roig Farma, España)
- Maltodextrina (Roig Farma, España)
- Etanol 96 % (Ovalcohol, Ecuador)
- DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo)
- Trolox
- Metanol 99 %

2.1.3. Equipos e insumos

- Balanza analítica Ohaus Adventurer-Pro, Balanza de humedad MRC mb500,
- Secador por aspersion Büchi *mini spray-dryer* B-290
- Espectrofotómetro infrarrojo de la transformada de Fourier Perkin-Elmer Spectrum two.

2.1.4. Recursos Tecnológicos

- Software estadístico Statgraphics centurión
- Software de espectrofotometría Skanlt RE5.0

2.2. Métodos

2.2.1. Microencapsulación del concentrado

El proceso de microencapsulación inició con la preparación de la mezcla de goma arábica y maltodextrina donde se utilizaron 60g de cada polímero (concentración 1:1), seguido a esto se procedió a realizar la mezcla de 60g gramos de aceite de Sacha Inchi con los aceites esenciales de eucalipto, limón y albahaca en concentraciones de 0,5 %, 0,4 % y 0,5 % respectivamente (Viada y otros, 2017).

Posteriormente se utilizó un homogeneizador de alta velocidad en el cual se encontraba en agitación 342g de agua donde se agregó la mezcla de polímeros paulatinamente hasta conseguir su completa dispersión, una vez obtenido la homogenización se agregó la mezcla del aceite fijo con los aceites volátiles obteniendo una emulsión, esto debido al esfuerzo de cizallamiento otorgado por el equipo (Bringas y otros, 2012).

Una vez concluido el proceso, se utilizó un secador por aspersión Büchi mini *spray-dryer* B-290, el cual fue alimentado con la mezcla realizada en condiciones adecuadas de una temperatura de entrada de 150 °C y una temperatura de salida de 90 °C (Juscamaita y otros, 2017), controladas por el flujo de aire y agua; finalmente se procedió al proceso de secado donde la mezcla polimérica se solidificó sobre las partículas, formando las microcápsulas para posteriormente ser almacenadas en una funda resellable zipper, para evitar el ingreso de humedad (López Hernández, 2010).

2.2.2. Análisis por espectroscopía infrarroja FT-IR

Se prepararon muestras de las mezclas de aceite de Sacha Inchi en combinación particular con los aceites esenciales de eucalipto, limón y albahaca (Pires, M., Amante, E., Lopes, A., Rodrigues, A., & Silva, L. 2019), microencapsulados y

mezcla polimérica (maltodextrina y goma arábica), posterior a esto se procedió a analizar cada uno de ellos en un intervalo de 550 cm⁻¹ a 4000 cm⁻¹ en un espectrofotómetro infrarrojo con dispositivo de ATR (Reflectancia total atenuada), con estos resultados se compararon los espectros obtenidos (Geeta, 2016).

2.2.3. Análisis del índice de compresibilidad y fluidez de los microencapsulados.

Se evaluó a través de los índices Carr y Hausner donde se inicialmente en una probeta de 25ml utilizando una balanza analítica Adventurer-Pro OHAUS se tomó 3g de cada microencapsulado, posteriormente se procedio a medir el volumen inicial y final que cada uno ocupó en la probeta después de realizados 250 golpes en base de la misma, el mismo procedimiento se aplicó para ambos índices.

Índice de Hausner: Este indicador permitió calcular el flujo del polvo para lo cual se tomó en cuenta la densidad compactada tomando en cuenta el volumen inicial y final que ocupa el microencapsulado trascurridos 250 golpes (Radomski, 2013).

Se hizo uso de la Ecuación 2 para el cálculo del índice de Hausner:

$$INDICE DE HAUSNER = \frac{\rho \text{ asentamiento}}{\rho \text{ vertido}}$$

Ecuación 2 Cálculo del índice de Hausner

Fuente: (Radomski, 2013)

Ecuación 2

Ecuación 1. Índice de Hausner.

Donde:

ρ vertido= Densidad de vertido= masa/volumen inicial.

ρ asentamiento= Densidad de asentamiento= masa/volumen final después de 250 golpes.

La interpretación del índice de Hausner (Razuc et al., 2019) es:

1,00 a 1,11 excelente

1,12 a 1,18 bueno

1,19 a 1,25 favorable

1,26 a 1,34 aceptable

1,35 a 1,45 malo

Índice de Carr: Mediante la determinación del volumen aparente ocupado por los diferentes microencapsulados y en términos de densidad aparente y de densidad compactada que es el volumen empaquetado de los mismos se determinó que tan compacto pueden ser los micrencapsulados de las diferentes mezclas realizadas (Radomski, 2013).

Se hizo uso de la Ecuación 3 para el cálculo del Índice de Carr:

$$INDICE DE CARR = \left[\frac{(\rho \text{ asentamiento} - \rho \text{ vertido})}{\rho \text{ vertido}} \right] * 100$$

Ecuación 3 Cálculo del índice de Carr

Fuente: (Radomski, 2013)

Donde:

ρ vertido= Densidad de vertido= masa/volumen inicial.

ρ asentamiento= Densidad de asentamiento= masa/volumen final después de 250 golpes.

La interpretación del índice de Carr (Razuc et al., 2019) es:

Menor a 10 flujo excelente

11-15 bueno

16-20 favorable

21-25 aceptable

26-31 malo

2.2.4. Análisis de la actividad antioxidante mediante el método DPPH

En un inicio, se consiguió una curva de calibración estándar con concentraciones de 100, 200, 300, 400 y 500 $\mu\text{mol l}^{-1}$ a partir de una solución madre de Trolox y se empleó como disolvente una solución de etanol y agua en relación 50:50. Posteriormente para medir la actividad antioxidante de los microencapsulados se procedió a realizar una solución de 150 $\mu\text{mol l}^{-1}$ del reactivo DPPH en una solución de metanol al 99 % y agua en una relación de 80:20. A continuación se realizaron disoluciones de 1/200, 1/250 y 1/300 de las mezclas de aceite de sacha inchi con eucalipto, limón y albahaca microencapsulados donde se procedió a diluir 0,1 g de cada muestra en 20, 25 y 30 ml de agua destilada respectivamente.

Finalmente, se colocaron las muestras diluidas sobre una microplaca 96x0,1 ml, donde el blanco estaba compuesto por 20 μL de agua destilada con 180 μL de la solución agua-metanol, un control referencial de 20 μL de agua destilada con 180 μL de la solución DPPH y 20 μL de las muestras diluidas e combinación con 180 μL del reactivo DPPH, el procedimiento se realizó por triplicado para cada una de las muestras en cada una de las disoluciones, por último se procedió a medir la absorbancia a una longitud de onda de 517 nm.

La ecuación empleada fue la siguiente:

$$\text{Actividad antioxidante (\%)} = \frac{A_C - A_M}{A_C} \times 100$$

Ecuación 4 Determinación de la actividad antioxidante

Sin embargo, ya que la concentración se relaciona en función al porcentaje de inhibición del radical DPPH, se calculó mediante la siguiente fórmula desarrollada:

$$\% \text{Inhibición del DPPH} = \left[1 - \left(\frac{A_m - A_b}{A_c - A_b} \right) \right] \times 100$$

Ecuación 5 Porcentaje de inhibición del DPPH

Fuente: (García y otros, 2015).

Donde:

(A_m): Es la absorbancia de las mezclas de aceite de sachá inchi con los aceites esenciales de eucalipto, limón y albahaca microencapsulados

(A_c): la absorbancia de control

(A_b): la absorbancia del blanco reactivo.

Los valores de absorbancia obtenidos fueron comparados con la curva estándar de Trolox, donde los datos fueron expresados en μmol equivalentes de Trolox por cada gramo de extracto seco.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Espectroscopia infrarroja de la transformada de Fourier del aceite de sachá inchi en combinación con los aceites esenciales de eucalipto, limón y albahaca microencapsulados.

En las Figuras 4 a la 13 se presentan los resultados de la espectroscopía infrarroja de cada uno de los microencapsulados obtenidos, los espectros de cada aceite por particular, también se muestra la mezcla particular los aceites esenciales de eucalipto, limón y albahaca con el aceite de sachá inchi previos a efectuarse el proceso de microencapsulación y finalmente la mezcla polimérica empleada en dicho proceso.

En proceso de microencapsulación consistió en la realización de la mezcla de 60g de cada polímero (malto dextrina y goma arábica), posteriormente se los agregó paulatinamente en 342g de agua los cuales se encontraban en el equipo homogeneizador de alta velocidad, una vez completamente disueltos se agregó la mezcla de aceite de sachá inchi con los aceites esenciales hasta formación de la emulsión que consiste en la ruptura de las moléculas tanto sólidas como líquidas, en el caso de esta investigación, la ruptura de las gotículas de aceite disueltas en la mezcla con el fin de conseguir la mayor dispersión posible (Bringas y otros, 2012).

El rango espectral aplicado fue de 4000 cm^{-1} a 550 cm^{-1} en el mismo donde fue analizado el aceite de sachá inchi y los aceites esenciales de eucalipto, limón y albahaca tanto microencapsulados como independientes; como se aprecia en las Figuras 7, 10 y 13 la mezcla polimérica carece de bandas presentes en los espectros de los microencapsulados.

Por otra parte, en la mezcla polimérica en total ausencia de la mezcla de aceites no se evidencia ningún pico del principio activo a diferencia de los microencapsulados que contenían la mezcla de aceites, lo cual evidencia la efectividad de dicho proceso.

En la Tabla 2 se muestran las longitudes de onda de cada uno de los grupos funcionales principales en lípidos o aceites donde se demuestra que los sustituyentes principales del aceite de sacha inchi y los aceites esenciales de eucalipto, limón y albahaca concuerdan con lo expuesto en estudio.

Tabla 2 *Análisis del espectro FTIR-ATR para el análisis de lípidos*

Número de onda (cm ⁻¹)	Lectura	Grupo funcional
3004	Estiramiento C=CH	Alquenos
2964,70	Estiramiento -CH ₃	Metilo
2917,64	Estiramiento C-H	Alcanos
1742,88	Estiramiento C=O	Ácidos Carboxílicos
1644,22	Estiramiento C=C	Alcanos
1435,62	Flexión C-H	Alcanos
1375,97	Flexión -OH	Fenoles
1154,91	Estiramiento C-O	Alcoholes terciarios
1030	Estiramiento C-O	Éteres
885,83	Estiramiento C-H	Aromáticos
797,23	Flexión C=C	Alcanos

Fuente: (Mondragón, P. 2020)

En la Figura 4 se muestra el espectro FTIR del aceite de aceite fijo de sacha inchi sin la mezcla con ningún aceite esencial donde se muestra claramente su espectro principal

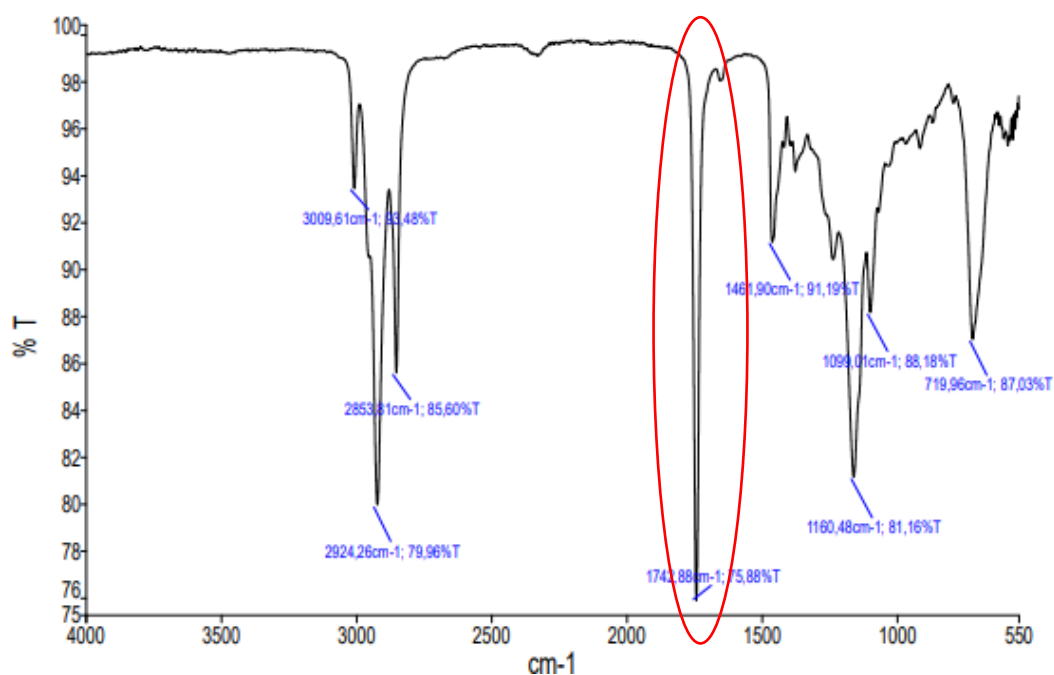


Figura 4 Espectro FTIR del aceite fijo de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.)

Como se observa en la Figura 4 bandas que se muestran pertenecen a un estiramiento del grupo carboxilo C=O, mismo característico en los ácidos grasos como es el caso del aceite de sacha inchi que posee el ácido oleico, linolenico y linoleico cuyos espectros se encuentran en los $1742,88 \text{ cm}^{-1}$, los lípidos se encuentran entre los $3009,61$ y $2924,26 \text{ cm}^{-1}$ siendo estos los picos más representativos, sin embargo, como se muestra en las Figuras 7, 10 y 13, se encuentran en menor cantidad en el espectro del aceite microencapsulado en combinación con los aceites esenciales (Pullutasig A., López O., Debut A., Vaca A., 2016).

En el caso de los aceites esencial, según (Fernández y otros, 2019) se conoce que poseen numerosos enlaces y grupos funcionales tales como aminoácidos, carbohidratos, flavonoides, esteroides, terpenos, proteínas y compuestos fenólicos siendo los terpenos el grupo mayoritario en este tipo de aceites, el análisis FTIR de los aceites esenciales de eucalipto, limón y albahaca se muestra en las Figuras 5, 8 y 12 respectivamente.

En la Figura 5 se muestra el espectro FTIR del aceite esencial de eucalipto donde se evidencia la longitud de onda que presenta su principal grupo funcional.

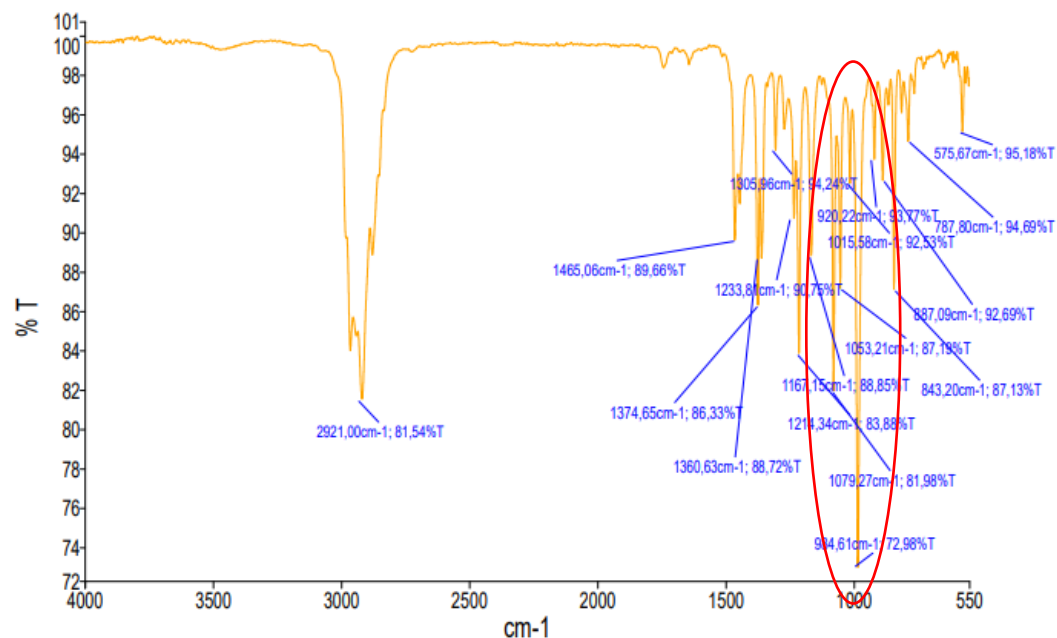


Figura 5 Espectro FTIR del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus* L.)

Según las investigaciones realizadas por Mondragón, (2020), la banda espectral ubicada en 3463 cm^{-1} pertenece al enlace -O-H común en compuestos alcohólicos y compuestos fenólicos con enlaces -H; el pico que comúnmente se forma a 2962 cm^{-1} es característico en el estiramiento del grupo -C-H así como también al estiramiento simétrico de los grupos metoxi; las bandas formadas a 1639 cm^{-1} pertenecen a la flexión de -N-H que pertenecen a los grupos aminas primarias y secundarias; el estiramiento C-C de un anillo aromático se ubica normalmente en el valor de 1440 cm^{-1} , conforme a los resultados obtenidos e investigaciones previas realizadas por (Rodríguez y otros, 1998). La región ubicada en los 1020 cm^{-1} corresponden al estiramiento C-O-C mismo característico de los grupos alcohol, ácidos carboxílicos, ésteres y éteres, este último grupo funcional según el mismo autor, es el grupo principal del terpeno del aceite esencial de eucalipto y el aceite esencial de albahaca los cuales se denominan 1,8-cineol y estragol, según investigaciones preliminares de Anuradha et al. (2014) obtuvieron resultados similares para los picos más altos correspondientes al grupo éter cuyo resultado fue $984,61\text{ cm}^{-1}$ para el aceite esencial de eucalipto como se muestra en el espectro FTIR de la Figura 5

En Figura 6 se expone el espectro FTIR del aceite esencial de eucalipto combinado con el aceite fijo de sacha inchi donde se aprecian sus dos longitudes de onda demostrando la combinación entre ambos.

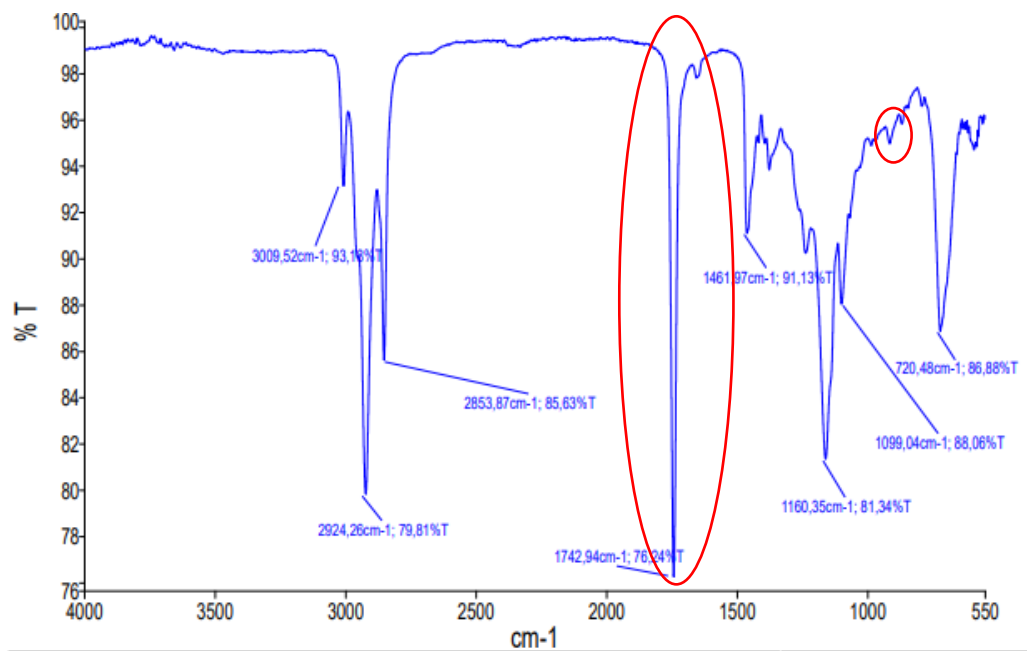


Figura 6 Espectro FTIR del aceite esencial de eucalipto en combinación con el aceite fijo de sacha inchi

Como se puede apreciar en la Figura 6, se encuentra el espectro FTIR de la mezcla del aceite fijo de sacha inchi en combinación con el aceite esencial de eucalipto, el estiramiento del grupo carboxilo se encuentra con una variación mínima a diferencia del espectro FTIR de la Figura 4 siendo este de $1742,66\text{ cm}^{-1}$, y en la presente Figura de $1742,94\text{ cm}^{-1}$; mientras que el aceite esencial de eucalipto siendo un éter su sustituyente se encuentra en los $984,61\text{ cm}^{-1}$, notando un ligero pico debido a su concentración en la mezcla de aceites, sin embargo, se puede apreciar la presencia del mismo, demostrando la mezcla de ambos compuestos oleosos

A continuación, en la Figura 7 se evidencia el espectro FTIR combinado tanto microencapsulado como sin microencapsular.

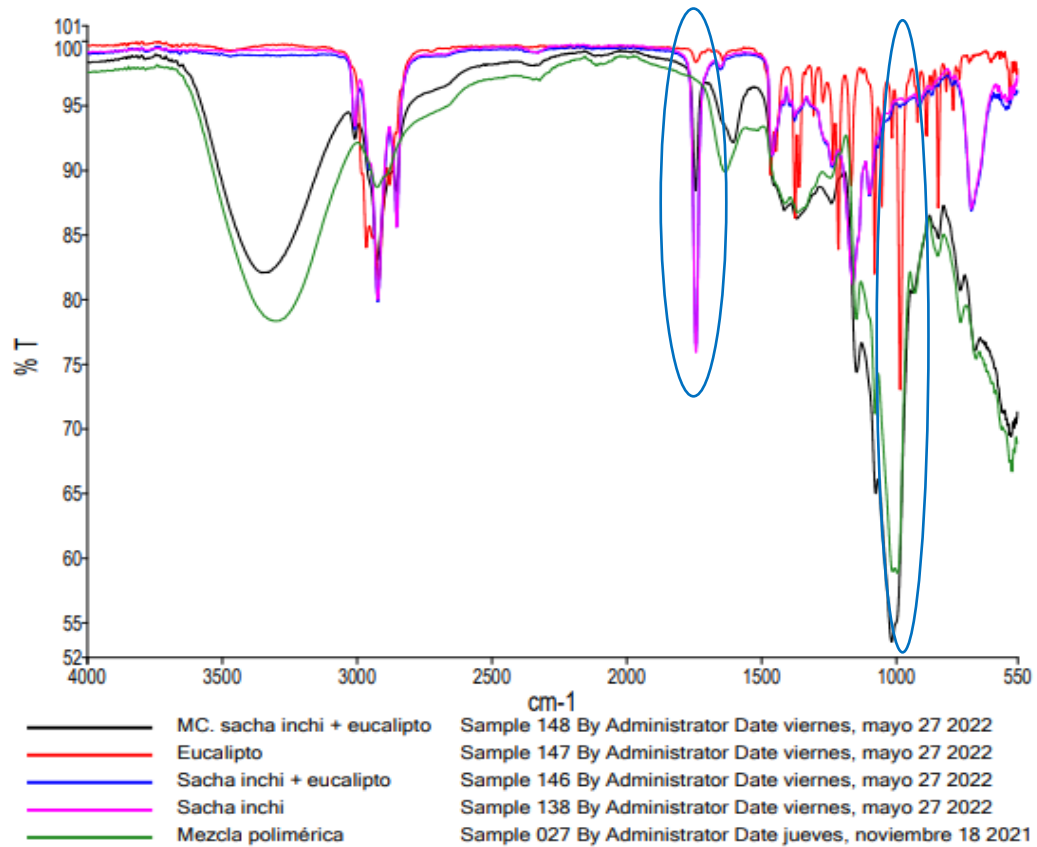


Figura 7 Espectro FTIR superpuestos de aceite fijo de sachá inchi, aceite esencial de eucalipto, mezcla polimérica y microensapsulados.

Como se presenta en la Figura 7, se pueden presenciar 5 espectros diferentes que representan al aceite fijo de sachá inchi donde su longitud de onda es de $1742,94 \text{ cm}^{-1}$, aceite esencial de eucalipto encontrado en los $984,61 \text{ cm}^{-1}$, mezcla de aceites, microencapsulado y mezcla polimerica demostrando la diferencia entre todos los antes mencionados, y como se puede notar se demuestra la presencia de ambos aceites presentes tanto en la mezcla como en particular, no obstante, despues del proceso de microencapsulacion, se puede notar un tenue pico demostrando la eficiencia de la misma, a diferencia del espectro FTIR de ma mezcla polimerica aplicada.

Como se expone en la Figura 8 se muestra unicamente el espectro del aceite esencial de limón sin la combinación con el aceite fijo de sachá inchi.

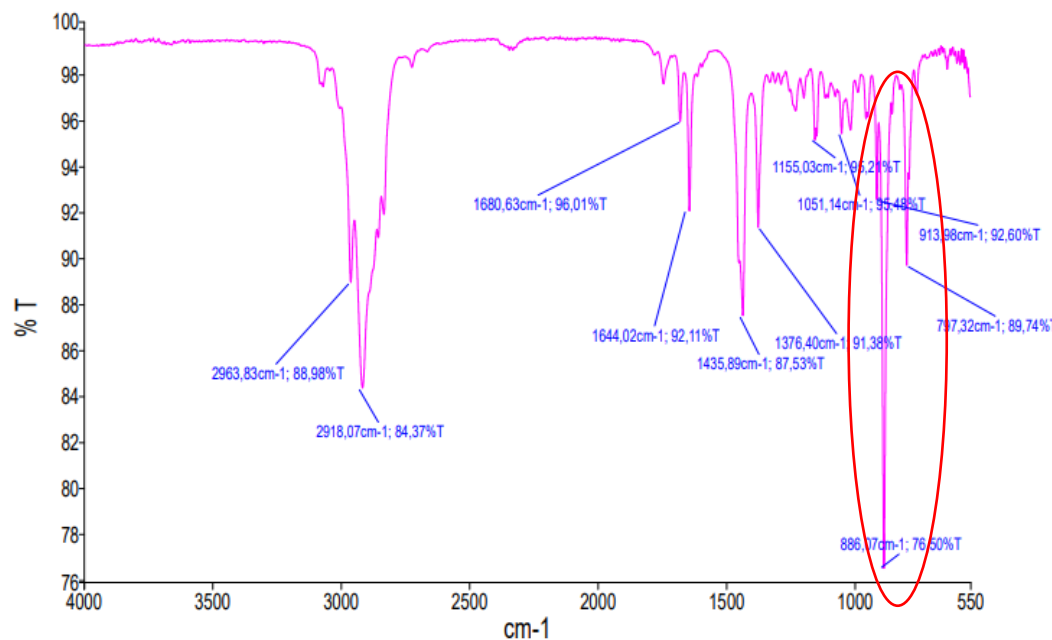


Figura 8 Espectro FTIR del aceite esencial de limón (*Citrus limonum*.)

En el caso del aceite esencial de limón el espectro de absorbancia se muestra en la Figura 8 y en combinación con el aceite de sachá inchi tanto microencapsulado como sin microencapsular se muestra en la Figura 10, aquí se puede evidenciar que la mayor relevancia en la banda de absorción se muestra en el la longitud de onda de $886,07\text{ cm}^{-1}$ se obtuvieron similares resultados (Benoudjit, Maameri, & Ouared, 2020), esto demuestra la presencia del monoalqueno sustituido característico del L-limoneno presente en el aceite esencial de limón, sin embargo también se puede encontrar la presencia de alcanos, fenoles y grupos aromáticos cuyas longitudes de onda se exponen en la Tabla 2.

En la Figura 9 se encuentra el espectro FTIR de la mezcla del aceite fijo de sachá inchi con el aceite esencial de limón donde se muestra sus longitudes de onda.

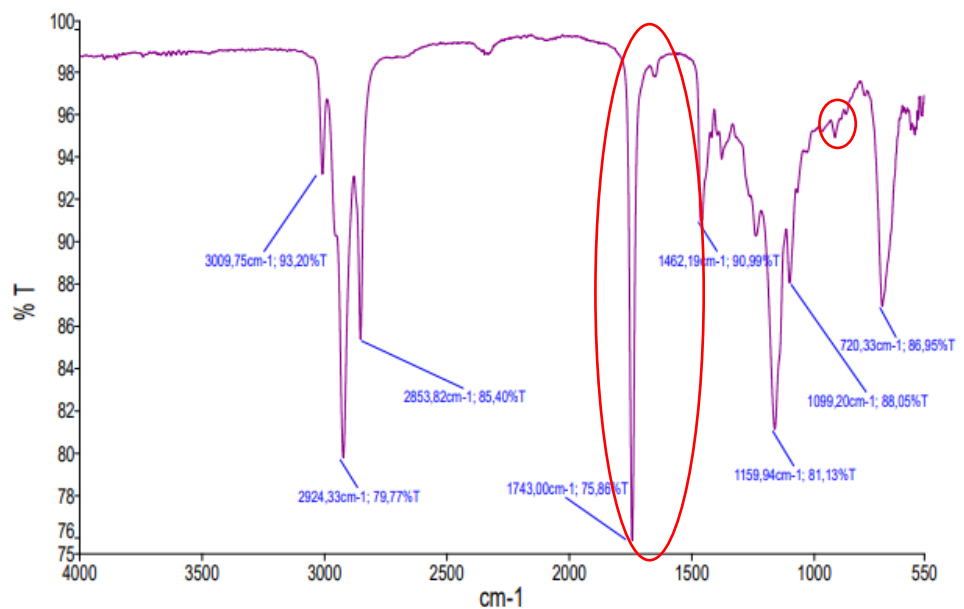


Figura 9 Espectro FTIR del aceite esencial de limón en combinación con el aceite fijo de sachá inchi

Como se observa en la Figura 9, se presenta el espectro FTIR de la mezcla del aceite de sachá inchi en combinación con el aceite esencial de limón previos al proceso de microencapsulación, como se evidencia el aceite de sachá inchi por su estiramiento del grupo carboxilo C=O se encuentra en una longitud de onda muy similar a la obtenida sin la mezcla con el aceite esencial de limón que fue de 1742,66 cm⁻¹ lo cual resulta similar a lo presentado en la Figura 9 la misma que se encontraba en 1743,00 cm⁻¹; por otra parte el pico del aceite esencial de limón resulta casi imperceptible ya que por la concentración utilizada (0,5%) únicamente se puede apreciar un pequeño pico ubicado en 886,07 cm⁻¹ la cual no se encuentra presente en la Figura 4 correspondiente al espectro FTIR del aceite fijo de sachá inchi.

En la Figura 10 se presenta la mezcla de aceites así como microencapsulados y previos al proceso antes mencionado.

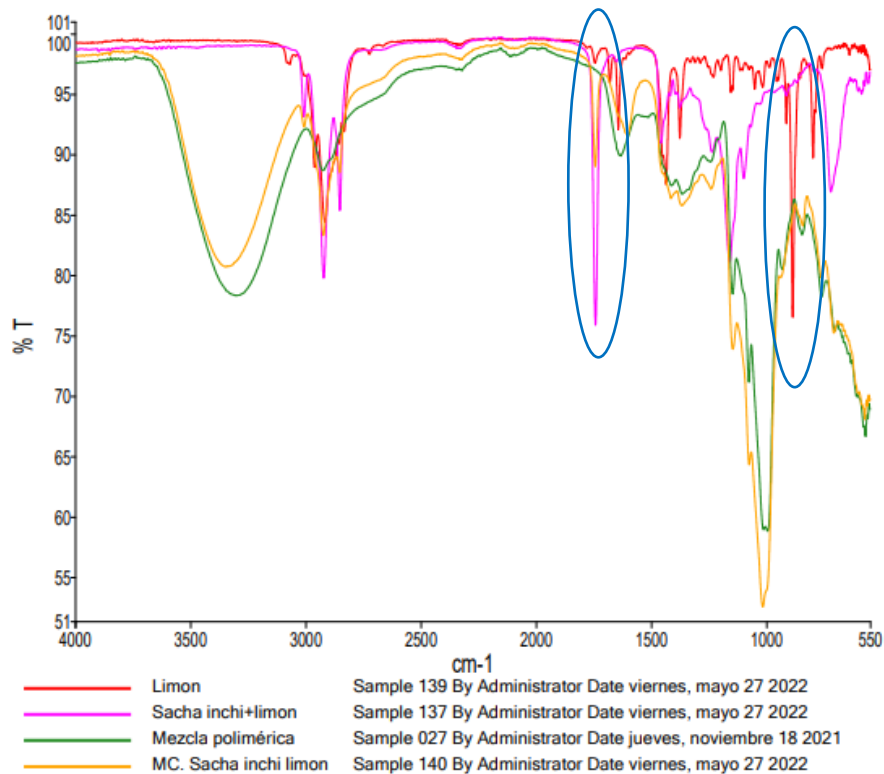


Figura 10 Espectro FTIR superpuestos de aceite fijo de sachá inchi, aceite esencial de limón, mezcla polimérica y microencapsulados.

Como se puede evidenciar en la Figura 10, corresponde al espectro FTIR superpuesto de la mezcla de aceite de sachá inchi con una longitud de onda 1742,94 cm⁻¹, el aceite esencial de limón cuya longitud de onda fue de 886,07 cm⁻¹, mezcla de aceites esenciales y microencapsulado, cuya diferencia fue mínima a la obtenida tanto en particular como en mezcla, sin embargo, la mezcla de aceites continúa demostrando una mínima presencia del aceite esencial debido a su concentración, siendo el limón la menos evidente debido a su menor peso molecular, y siendo la mayor concentración del aceite fijo de sachá inchi se puede notar un pico mayor exepctuando los picos presentes en el espectro microencapsulado, ya que se ven protegidos por su pared polimérica demostrando la eficiencia del proceso.

Continuando, en la Figura 11 se muestra el espectro FTIR del aceite esencial de albahca sin la mezcla, donde se puede evidenciar la longitud de onda de su principio activo.

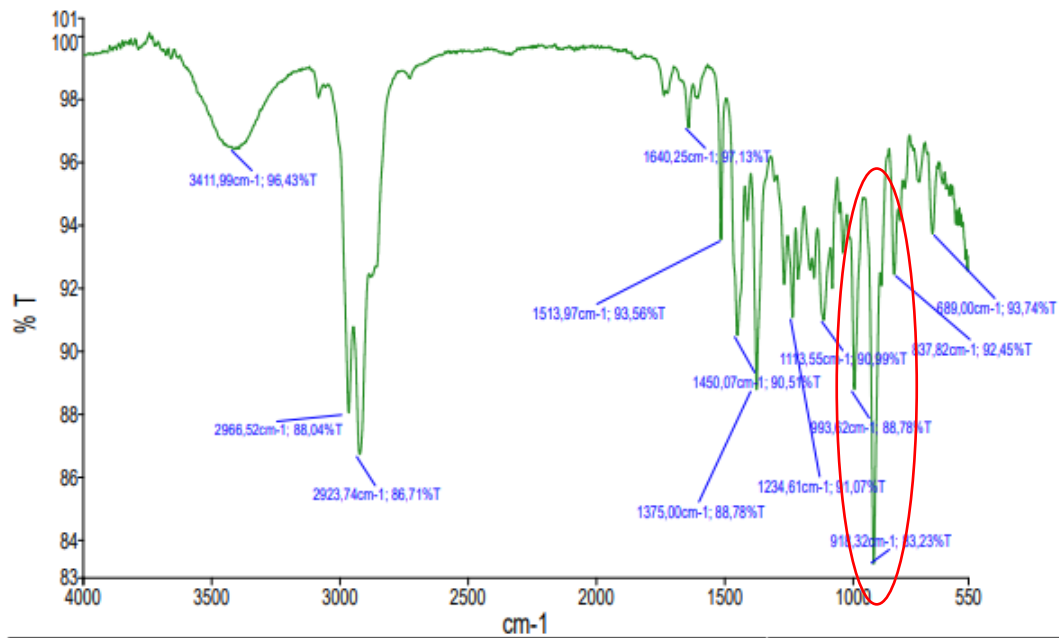


Figura 11 Espectro FTIR del aceite esencial de albahaca (*Ocimum basilicum* L)

En la Figura 11 similar a la Figura 5 correspondiente al espectro FTIR del aceite esencial del eucalipto, el espectro FTIR del aceite esencial de albahaca presenta una similitud en su pico y su longitud de onda que corresponde a 918,32 cm⁻¹, esto según estudios demuestran que los picos más altos correspondiente al grupo éter, sustituyente principal del terpeno perteneciente al aceite esencial de albahaca denominado estragol (Anuradha et al. 2014), como se muestra en la Figura 12.

Continuando en la Figura 12 se expone el espectro de la mezcla del aceite de sacha inchi combinado con el aceite esencial de albahaca mostrando donde se presenta su sustituyente principal.

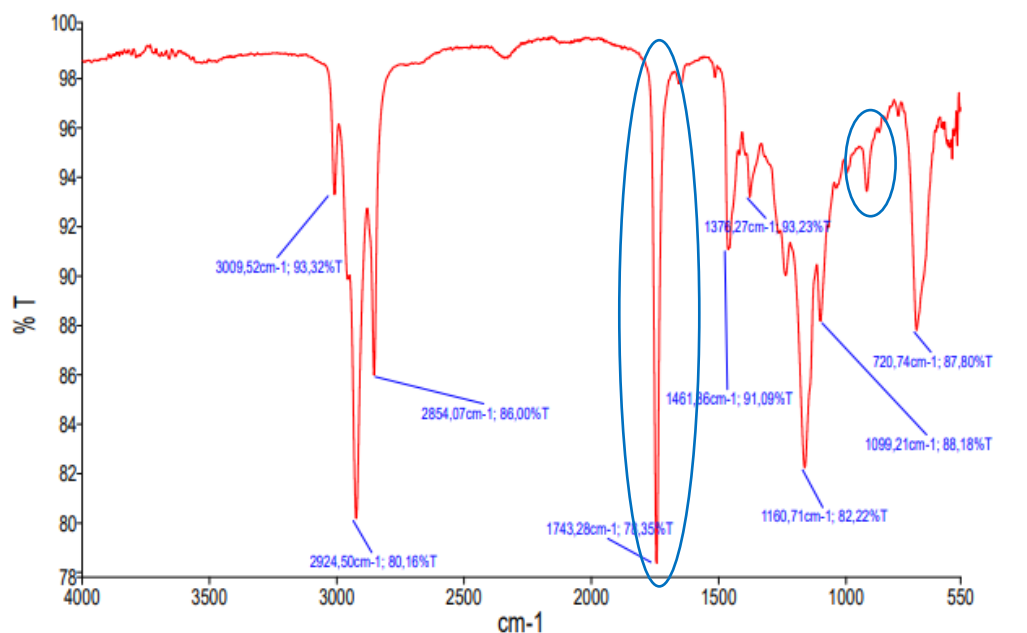


Figura 12 Espectro FTIR del aceite esencial de albahaca en combinación con el aceite fijo de sachá inchi

En la Figura 12 se evidencia el espectro FTIR de la mezcla del aceite de sachá inchi con el aceite esencial de albahaca demostrándose con claridad un pico superior del aceite esencial a diferencia de las mezclas antes mencionadas, eso se debe por el peso molecular del terpeno principal de la albahaca el cual super al 1,8-cineol y al D-Limoneno, pudiéndose notar, sin embargo, sigue siendo inferior al pico mostrado en el aceite fijo de sachá inchi, el pico del mismo varía muy poco al los anteriores encontrándose en una longitud de onda de $1743,28 \text{ cm}^{-1}$ y la albahaca con una longitud de onda de $918,32 \text{ cm}^{-1}$, demostrando la mezcla de aceites.

Como se puede evidenciar en la Figura 13, se presenta los espectros FTIR del aceite fijo de sachá inchi y del aceite esencial de albahaca por particular, en mezcla y posterior al proceso de microencapsulación.

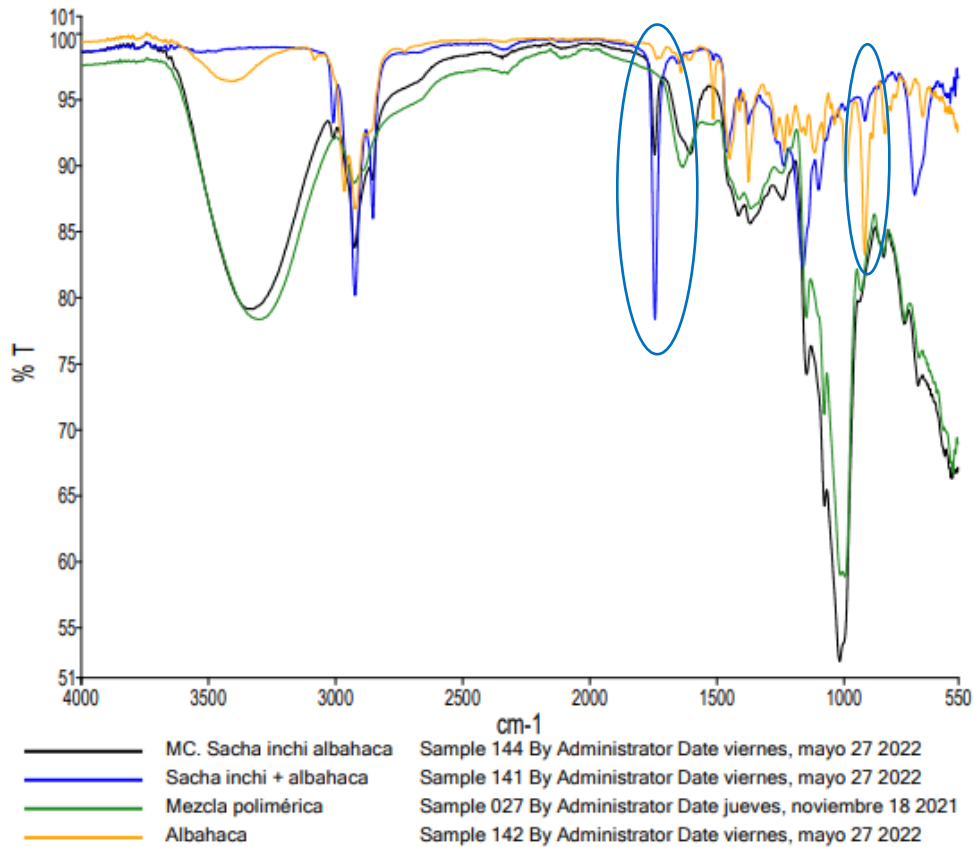


Figura 13 Espectro FTIR superpuestos de aceite fijo de sachu inchi, aceite esencial de albahaca, mezcla polimérica y microencapsulados.

Como se evidencia en la Figura 13, se puede apreciar claramente un superpuesto donde la mezcla de aceites de sachu inchi con el aceite esencial de albahaca demuestra un pico alto para el aceite esencial a diferencia de sus contrapartes, sin embargo, luego del proceso de microencapsulación, únicamente se puede notar un pequeño pico para el aceite fijo de sachu inchi demostrando, una vez más la eficiencia de la microencapsulación.

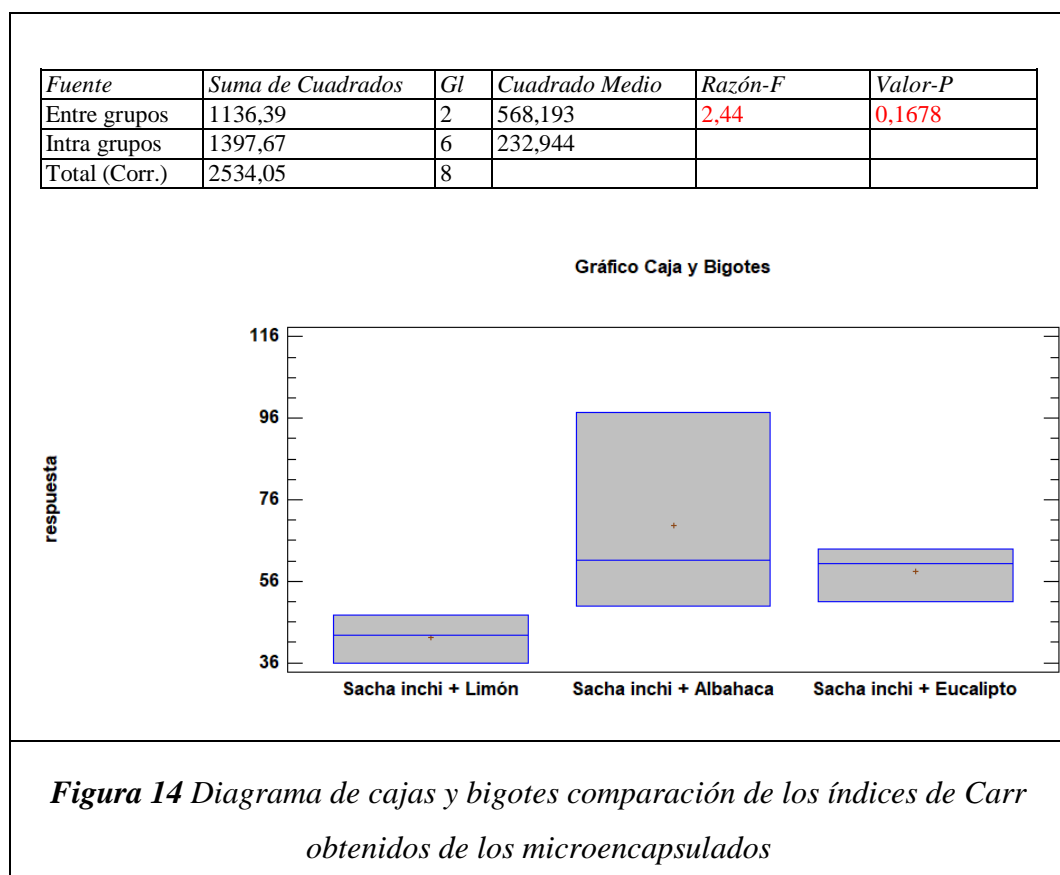
3.2. Evaluación de la fluidez y compresibilidad de los microencapsulados obtenidos a través de los índices de Carr y de Hausner.

La fluidez y compresibilidad son parámetros de gran importancia para medir la calidad en polvos de carácter alimenticio, estos se miden por el índice de Carr (IC) y la relación de Hausner (RH); el primero mencionado demuestra la capacidad que posee un polvo en reducir su volumen golpeándolo con suavidad mientras que el

segundo indica la cohesión de las partículas de polvo, al tratarse de una mezcla de compuestos de carácter oleoso como es el aceite de sacha inchi y los aceites esencial poseen una alta cohesión resultando en una baja fluidez y compresibilidad similar al estudio preliminar realizado por (Baranauskaite et al. (2017)

3.2.1. Evaluación del índice de Carr

Como se demuestra en la Figura 14 se puede determinar claramente el índice de Carr el cual determina la medida exacta entre la resistencia y estabilidad claramente mostrada entre los puentes de polvo además del análisis estadístico Tukey.



Se utilizó un análisis de varianza para este ensayo, con un 95% de confianza, según Benoudjit et al., (2020), donde se aprecia que no existe diferencia significativa entre los datos obtenidos en el índice de Carr sin embargo en el gráfico de cajas y bigotes aparenta presentar diferencia, sin embargo, esto se debe a la escala aplicada y a la dispersión de las medias obtenidas para cada mezcla de aceites, siendo la mezcla de

aceite de sacha inchi con aceite esencial con limón la que presenta los mejores resultados.

Como se puede evidenciar que la mezcla de aceite de sacha inchi con los aceites esenciales de eucalipto y albahaca presentan un resultado extremadamente malo con un índice de Carr de 58,45 y 69,53 respectivamente, sin embargo, la mezcla del aceite de sacha inchi con el aceite esencial de limón demuestra un resultado particularmente mejor al de las otras mezclas con un índice Carr de 42,23 lo que se considera muy pobre según la Tabla 3 Anexo B, esto se da ya que el terpeno del aceite esencial del limón posee menor peso molecular y un sustituyente diferente en su estructura en comparación con los terpenos del aceite esencial de eucalipto y albahaca que presentan como sustituyente principal al grupo éter lo cual los diferencia del mono alqueno sustituido del limoneno, por otro lado, los resultados obtenidos se debe también a la cohesión que existe entre los componentes de los microencapsulados, al tratarse de mezclas entre sustancias oleosas poseen una alta compatibilidad lo que tiende a generar mayores fuerzas intermoleculares entre ellas y dificultar tanto su fluidez como su compresibilidad (Benoudjit, Maameri, & Ouared 2020).

3.2.3. Evaluación del índice de Hausner

Se determinó la respuesta al índice de Hausner, el mismo que es de gran importancia según previas investigaciones para categorizar a diferentes productos por su grado cohesividad.

Gracias al análisis estadístico Tukey entre datos se estableció la diferencia entre las 3 mezclas de aceites que se representa en la Figura 15 y en el Anexo B.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,113639	2	0,0568193	2,44	0,1678
Intra grupos	0,139767	6	0,0232944		
Total (Corr.)	0,253405	8			

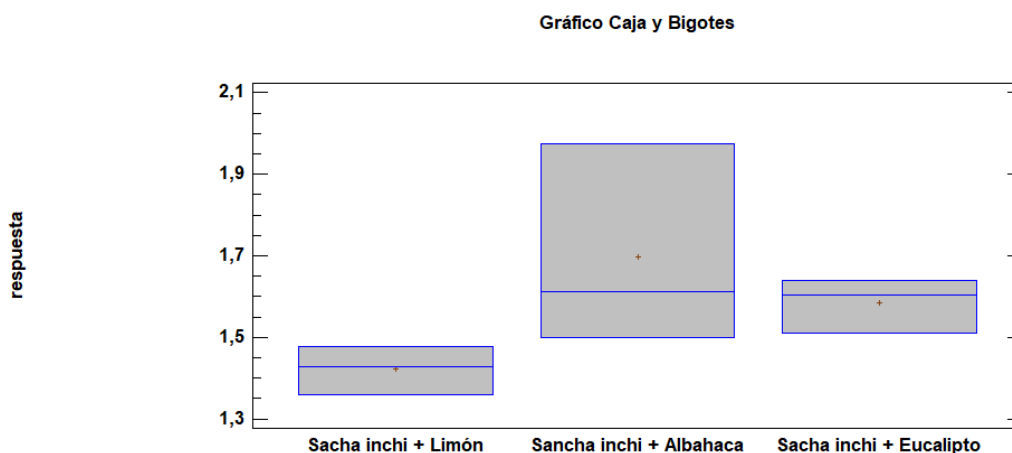


Figura 15 Diagrama de cajas y bigotes comparación de los índices de Hausner obtenidos de los microencapsulado

Se aprecia que al igual que en el índice de Carr el índice de Hausner no presenta diferencia significativa entre los resultados obtenidos para cada mezcla de aceites, sin embargo en la Figura 16 el diagrama de cajas y bigotes aparenta mostrar una clara diferencia, esto al igual que en la Figura 14 se debe a la manera en la dispersión de los datos como se demuestra en el Anexo B, aunque sus medias presentan una diferencia significativa la mezcla del aceite de sachá inchi con el aceite esencial de limón tiene una clara tendencia al ser superior a las otras dos mezclas según los índices expuestos en el Capítulo 2.

Se comprueba claramente que la mezcla del aceite de sachá inchi con el aceite de limón es evidentemente la mejor con un índice de Hausner de 1,42 a diferencia de la mezcla del aceite de sachá inchi con eucalipto y albahaca cuyos índices son 1,60 y 1,69 respectivamente, esto demuestra que las mezclas de los aceites mencionados son extremadamente malos y esto se justifica por su cohesividad y peso molecular por sus sustituyentes, sin embargo, el aceite esencial de limón a diferencia de ellos por su mono alqueno sustituido lo convierte en la mejor mezcla de aceites.

El hecho que sea una mezcla entre compuestos oleosos demuestra su alta cohesividad debido a la combinación entre dos compuestos similares en su composición química, sin embargo, como se muestra en el Capítulo 2, la temperatura de entrada que se utilizó en el proceso de microencapsulación de la emulsión, los índices tienden a aumentar con el incremento de la temperatura, como consecuencia obteniéndose una menor fluidez y compresibilidad (Pugliese y otros, 2017).

3.3. Capacidad antioxidante mediante el método de DPPH

Para la comprobación de la capacidad antioxidante de la mezcla de aceites microencapsulados se empleó el ensayo DPPH el mismo propuesto por (Bobo-García et al., 2015), aquí se explica el principio del método el cual consta de la reducción del radical libre cuando se encuentra junto con el compuesto bioactivo y en este caso la presencia de la mezcla de aceites microencapsulados los cuales son donadores de hidrógeno (Guija y otros 2015), según Torrenegra y otros, (2019) la capacidad antioxidante que poseen los aceites esenciales está directamente relacionada a su alto contenido de metabolitos, y el mecanismo de acción de cada uno de ellos ya que al reaccionar con un radical libre se produce una reacción redox de primer orden, en este caso a pesar de los diferentes compuestos que se pudieron evidenciar en los análisis FTIR, los componentes con mayor contenido pertenecen a la familia de los terpenos los mismos que poseen la mayor capacidad antioxidante (Coba y otros 2015).

En la Figura 16 se presentan los resultados de la capacidad antioxidante de las 3 mezclas realizadas entre el aceite de sacha inchi y los aceites esenciales de eucalipto, limón y albahaca así como el análisis estadístico Tukey para los datos obtenidos.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	224,523	2	112,261	928,49	0,0000
Intra grupos	0,725446	6	0,120908		
Total (Corr.)	225,248	8			

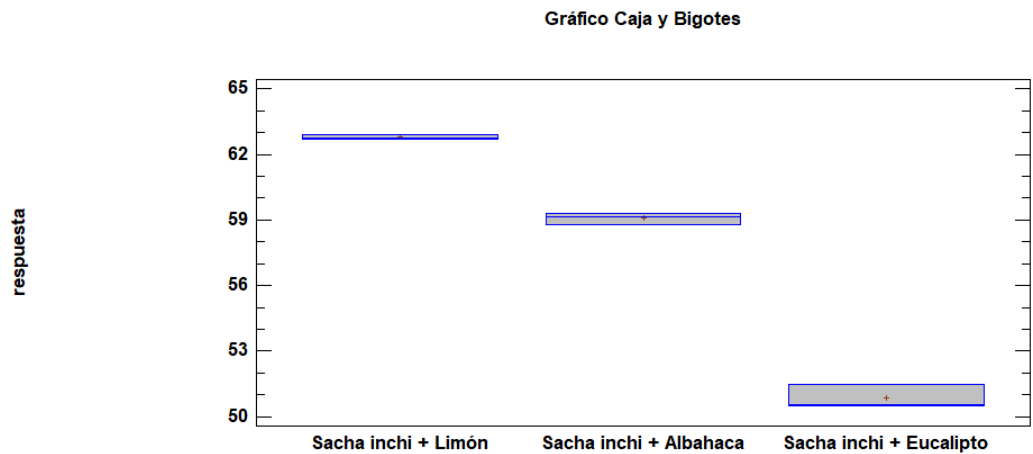


Figura 16 Diagrama de cajas y bigotes, comparación de la actividad antioxidante de los microencapsulados obtenidos

Se utilizó un análisis de varianza para este ensayo, con un 95% de confianza, según Benoudjit et al., (2020) mencionan que la mayor capacidad antioxidante ocurre cuando se presenta la donación de un electrón o un protón (DPPH^{*}), en el caso de este estudio la Figura 16 demuestra que la mezcla de aceite de sachá inchi con los aceites esenciales de eucalipto, limón y albahaca presenta una capacidad antioxidante y esto se demuestra principalmente en la concentración 1/200 con resultados de 262.63, 326.74 y 306.74 $\mu\text{mol l}^{-1}$ en la curva de calibración para el reactivo trolox respectivamente cómo se evidencia en el Anexo C Tabla 6 acercándose mucho al centro de la recta y evidenciando su capacidad antioxidante, sin embargo, el aceite esencial de limón microencapsulado posee los mejores resultados, eso se debe al sustituyente presente en el terpeno del limón (D-limoneno) el cual es un monoalqueno sustituido como se demuestra en la Figura 2 esto permite que los hidrógenos de los extremos se puedan donar evitando así la oxidación a diferencia de los sustituyentes del aceite esencial de eucalipto y albahaca los cuales son éteres dificultando así la donación de un protón o un

electrón; los resultados de DPPH estuvieron dentro del rango de los resultados reportados en bibliografía especialmente para especies como el limón (DPPH entre 250 y 350 $\mu\text{mol L}^{-1}$) (Fernández y otros, 2019).

Sin embargo, bibliográficamente se reporta que en aceites esenciales como en caso del eucalipto y la albahaca la existencia de compuestos de carácter fenólico (Boom y otros 2018). Por otro lado, el aceite de sacha inchi posee una alta concentración de ácidos grasos poliinsaturados, vitaminas A y E, así como también antioxidantes, el problema radica en su volatibilidad y es por eso la aplicación de aceites esenciales como antioxidantes (Pullutasig A., López O., Debut A., Vaca A., 2016).

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se verificó la eficiencia de la microencapsulación de las mezclas particulares del aceite de sachá inchi en combinación con los aceites esenciales de eucalipto, limón y albahaca, de acuerdo a los espectros FTIR-ATR combinados se puede presenciar que previo a la microencapsulación se definen muy poco los picos de los aceites esenciales, concluyendo que las concentraciones de los mismos es mínima y desapareciendo al momento de microencapsularlos, sin embargo comprobando la eficiencia del proceso ya que se encuentran recubiertos por la pared polimérica.
- Se demostró la fluidez y compresibilidad de los microencapsulados mediante los índices de Hausner y Carr determinándose que el comportamiento del sachá inchi en combinación con los aceites esenciales de eucalipto y albahaca de extremadamente malo con un índice de Hausner de 1,60 y 1,69 y de Carr de 58,45 y 69,59 respectivamente y la combinación de sachá inchi con limón resultando ser muy pobre con 1,42 y 42,23 respectivamente considerándose el mejor.
- Se evaluó la capacidad antioxidante de los microencapsulados mediante el método DPPH que la mezcla del aceite sachá inchi con el aceite esencial de limón tiene la mayor capacidad antioxidante con un resultado de 326,24 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de concentración de trolox, siendo el más acercado al centro de la curva de calibración.

4.2.Recomendaciones

- Se recomienda realizar investigaciones futuras acerca de las propiedades particulares entre distintos aceites esenciales y su aplicación particular para diferentes principios activos y como afectan o benefician en los mismos para posibles aplicaciones en la industria como alternativa natural.
- Es importante realizar investigaciones acerca de diferentes mezclas de aceite de sacha inchi con más aceites esenciales como son el aceite esencial de naranja, canela, tomillo, clavo de olor, etc. Para comparar como afectan los mismos en las propiedades organolépticas del aceite de sacha inchi así como su capacidad antioxidante y la diferencia de cada uno en el proceso de microencapsulación.
- Se plantea la necesidad de realizar futuras investigaciones del microencapsulado del aceite de sacha inchi con el aceite esencial de limón para conseguir establecer su estabilidad oxidativa mediante el equipo Oxitesd

MATERIALES DE REFERENCIA

BIBLIOGRAFÍA

- Anuradha G, Sundar, G., Kumar, J., & Ramana, M. (2014). Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles from *Ocimum basilicum* L. var. *thrysiflorum*. *European Journal of Academic Essays*. 1(5) 5-9
<https://doi.org/10.3923/ajft.2018>
- Alban, G., Greffa J., López, O., Gaibor, J., Altuna, J., & Carrillo, W. (2018). Microencapsulated Walnut Oil (*Juglans neotropica* Diels) by Spray Drying Technology and Determination of Fatty Acids Composition Stability. *American Journal of Food Technology*.
<https://doi.org/10.3923/ajft.2018>
- Aslan, R. (2018). Antioxidant Safety and Antioxidant-induced Stress. *Kocatepe Veterinary Journal*. <https://doi.org/10.30607/kvj.447022>
- Avello, M., & Suwalsky, M. (2006). Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. *Atenea (Concepción)*, 2(494), 161-172.
<https://doi.org/10.4067/s0718-04622006000200010>
- Avendaño Prieto, G., & Acevedo Buitrago, B. (2015). Proceso de microencapsulación de colorantes naturales presentes en la fresa (*Fragaria vesca*). *Revista Ontare*, 2(2), 7.
<https://doi.org/10.21158/23823399.v2.n2.2014.1239>
- Azeez, H., & Barzinjy, A., (2020). Green synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles using *Eucalyptus globulus* Labill. leaf extract and zinc nitrate hexahydrate salt. *Springer Nature Switzerland*, 2(2), 7.
<https://doi.org/10.1007/s42452-020-2813-1>
- Baranauskaite, J., Ivanauskas, L., Masteikova, R., Kopustinskiene, D., Baranauskas, A., & Bernatoniene, J. (2017). Formulation and characterization of Turkish oregano microcapsules prepared by spray-drying technology. *Pharmaceutical development and technology*, 22(6), 792-803.
<https://doi.org/10.1080/10837450.2016.1189934>

- Bendala-Tufanisco, E., & Grisolia, S. (2007). Tratamiento con antioxidantes. *Archivos De La Sociedad Española De Oftalmología*, 82(11). <https://doi.org/10.4321/s0365-66912007001100004>
- Benoudjit, F., Maameri, L., & Ouared, K. (2020). Evaluation of the quality and composition of lemon (*Citrus limon*) peel essential oil from an Algerian fruit juice industry. *Algerian Journal of Environmental Science and Technology*, 6(4), 1575–1581.
- Bringas-Lantigua, M., Valdés, D., & Pino, J. (2012). Influence of spray-dryer air temperatures on encapsulated lime essential oil. *International Journal Of Food Science & Technology*, 47(7), 1511-1517. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.02999>.
- Bobo-García, G., Davidov-Pardo, C., Arroqui, C., Vírveda, p., Marín-Arroyo, M., & Navarro, M. (2015). Validación intralaboratorio de métodos de microplacas para contenido fenólico total y actividad antioxidante en extractos polifenólicos, y comparación con métodos espectrofotométricos convencionales. *Diario de la ciencia de la alimentación y la agricultura*.
- Boom, E., Orozco, J., Alean, J., & Rojano, B. (2018). Evaluation of antioxidant activity of eucalyptus essential oils grown in Colombia. *Informacion Tecnologica*, 29(6), 57–66. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000600057>
- Boveris, A. (2002). Radicales libres y antioxidantes en salud humana. *Medwave*, 2(7). <https://doi.org/10.5867/medwave.2002.07.3608>
- Choe, E. y Min, DB (2006) Mecanismos y factores para la oxidación del aceite comestible. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5, 169-186. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2006.00009.x>
- Camps, D., & Ruffino, S. (2010). *Bioquímica del estrés oxidativo* (3rd ed., p. 40). Lulu.
- Coba, P., Mayacu Tivi, L., & Vidari, G. (2010). Importancia de la actividad antioxidante y evaluación de extractos en etanol del género *Oryctanthus*. *La*

- granja*, 11(1), 9. <https://doi.org/file:///C:/Users/Wladimer/Downloads/489-Texto%20del%20art%C3%ADculo-1443-1-10-20160119.pdf>
- Coronado H, M., Vega y León, S., Gutiérrez T, R., Vázquez F, M., & Radilla V, C. (2015). Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Revista Chilena De Nutrición*, 42(2), 206-212. <https://doi.org/10.4067/s0717-75182015000200014>
- Fanali, C. (2011). Chemical Characterization of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(3), 13045-13048. <https://dx.doi.org/10.1021/jf203184y>
- Fernandez, J. S., de Souza, E. L., Oliveira, J. R., Alves, A. C., Kotzebue, L. R., da Silva, D. L., ... Tejo, M. (2020). Microencapsulation of sweet orange essential oil (*Citrus aurantium* var. *dulcis*) by liophylization using maltodextrin and maltodextrin/gelatin mixtures: Preparation, characterization, antimicrobial and antioxidant activities. *International Journal of Biological Macromolecules*, 143, 991–999. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.09.160>
- Finch, C., & Bodmeier, R. (2000). Microencapsulation. *Ullmann's Encyclopedia Of Industrial Chemistry*, 14(3), 25-26. https://doi.org/10.1002/14356007.a16_575
- Flores, C., Pérez, J., & Minor, H. (2017). Mecanismos de Oxidación de Lípidos en Emulsiones Alimentarias y Empleo de Antioxidantes de Origen Vegetal para su Control. *TecnoCultura*, 10(3), 17-30. <https://tecnocultura.org/index.php/Tecnocultura/article/view/231>
- Fuchs, R., Rojas, V., Tanamati, A., & Gozzo, A. (2019). Formulation of mayonnaises containing PUFAs by the addition of microencapsulated chia seeds, pumpkin seeds and baru oils. *Journal of Food Chemistry*, 274(3), 220-226. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.015>
- García, G., Pardo, G., Arroqui, C., Vírseda, P., Marín, M., & Navarro, M. (2015). Intra-laboratory validation of microplate methods for total phenolic content and antioxidant activity on polyphenolic extracts, and comparison with

- conventional spectrophotometric methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(1), 204–209. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6706>
- García, B., Saldaña, A., & Saldaña, L., (2013). El estrés oxidativo y los antioxidantes en la prevención del cáncer. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 12(2), pp. 187-196. Universidad de Ciencias Médicas de La Habana. Cuba. Retrieved from: <http://redalyc.org/articulo.oa?id=180427525006>
- Gavahian, M., Chu, Y. H., & Khaneghah, A. M. (2018). Recent advances in orange oil extraction: an opportunity for the valorisation of orange peel waste a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 54(4), 925–932. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13987>
- Geeta, V. (2016). FTIR Spectroscopy - A Technique for the Evaluation of Edible Oil Oxidation. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 5(1), 294–296. <https://www.ijsr.net/archive/v5i1/NOV152444.pdf>
- Guija-Poma, E., Inocente-Camones, M., Ponce-Pardo, J., & Zarzosa-Norabuena, E. (2015). Evaluación de la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante. *Horizonte Médico (Lima)*, 15(1), 57-60. <https://doi.org/10.24265/horizmed.2015.v15n1.08>
- Gutiérrez, L., María, R., & Alvarado, J. (2011). Chemical composition of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and characteristics of their lipid fraction. *Directory of Open Access Journals (IJSR)*, 62(1), 76-83. <https://doi.org/10.3989/gya044510>
- Hermida, L., Gallardo, G., Gallardo, L., Vanina, G., & María, G. (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>
- Inec. (2016). *Cifras de biodiversidad en Ecuador* (pp. 4-5). Quito: INEC.
- Isaza, Y., Restrepo, D., & López, J. (2013). Márquez, G., & Holgado, F. (2018). Frying performance of olive-extracted oils. *Engineering and Technology*, 9(4), 28-46.

<https://web.p.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=c44c3217-eeb1-41ed-8986-eb9d97ae1aa2%40redis>

. *Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y Nutrición, Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, 69(3), 17-34. <https://doi.org/10.3989/gya.0219181>

Juscamaita Fabián, L., Pérez Salvatierra, T., Espinoza Silva, C., Quispe Solano, M., Hinostroza Quiñoneza, G., Flores Ramos, O., & Manyari Cervantes, G. (2017). Evaluación de la estabilidad de carotenoides y actividad antioxidante de la flor de mastuerzo (*tropaeolum majus* l.) En la microencapsulación por ncapsulación por spray-drying. 83(3), 12.

López, O., & Gómez, M. (2008). Preparación de microesfercespedesas mediante secado por aspersión. *Cubana Farm*, 42(3).

López Hernández, O. (2010). Microencapsulación de sustancias oleosas mediante secado por aspersión. *Revista Cubana de Farmacia*, 3(44), 381-389.

Márquez, G., & Holgado, F. (2018). Frying performance of olive-extracted oils. *Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y Nutrición, Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, 69(3), 17-34. <https://doi.org/10.3989/gya.0219181>

Mondragón, P. (2020). La espectroscopia FTIR-ATR aplicada al análisis de alimentos y bebidas. *Boletín De La Sociedad Española De Cerámica Y Vidrio*, 32(3), 200-234. https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_5f89fd7801268.pdf

Mondragón, R., Julia, J., Barba, A., & Jarque, J. (2013). El proceso de secado por atomización: formación de gránulos y cinética de secado de gotas. *Boletín De La Sociedad Española De Cerámica Y Vidrio*, 52(4), 159-168. <https://doi.org/10.3989/cyv.212013>

Moreno, J., López, G., & Siche, R. (2010). Modelación y optimización del proceso de extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*). *Scientia Agropecuaria*, 93(1), 147-154. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=357633695005>

Pastuña, A., López, O., Debut, A., Vaca, A., Rodríguez-Leyes, E., & Vicente, R. et al. (2016). Microencapsulación de aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) mediante secado por aspersión. *Revista Colombiana De Ciencias Químico-*

Farmacéuticas, 45(3), 422-437.

<https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v45n3.62029>

Pastuña-Pullutasig, A., López-Hernández, O., Debut, A., Vaca, A., Rodríguez-Leyes, E., Vicente, R., Gonzalez, V., González-Sanabria, M., & Tapia-Hernández, F. (2016). Microencapsulación de aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) mediante secado por aspersión. *Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm*, 45(3). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15446/rcciquifa.v45n3.62029>

Piedrahita, M., Alzate, F., Cortés, B., & Rojano, A. (2015). Estabilización oxidativa del aceite de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) con suspensiones de mortiño (*Vaccinium meridionale* SW). *Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*, 6(2), 141–154. <https://doi.org/10.19053/01217488.3784>

Pinto, P. (2022). Efecto de la temperatura e iluminación sobre el índice de estabilidad oxidativa del aceite de soya refinado comercial en la etapa de almacenamiento. *Universidad Nacional de Juliaca* 6(2), 65–71. <http://repositorio.unaj.edu.pe:8080/handle/UNAJ/216>

Pires, M., Amante, E., Lopes, A., Rodrigues, A., & Silva, L. (2019). Peach palm flour (*Bactris gasipae* KUNTH): potential application in the food industry. *Food Science And Technology*, 39(3), 613-619. <https://doi.org/10.1590/fst.34617>

Poma, E., Camones, M., Pardo, J., & Norabuena, E. (2015). Evaluación de la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante. *Horizonte Médico (Lima)*, 15(1), 57–60. <https://doi.org/10.24265/horizmed.2015.v15n1.08>

Ponce Fernández, N., Pollorena López, G., Rosas Domínguez, C., Carmina Osuna, S., & López Peñuelas, V. (2020). Efecto de la adición de cáscara y semilla deshidratada en la capacidad antioxidante de una pasta de tomate producida en Sinaloa. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 23(1), 6. <https://doi.org/https://www.scielo.org.mx/pdf/biotecnia/v23n1/1665-1456-biotecnia-23-01-135.pdf>

Pugliese, A., Cabassi, G., Chiavaro, E., Paciulli, M., Carini, E., & Mucchetti, G. (2017). Physical characterization of whole and skim dried milk powders .

- Journal of Food Science and Technology, 54(11), 3433–3442.
doi:10.1007/s13197-017-2795-1
- Pullutasig A., López O., Debut A., Vaca A. (2016). *Microencapsulación de aceite de sacha inchi (Plukenetia volubilis L.) mediante secado*. Ambato: Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm., Vol. 45(3), 422-437
- Radomski, R. (2013). *Determination of Organic phase diagrams by the DSC method*. 65, 509–510.
- Ramirez, R., Angulo, A., Olivero, J., & Santafé, G. (2013). Relación entre la composición química y la actividad antioxidante del aceite esencial de *Ocimum basilicum* L. cultivado bajo diferentes tratamientos de fertilizante. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 18(1) 47-56.
<https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-667490>
- Razola, M. del C., Guerra, E. J., García, B., & Verardo, V. (2021). Recent developments in extraction and encapsulation techniques of orange essential oil. *Food Chemistry*, 354(February).
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129575>
- Razuc, M., Natalini, P., Chanampa, L., González, A., Calcagno, A., Gallo, L., Ciencias, C., & Tecnología, Y. (2019). *TECNOLOGÍA FARMACÉUTICA DISEÑO Y PREPARACIÓN DE FORMULACIONES DISEÑO Y PREPARACIÓN DE FORMULACIONES* (UNS (ed.)). www.ediuns.com.ar
- Rivas, K., Rivas C., & Gamboa, L. (2015). Composición química y actividad antimicrobiana del aceite esencial de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Sistema de Información Científica Redalyc*, 15(3) 281-289.
- Rodenak, B. (2017). EUCALIPTOL (1,8-CINEOLE) INHIBE LA PROLIFERACIÓN DE CELULAS TUMORALES MEDIANTE ARRESTO DEL CICLO CELULAR, ESTRÉS OXIDATIVO, ACTIVACIÓN DE MAPKs E INHIBICIÓN DE AKT. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas*, 7(1), 1-1.
[1.http://revista.med.unlp.edu.ar/archivos/201710/abstract%20oct%202017%2039.pdf](http://revista.med.unlp.edu.ar/archivos/201710/abstract%20oct%202017%2039.pdf)

- Rodríguez, J., Faix, O., & Pereira, H. (1998). Rodríguez Rivera, V., & Simón Magro, E. (2008). Determination of Lignin Content of *Eucalyptus glotylus* Wood Using FTIR Spectroscopy. *Holzbrschung*, 52(1) 46-50 doi:10.1515/hfsg.1998.52.1.46
- Rodríguez Rivera, V., & Simón Magro, E. (2008). *Bases de la alimentación humana* (3rd ed., pp. 49-50). Netbiblo.
- Torrenegra-Alarcón, M., Granados-Conde, C., Durán-Lengua, M., León-Ménde, G., Yáñez-Rueda, X., Martínez, C., & Pájaro-Castro, N. (2016). Composición Química y Actividad Antibacteriana del Aceite Esencial de *Minthostachys mollis*. 6. <https://doi.org/http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v20n1/v20n1a08.pdf>
- Viada, E., Gómez, L., & Reyna, I. (2017). Estrés oxidativo. *Correo Científico Médico*, 1(21). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1560-43812017000100014.
- Wang, W., Keith Moore, J., Martiny, A., & Primeau, F. (2019). Convergent estimates of marine nitrogen. *Nature*, 60
- Yáñez, J., Porras, J., Alamilla, L., & Palacios, E. (2018). Chemical components distribution and morphology of microcapsules of paprika oleoresin by microscopy and spectroscopy. *Food Hydrocolloids*, 1(21). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.005>
- Zamora, J., (2007). Antioxidantes: micronutrientes en lucha por la salud. *Revista Chilena de Nutrición*, 34(1), Sociedad Chilena de Nutrición, Bromatología y Toxicología. Chile. Retrieved from: <http://redalyc.org/articulo.oa?id=46934102>

ANEXOS

ANEXO A

CERTIFICADOS

Figura 17 Certificado de los Análisis de perfil lipídico para el aceite fijo de sachá inchi



INFORME DE RESULTADOS INF.DIV-IN.02444a

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	AGROINDUSTRIAS SANPS
Dirección:	SAN ANTONIO DE PASA
Teléfono:	0869360186

DATOS DE LA MUESTRA

Muestra de:	ALIMENTO		
Descripción:	ACEITE DE SACHA INCHI MUESTRA 1		
Lote:	1	Contenido Declarado:	250ml
Fecha de Elaboración:	2022-04-12	Fecha de Vencimiento:	2024-04-12
Fecha de Recepción:	2022-04-18	Hora de Recepción:	16:32:01
Fecha de Análisis:	2022-04-20	Fecha de Emisión:	2022-04-25
Material de Envase:	Botella de vidrio.		
Toma de Muestra realizada por:	El Cliente.		
Observaciones:	Los resultados reportados en el presente informe se refieren a los datos y las muestras entregadas por el cliente a nuestro laboratorio.		

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Color:	Característico.	Olor:	Característico.
Estado:	Líquido.	Conservación:	Al Ambiente

RESULTADOS INSTRUMENTAL





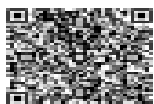
Tel: | email: informes@multianalityca.com

Desarrollado por RocioSoft con jsf: 1/3

RIN-4.1-06 / Edición RG: 03

****Perfil lipídico.**

PARAMETRO	COMPUESTO ANALIZADO	UNIDAD	RESULTADO	METODO
ÁCIDOS GRASOS SATURADOS	Acido Butírico (C4:0)	%	0.00	INTERNO: MIN-46 / REFERENCIA: AOAC 43.1 MODIFICADO CON DETECTOR DE IONIZACIÓN DE LLAMA (FID)
	Acido Caprílico (C6:0)	%	0.00	
	Acido Caprílico (C8:0)	%	0.00	
	Acido Cáprico (C10:0)	%	0.00	
	Acido Undecanoico (C11:0)	%	0.00	
	Acido Láurico (C12:0)	%	0.12	
	Acido Tridecanoico (C13:0)	%	0.00	
	Acido Mirístico (C14:0)	%	0.10	
	Acido Pentanoico (C15:0)	%	0.00	
	Acido Palmítico (C16:0)	%	3.99	
	Acido Heptanoico (C17:0)	%	0.00	
	Acido Estearico (C18:0)	%	0.90	
	Acido Araquídico (C20:0)	%	0.00	
	Acido Heneicosanoico (C21:0)	%	0.00	
Acido Behénico (C22:0)	%	0.00		
Acido Tricosanoico (C23:0)	%	0.00		
Acido Lignocénico (C24:0)	%	0.00		
Acido Miristoleico (C14:1)	%	0.00		
ÁCIDOS GRASOS INSATURADOS	Acido cis-5:0	%	0.00	
	Pentadecenoico (C15:1)	%	0.00	
	Acido Palmítoleico (C16:1)	%	0.00	
	Acido cis-5:0	%	0.00	
	Heptadecenoico (C17:1)	%	0.00	
	Acido Eláidico (C18:1n-9 trans)	%	0.00	
	Acido Oleico (C18:1n-7)	%	5.61	
	Acido Eicosenoico (C20:1n-7)	%	0.00	
	Acido Erúico (C22:1n-7)	%	0.00	
Acido Meronico (C24:1n-7)	%	0.00		
ÁCIDOS GRASOS POLINSATURADOS	Acido Linoleáidico (C18:2n-6)	%	0.00	
	Acido Linoleico (C18:2n-6cis) (Omega 6)	%	30.22	
	Acido gamma Linoléico (C18:3n-6) (Omega 6)	%	0.00	
	Acido Linoléico (C18:3n-3) (Omega 3)	%	58.63	
	Acido Eicosadienoico (C20:2n-6)	%	0.33	
	Acido Araquídico (C20:4n-6)	%	0.00	
	Acido Eicosapentanoico (C20:5n-3) EPA	%	0.10	
	Acido Docosadienoico (C22:2n-6)	%	0.00	
Acido Docosahexanoico (C22:6n-3) DHA	%	0.00		
ÁCIDOS SATURADOS		%	5.11	
ÁCIDOS MONOSATURADOS		%	5.61	
ÁCIDOS POLINSATURADOS		%	69.28	
ÁCIDOS GRASOS TRANS.		%	0.00	



Tel: / email: informes@multianalityca.com

Desarrollado por RocioSoft.com pág. 2/3

RIN-4.1-06 / Edición RG- 03

Figura 18 Certificado de la entrega de los aceites esenciales de eucalipto, limon y albacha asi como el aceite de sacha inchi por parte de la Empresa de D'SANPI



ANEXO B

DATOS OBTENIDOS PARA LOS INDICES DE HAUSNER Y CARR DE LOS MICROENCAPSULADOS

Tabla 3 Indices de Hausner y Carr para el microencapsulado del aceite de sacha inchi con el aceite esencial de limon

Análisis del índice de compresibilidad y fluidez de los microencapsulados										Promedio índice de Carr	Promedio índice de Hausner
Formulación	Valor					ρ asentamiento (g/cm ³)	ρ vertido (g/cm ³)	Índice de Hausner	Índice de Carr		
Sacha Inchi+Limon (microencapsulado)	Replica #1	Vo (ml)	6,8	masa (gramos)	3	0,653	0,441	1,478	47,826	42,227	1,422
		Vf (ml)	4,6			0,612	0,428	1,428	42,857		
	Replica #2	Vo (ml)	7			0,6	0,441	1,360	36		
		Vf (ml)	4,9								
	Replica #3	Vo (ml)	6,8								
		Vf (ml)	5								

Tabla 4 Indices de Hausner y Carr para el microencapsulado del aceite de sacha inchi con el aceite esencial de albahaca

Análisis del índice de compresibilidad y fluidez de los microencapsulados										Promedio índice de Carr	Promedio índice de Hausner
Formulación		Valor				ρ asentamiento (g/cm ³)	ρ vertido (g/cm ³)	Índice de Hausner	Índice de Carr		
Sacha Inchi+Albahaca (microencapsulado)	Replica #1	Vo (ml)	8,1	masa (gramos)	3	0,731	0,370	1,975	97,560	69,595	1,695
		Vf (ml)	4,1								
	Replica #2	Vo (ml)	7,9			0,612	0,379	1,612	61,224		
		Vf (ml)	4,9								
	Replica #3	Vo (ml)	7,8			0,576	0,384	1,5	50		
		Vf (ml)	5,2								

Tabla 5 Índices de Hausner y Carr para el microencapsulado del aceite de sacha inchi con el aceite esencial de limon

Análisis del índice de compresibilidad y fluidez de los microencapsulados										Promedio índice de Carr	Promedio índice de Hausner
Formulación		Valor				ρ asentamiento (g/cm ³)	ρ vertido (g/cm ³)	Índice de Hausner	Índice de Carr		
Sacha Inchi+Eucalipto (microencapsulado)	Replic a #1	Vo (ml)	8,2	Masa (gramos)	3	0,6	0,365	1,64	64	58,453	1,584
		Vf (ml)	5								
	Replic a #2	Vo (ml)	8			0,566	0,375	1,509	50,943		
		Vf (ml)	5,3								
	Replic a #3	Vo (ml)	7,7			0,625	0,389	1,604	60,416		
		Vf (ml)	4,8								

ANEXO C

DATOS OBTENIDOS DEL METODO DPPH PARA LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS MICROENCAPSULADOS

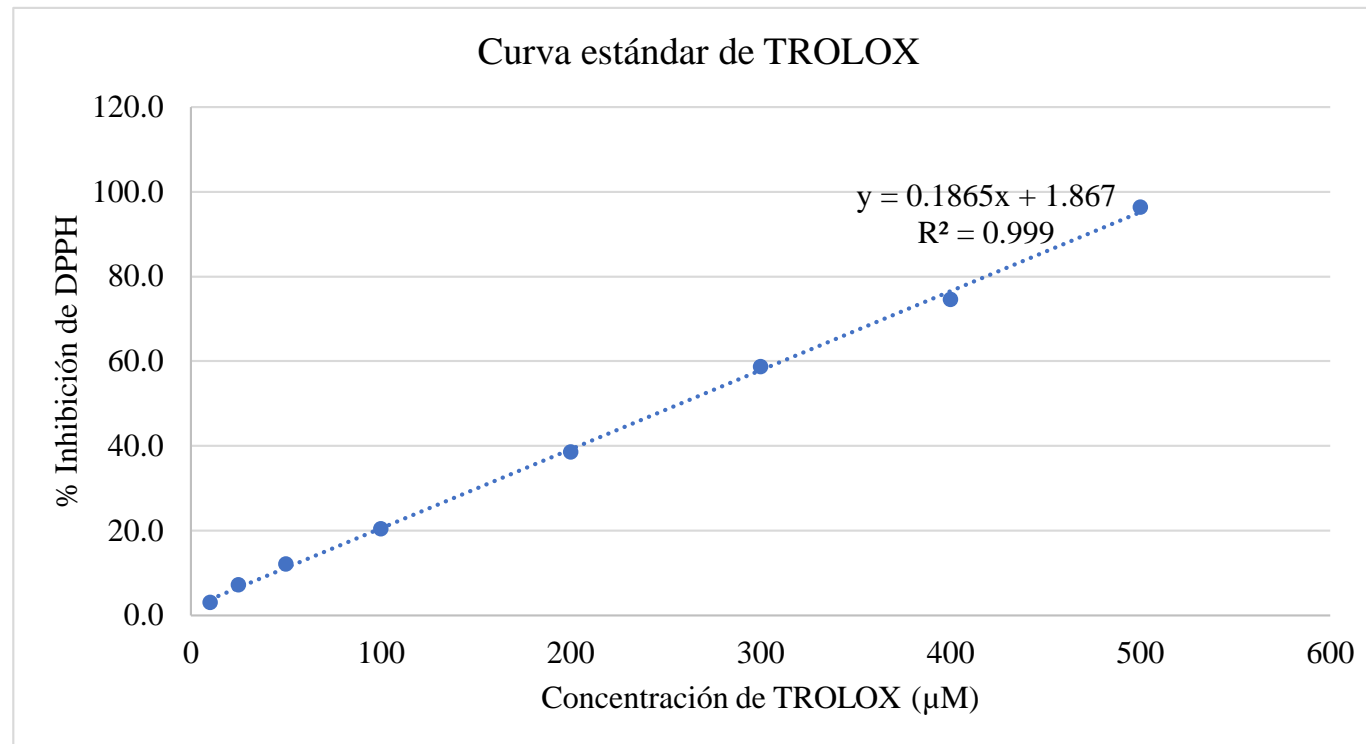


Figura 17 Curva de calibración estándar del reactivo TROLOX

Tabla 6 Resultados obtenidos para la prueba DPPH de los microencapsulados con un factor de disolución 1/200

Tratamientos	Abs	% Inhibición	Formulación	Factor Dilución	Media	µmol E. Trolox L-1	Media	Resultado multiplicado por el factor de difusión	Media
Replica #1	0,2883	59,28	Sacha Inchi+Albahaca (microencapsulado)	1/200	59,07	307,89	306,74	61578,87	61348,39
Replica #2	0,2912	58,80				305,32		61064,79	
Replica #3	0,2893	59,12				307,01		61401,57	
Replica #1	0,3411	50,56	Sacha Inchi+Eucalipto (microencapsulado)		50,84	261,09	262,63	52219,821	52527,06
Replica #2	0,3414	50,51				260,83		52166,645	
Replica #3	0,3356	51,47				265,97		53194,71	
Replica #1	0,2672	62,77	Sacha Inchi+Limon (microencapsulado)		62,80	326,59	326,74	65318,88	65348,42
Replica #2	0,2663	62,925				327,39		65478,41	
Replica #3	0,2676	62,71				326,23		65247,98	

Tabla 7 Resultados obtenidos para la prueba DPPH de los microencapsulados con un factor de disolución 1/250

Tratamientos	Abs	% Inhibición	Formulación	Factor Dilución	Media	µmol E. Trolox L-1	Media		
Replica #1	0,0888	92,264	Sacha Inchi+Albahaca (microencapsulado)	1/250	92,46	484,70	485,76		
Replica #2	0,0881	92,380				485,32			
Replica #3	0,0859	92,743				487,27			
Replica #1	0,1313	85,239	Sacha Inchi+Eucalipto (microencapsulado)		1/250	85,84	447,03	450,25	
Replica #2	0,1263	86,066					451,46		
Replica #3	0,1254	86,21487603					452,26743		
Replica #1	0,2267	69,47107438	Sacha Inchi+Limon (microencapsulado)			1/250	70,21488	362,48833	366,47655
Replica #2	0,2186	70,80991736						369,66712	
Replica #3	0,2213	70,36363636						367,27419	

Tabla 8 Resultados obtenidos para la prueba DPPH de los microencapsulados con un factor de disolución 1/300

Tratamientos	Abs	% Inhibición	Formulación	Factor Dilución	Media	µmol E. Trolox L-1	Media
Replica #1	0,0038	106,31	Sacha Inchi+Albahaca (microencapsulado)	1/300	106,51	560,03	561,13
Replica #2	0,0016	106,67				561,98	
Replica #3	0,0023	106,56				561,36	
Replica #1	0,0108	105,15	Sacha Inchi+Eucalipto (microencapsulado)		104,98	553,83	552,88
Replica #2	0,0121	104,94				552,681	
Replica #3	0,0127	104,84				552,15	
Replica #1	0,1726	78,41	Sacha Inchi+Limon (microencapsulado)		77,81	410,43	407,24
Replica #2	0,1801	77,17				403,78	
Replica #3	0,1759	77,86				407,510	

