



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

**Microencapsulación de aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.)
mediante secado por aspersion.**

Proyecto de Trabajo de Titulación, modalidad proyecto de investigación, previa la obtención del Título de Ingeniero Bioquímico, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

Autor: Alex Ricardo Pastuña Pullutasig.

Tutor: Orestes López Hernández Ph.D.

Ambato – Ecuador

Marzo 2016

Ph.D. 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.

Ambato, 6 de enero de 2016.




Orestes López Hernández, Ph.D

C.I. 1754784864
TUTOR

Declaración de autenticidad

Yo, Alex Ricardo Pastuña Pullutasig, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Proyecto de Investigación, previo la obtención del título de Ingeniero Bioquímico son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas.



Sr. Alex Ricardo Pastuña Pullutasig
C.I. 180453463-2
AUTOR

APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DE 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 de la Universidad Técnica de Ambato.

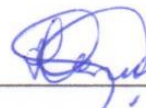
Para constancia firman:



Presidente del Tribunal



Lic. Mg. Yunys Pérez Betancourt
C.I. 175647274-0



Lic. Mg. Danae Fernández Rivero
C.I. 175718120-9

Ambato, 10 de Febrero de 2016

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto de Investigación 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 Proyecto, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Proyecto 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.



Sr. Alex Ricardo Pastuña Pullutasig
C.I. 180453463-2
AUTOR

*“No hay secretos para el éxito,
Éste se alcanza preparándose,
trabajando arduamente
y aprendiendo del fracaso”*

Colin Powell

**Un agradecimiento muy especial al Dr. Orestes López, por su apoyo,
constancia y ejemplo que permitió llevar acabo esta investigación.**

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PÁGINAS PRELIMINARES

Portada.....	I
Aprobación por el tutor.....	II
Declaración de autenticidad.....	III
Aprobación del tribunal de grado	IV
Derechos de Autor.....	V
Agradecimiento.....	VI

TEXTO

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1. Tema de la investigación.....	4
1.2. Justificación.....	4
1.3. Objetivos.....	5
1.3.1. Objetivo general	5
1.3.2. Objetivos específicos	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes investigativos	6
2.2. Hipótesis.....	8
2.2.1. Efecto de la temperatura de entrada y carga de aceite sobre el rendimiento y eficiencia del proceso de microencapsulación.	8
2.2.2 Comparación del aceite de sachá inchi antes y después del proceso de microencapsulación.	9

2.3. Señalamiento de variables de la hipótesis	9
--	---

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales	10
3.2. Métodos.....	10
3.2.1. Microencapsulación de aceite de sachá inchi.	10
3.2.2. Determinación de humedad del aceite de sachá inchi microencapsulado.....	10
3.2.3. Determinación de aceite superficial de las microcápsulas	11
3.2.4. Determinación de eficiencia de microencapsulación.....	11
3.2.5. Cromatografía de gases para el aceite de sachá inchi antes y después de la microencapsulación.	11
3.2.6. Espectroscopía infrarroja (IR).....	12
3.2.7. Evaluación de las microcápsulas por microscopía electrónica de barrido.....	12
3.2.8. Escalado del proceso de microencapsulación.....	12
3.3. Estadística	14

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. Análisis y discusión de los resultados	15
4.1. Resultados del proceso de microencapsulación mediante secado por aspersión.	15
4.1.1. Rendimiento y eficiencia de microencapsulación.	15
4.2. Caracterización físico-química de las microcápsulas del aceite de sachá Inchi.....	16
4.2.1. Análisis de humedad de las microcápsulas en función del tiempo.	16

4.2.2. Análisis del contenido de ácidos grasos mediante cromatografía de gases.	18
4.2.2.1. Contenido de ácidos grasos del aceite de sachá inchi.	18
4.2.3. Análisis espectroscópico del aceite de sachá inchi microencapsulado.	19
4.2.4. Morfología de las microcápsulas y distribución del tamaño de partícula.	21
4.3. Microencapsulación de aceite de sachá inchi mediante secado por aspersión a escala Industrial.	22
4.3.1. Análisis de rendimiento.	22
4.3.2. Eficiencia de microencapsulación (ME).	23
4.3.3. Caracterización físico-química del aceite microencapsulado a escala industrial.	24
4.4. Verificación de las hipótesis.	27
4.4.1. Efecto de la temperatura de entrada y carga de alimentación sobre el rendimiento y eficiencia del proceso de microencapsulación.	27
4.4.2. Comparación del aceite de sachá inchi antes y después del proceso de microencapsulación.	32

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.	34
5.2. Recomendaciones.	35

MATERIALES DE REFERENCIA

Referencias bibliográficas.	36
Anexos.	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I: Rendimiento y eficiencia de microencapsulación mediante secado por aspersión	15
Tabla II. Humedad de las Microcápsulas	16
Tabla III. Cuantificación de ácidos grasos del aceite de sachá inchi	18
Tabla IV. Comparación del contenido de ácidos grasos de aceite de sachá inchi	19
Tabla V. Resultados de rendimiento para la microencapsulación de aceite de sachá inchi a escala industrial.	23
Tabla VI. Eficiencia de Microencapsulación.....	24
Tabla VII. Humedad de las microcápsulas a escala industrial	24
Tabla VIII. Datos obtenidos para la curva de calibración de glucosa.....	25
Tabla IX. Resultados de absorbancia a 490 nm para el aceite microencapsulado en solución a diferentes concentraciones	26
Tabla X. Datos de rendimiento y eficiencia de microencapsulación a analizar	27
Tabla XI. Análisis de varianza para rendimiento	28
Tabla XII. Análisis de varianza para eficiencia de microencapsulación	30
Tabla XIII. Perfil de los principales ácidos grasos del aceite de sachá inchi antes y después de la microencapsulación	32
Tabla XIV. Pruebas de Múltiple Rangos para el contenido de ácidos grasos	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I. Incremento del contenido de humedad en función del tiempo.....	17
Figura II. Espectros infrarrojo obtenidos en un rango de 4000 cm ⁻¹ a 580 cm.....	20
Figura III. Microcápsulas de aceite de sachá inchi.....	21
Figura IV. Distribución del tamaño de partícula de las microcápsulas.	22
Figura V. Rendimiento de los tres lotes realizados a escala industrial.	23
Figura VI. Evaluación del contenido de Humedad.	25
Figura VII. Curva de calibración de glucosa por el método fenol-sulfúrico.....	26
Figura VIII. Diagrama de Pareto estandarizado para rendimiento	28
Figura IX. Efectos principales para rendimiento.....	29
Figura X. Superficie de respuesta estimada para rendimiento.	29
Figura XI. Diagrama de Pareto estandarizado para eficiencia de microencapsulación.	30
Figura XII. Efectos principales para eficiencia de microencapsulación.....	31
Figura XIII. Superficie de respuesta estimada para eficiencia de microencapsulación.	31
Figura XIV. Comparación del contenido de ácidos grasos en Statgraphics..	33

RESUMEN

Al emplear aceites con alto contenido de ácidos grasos insaturados, el problema más común es su rápida degradación al estar expuestos a diferentes condiciones ambientales, el método de microencapsulación mediante secado por aspersión garantiza la reducción de estos procesos degradativos y alarga el tiempo de vida útil de este tipo de aceites.

El objetivo de esta investigación fue microencapsular aceite de sachá inchi mediante secado por aspersión, con la finalidad de evitar las reacciones oxidativas de degradación, dado su alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, los mismos que presentan grandes beneficios para la salud.

Empleando un sistema maltodextrina-goma arábica en una misma proporción (1:1), se evaluó la temperatura de entrada y la carga de aceite, siendo 150 °C y 33 % las mejores condiciones durante el proceso de secado, obteniendo un rendimiento y eficiencia de microencapsulación de $82,10 \pm 0,99$ % y $93,90 \pm 0,56$ % respectivamente.

Mediante análisis físico-químicos, se evaluó la humedad del aceite de sachá inchi microencapsulado, manteniendo un contenido de humedad a las 26 semanas de $4,60 \pm 0,02$ %, aplicando cromatografía de gases se encontró que no existe variación en cuanto al perfil de ácidos grasos antes y después de la microencapsulación y mediante espectroscopía infrarroja se demostró que el aceite de sachá inchi se encuentra en el interior de las microcápsulas. La microscopía electrónica de barrido permitió observar que las microcápsulas presentan forma esférica con una superficie lisa y libre de poros, lo que evita la exposición directa del aceite con las diferentes condiciones ambientales, además se determinó una distribución promedio del tamaño de partícula de $60,36 \pm 14,41$ μm . Se demostró la reproducibilidad del proceso de microencapsulación de aceite de sachá inchi mediante secado por aspersión a escala industrial, alcanzándose un rendimiento superior al 70 % y una eficiencia de microencapsulación del $81,16 \pm 0,91$ %.

Palabras clave: Microencapsulación, secado por aspersión, sachá inchi.

ABSTRACT

When using oils rich in unsaturated fatty acids, the most common problem is their rapid degradation while exposed to different environmental conditions, the method of microencapsulation by spray drying aims to reduce these degradative processes and extend the lifespan of these type of oils.

The objective of this research was microencapsulated sachá inchi oil by spray drying, in order to prevent oxidative degradation reactions, given its high content of monounsaturated and polyunsaturated fatty acids, which present great health benefits.

Employing a maltodextrin-gum Arabic system in the same ratio (1: 1), the inlet temperature and the oil charge was evaluated, being 150 ° C and 33% the best conditions during the drying process, obtaining a performance and efficiency microencapsulation of $82.10 \pm 0.99\%$ and $93.90 \pm 0.56\%$ respectively.

By physicochemical analysis, the microencapsulated sachá inchi oil moisture was evaluated, keeping a moisture content at 26 weeks of $4.60 \pm 0.02\%$, applying gas chromatography there is no variation in the acid profile fatty before and after microencapsulation was found. Through infrared spectroscopy it was shown that sachá inchi oil is inserted into the core of the microcapsules. The electron microscopy scanning allowed to observe that the microcapsules have a spherical shape with a smooth surface and free of pores which prevent direct contact of the oil with different ambient conditions, in addition an average particle size distribution was determined from 60.36 ± 14.41 microns.

The reproducibility for the process of Sachá inchi oil microencapsulation was demonstrated through spray drying at an industrial scale while maintaining the principle of similarity to the laboratory scale process, obtaining a performance higher than 70% and an efficiency of microencapsulation of $81.16 \pm 0.91\%$.

INTRODUCCIÓN

La Amazonía ecuatoriana engloba la mayor biodiversidad de especies vegetales a nivel mundial, entre las que destaca por ejemplo el cacao, el caucho, la yuca, etc., que son explotadas por el hombre tanto en la industria alimenticia y farmacéutica **(Krivankova et al., 2008)**. En la actualidad existen nuevas especies vegetales, que generan interés debido a su alto valor nutricional como es el caso de Sacha inchi **(Wu Jin et al., 2015)**.

Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.), es una planta tipo arbusto trepador, crece a una altitud de entre 100 a 1.500 m.s.n.m. **(Follegatti et al., 2009)**, es conocida comúnmente como maní del inca, es originaria de la selva peruana ya que se estima que fue empleada por la civilización Inca hace 3000 años, hoy en día es encontrada en la selva montañosa de Colombia y Ecuador en esta última se ha evidenciado un crecimiento progresivo de estos cultivos. Sacha inchi presenta cápsulas tetra lobulares, que contienen 4 semillas de un diámetro de alrededor de 2 cm. **(Krivankova et al., 2008)**.

Las semillas de Sacha Inchi presentan un contenido de proteína del 33%, y un contenido lipídico del 54% **(Follegatti et al., 2009)**, del cual un 50,8% 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 et al., 2011)**, su contenido de ácidos grasos saturados es relativamente bajo de alrededor del 6% **(Pulevasalud, 2008)**.

El aceite de sachá inchi presenta un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs), vitaminas liposolubles como la A y E, y antioxidantes **(Guillén et al., 2003)**. Este tipo de ácidos grasos poliinsaturados contrarrestan enfermedades cardiovasculares, es por eso que el aceite de sachá inchi presenta gran interés para las industrias alimenticias y farmacéuticas a nivel mundial.

El aceite de sachá inchi al poseer altos niveles de ácidos grasos poliinsaturados, presenta una elevada susceptibilidad al daño oxidativo, generando productos de carácter primario como peróxidos y productos

secundarios como por ejemplo aldehídos, lo que reduce su valor nutricional y provoca el rechazo por los consumidores (**Coello, 2015**), es por eso que se buscan formas de conservarlo y evitar las reacciones de oxidación que se producen. Existen métodos químicos y físicos que evitan la oxidación de los ácidos grasos poliinsaturados, entre los métodos químicos se encuentra la adición de agentes antioxidantes cuya función es evitar la formación de subproductos de carácter tóxico debido a la degradación de los ácidos grasos poliinsaturados, vitaminas y β -carotenos, para estos procesos intervienen agentes químicos y naturales, siendo los más llamativos los de carácter natural pero implican un alto costo dentro de las industrias. Existen también métodos físicos que impiden la oxidación al evitar el contacto de las sustancias bioactivas con el oxígeno, dentro de estos se encuentran los procesos de microencapsulación que llaman mucho la atención por su bajo costo y fácil implementación en procesos industriales.

El proceso de microencapsulación permite que diversas sustancias bioactivas sean enmascaradas por un sistema de carácter polimérico, con el fin de protegerlo e impedir su degradación. La microencapsulación se considera como un método de empaque a micro escala, en la que un material específico puede ser recubierto de forma individual para preservarlo de manera segura por más tiempo (**Garmendia et al., 2011; Gutiérrez et al., 2011**). La pared de la microcapsula es un medio que permite envasar, aislar y almacenar materiales a nivel microscópico para su posterior liberación bajo condiciones pre-establecidas. Los materiales encapsulantes o formadores de pared más empleados en microencapsulación son: carbohidratos, gomas, lípidos y proteínas.

Existen varios métodos de microencapsulación en la actualidad, entre estos destaca la liofilización, el secado mediante lecho fluidizado, por extrusión, por coacervación, atrapamiento por liposomas, por inclusión molecular y mediante secado por aspersion (**Kaushik et al., 2014; Heinzelmann et al., 2000**), siendo esta última una de las tecnologías más empleadas en la industria farmacéutica y alimenticia, por ser económica, permitir su producción a escala y generar un producto de calidad (**Arshady, 1993**).

El secado por aspersión es comúnmente usado para microencapsular grasas y aceites, lo que implica la formación de una emulsión junto con sus componentes que forman la pared de la microcapsula, esta mezcla alimenta al secador por aspersión para su atomización, lo que permite la formación de gotas de tamaño micrométrico que por deshidratación forman las microcápsulas **(Beristain, 2001)**.

La microencapsulación de aceite de sachá inchi mediante secado por aspersión, permite obtener productos ricos en ácidos grasos poliinsaturados y de mayor duración, generando alimentos que presentan beneficios fisiológicos para mejorar la salud y directamente los problemas cardiovasculares **(Barberán, 2010)**.

Dada la necesidad de conservar, extender la vida útil y evitar la degradación parcial o total del aceite de sachá inchi, la presente investigación pretende evaluar la microencapsulación de este aceite, mediante secado por aspersión, empleando como pared encapsulante una mezcla de maltodextrina y goma arábica, con la finalidad de conservar las características y propiedades originales del aceite por más tiempo.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Tema de la investigación

MICROENCAPSULACIÓN DE ACEITE DE SACHA INCHI (*Plukenetia volubilis* L.) MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN.

1.2. Justificación

Las enfermedades cardiovasculares son una de las principales causas de muerte en Ecuador, los ácidos grasos poliinsaturados omega 3, omega 6 y omega 9 (monoinsaturado) combaten este tipo de enfermedades, por lo que son de gran interés para la industria farmacéutica y alimenticia.

El aceite de sacha inchi se caracteriza por poseer elevados niveles de ácidos grasos insaturados (80.7%), omega 3, omega 6 y omega 9, además de vitaminas y β -carotenos, lo que causa gran interés para las industrias, sin embargo, su dificultad para conservarlo e incluirlo en ciertos productos limita su uso. Este tipo de ácidos grasos contenidos en el aceite de sacha inchi tienden a degradarse con facilidad al entrar en contacto con el oxígeno, generando reacciones de oxidación, por lo que causa dificultad añadirlos a diferentes alimentos en la dieta diaria y son poco aprovechados por el ser humano, es por eso que se buscan nuevas formas de conservarlos y evitar su degradación.

La microencapsulación mediante secado por aspersion es una técnica que permite el enmascaramiento de diversas sustancias bioactivas a nivel micro por una pared polimérica, esto permite conservar las características originales de las sustancias bioactivas por más tiempo.

La microencapsulación de ácidos grasos poliinsaturados 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.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

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

1.3.2. Objetivos específicos

- Estudiar el proceso de microencapsulación mediante secado por aspersión del aceite de Sacha Inchi.
- Caracterizar fisicoquímicamente el aceite de Sacha Inchi microencapsulado.
- Escalar el proceso de microencapsulación del aceite de Sacha Inchi.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes investigativos

La encapsulación es una técnica en la cual sustancias bioactivas son recubiertas por una pared polimérica con propiedades hidrofóbicas y/o hidrofílicas (**Fuchs et al., 2006**). La encapsulación se inicia de forma comercial entre 1930 y 1940 por la empresa National Cash Register (NCR), al desarrollar un tinte, empleando como material encapsulante gelatina (**Yáñez et al., 2002**), entre los años 50 se inician investigaciones dentro del área farmacéutica de la Universidad de Wisconsin (Estados Unidos) (**Ré, 2000**). Dentro de este proceso se emplea también el término microencapsulación que es más utilizado en las industrias alimenticias, farmacéuticas, químicas, etc., al encapsular cantidades mínimas o sustancias de bajo peso molecular (**Yáñez et al., 2002**).

Uno de los procesos más empleados en la actualidad es la microencapsulación mediante secado por aspersión. El proceso de secado por aspersión ha ido creciendo a través del tiempo, los primeros trabajos realizados datan del año 1933 por el danés Niro quién desarrolló un secador por aspersión para el procesamiento de leche (**Masters, 1991**). Los trabajos realizados sobre microencapsulación mediante secado por aspersión son muchos en la actualidad, debido a que su aplicación es muy amplia, entre los productos que se pueden microencapsular se encuentran aceites, vitaminas, minerales, microorganismos, enzimas, etc. (**Tamez y Gómez, 2003**).

La microencapsulación de aceites que contienen ácidos grasos insaturados mediante secado por aspersión, es una tecnología de mucho interés en el sector alimenticio, debido a que incrementa la vida útil de los aceites y previene su degradación, por lo que se han realizado diversas investigaciones. Esta tecnología se empleó para la microencapsulación de aceite de pescado, merluza refinado, que presenta un elevado contenido de ácido linolénico (omega-3) (27%), el contenido de aceite total después del

proceso de microencapsulación se mantuvo entre el 33-38%, y se alcanzó un tamaño de partícula entre 10-100 μm . Mediante cromatografía de gases se analizó el aceite microencapsulado, obteniendo como resultado la no existencia de variabilidad con respecto al aceite de pescado sin microencapsular, esto demostró que la microencapsulación mediante secado por aspersion evita la oxidación de los ácidos grasos insaturados (**Hermida et al., 2002**).

El Centro de Investigación y Desarrollo de Medicamentos (CIDEM) de Cuba, realizó un estudio sobre la microencapsulación de aceite de semillas de *Cucurbita pepo* L., debido al alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados que esta presenta, este proceso fue desarrollado mediante secado por aspersion, empleando como agente encapsulante una mezcla de maltodextrina y goma arábica, con la aplicación de microscopía electrónica se estableció que las microcápsulas obtenidas presentaron una forma esférica con una superficie lisa, compacta y libre de poros, lo que evita el contacto con el oxígeno e impide el inicio de los procesos oxidativos del aceite, además se determinó un tamaño promedio de partícula de 34,28 μm . Se evaluó la eficiencia de microencapsulación y se alcanzó un resultado mayor al 80% (**López et al., 2009**).

Los estudios e investigaciones sobre microencapsulación mediante secado por aspersion se centran más en aceites con gran contenido de ácidos grasos poliinsaturados que son muy propensos a degradarse y generar reacciones de oxidación, uno de los aceites que llama mucho la atención en la actualidad es el aceite de semillas de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.), del cual un 50,8% 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 et al., 2011**).

La Escuela de Ingeniería en Alimentos de la Universidad Peruana Unión y el Departamento de Agricultura, Alimentación y Ciencias Nutricionales de la Universidad de Alberta, realizaron una investigación sobre microencapsulación de aceite de sacha inchi mediante secado por aspersion empleando como material encapsulante zein (proteína extraída del maíz), se

evaluó el rendimiento y eficiencia de microencapsulación obteniendo como mejores resultados 92,73% y $90,41 \pm 0,74\%$ respectivamente. El tamaño, forma y superficie de las microcápsulas, se evaluó mediante microscopía electrónica de barrido, lo que permitió evidenciar microcápsulas libres de grietas o poros, con superficie lisa y que alcanzaron un tamaño de partícula de 22,63 μm , estos resultados son característicos de un proceso de microencapsulación mediante secado por aspersión **(Quispe & Saldaña, 2011)**.

A pesar de existir estudios realizadas sobre microencapsulación de aceite de sachá 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.

2.2. Hipótesis

2.2.1. Efecto de la temperatura de entrada y carga de aceite sobre el rendimiento y eficiencia del proceso de microencapsulación.

Hipótesis Nula

La temperatura de entrada y carga de aceite no afectan el rendimiento y la eficiencia de microencapsulación.

Hipótesis Alternativa

La temperatura de entrada y carga de aceite afectan el rendimiento y la eficiencia de microencapsulación.

2.2.2 Comparación del aceite de sachá inchi antes y después del proceso de microencapsulación.

Hipótesis Nula

El aceite de sachá inchi no presenta diferencia significativa en el contenido de ácidos grasos después del proceso de microencapsulación.

Hipótesis Alternativa

El aceite de sachá inchi presenta diferencia significativa en el contenido de ácidos grasos después del proceso de microencapsulación.

2.3. Señalamiento de variables de la hipótesis

Evaluación del rendimiento y eficiencia de microencapsulación del aceite de sachá inchi

- Formación de emulsiones tipo aceite-agua (O/W) a secar por aspersion.
- Evaluación de la temperatura de entrada.
- Evaluación de la carga de aceite incorporada a la mezcla.

Análisis del efecto del proceso de microencapsulación sobre la variabilidad del aceite de sachá inchi.

- Contenido de ácidos grasos del aceite de sachá inchi antes y después de la microencapsulación.
- Saponificación del aceite de sachá inchi y evaluación por cromatografía de gases.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

Aceite de Sacha Inchi (Isabru botanic, Ecuador), Goma Arábica (Roig Farma, España), Maltodextrina (Roig Farma, España), Hexano (Mallinckrodt, U.S.A.)
Ácido sulfúrico (Lobamachine, India), Fenol (Reagent, A.C.S., U.S.A.), Glucosa (Hysel, India).

3.2. Métodos

3.2.1. Microencapsulación de aceite de sachá inchi.

Para la microencapsulación se empleó como agente encapsulante una mezcla de goma arábica (GA) y maltodextrina (MD) en proporción 1:1, se incorporó 3,5 partes de agua destilada con respecto a cada parte de polímeros, se llevó la mezcla a agitación con ayuda de un agitador mecánico (IKA, Alemania), luego se incorporó el aceite para formar la emulsión. La emulsión tipo aceite agua (o/w) fue llevada al secador por aspersion (LDR 5 Lab, China), donde se evaluó la temperatura de entrada a 150 °C y 170 °C y la carga de aceite incorporada a la mezcla del 33 % y 50 %, con la finalidad de alcanzar un rendimiento y una eficiencia de microencapsulación elevada.

3.2.2. Determinación de humedad del aceite de sachá inchi microencapsulado.

La humedad fue evaluada tomando 5 g de aceite de sachá inchi microencapsulado y llevándolo a una balanza de humedad, las mediciones se las realizó a las 0 semanas, 11 semanas, 15 semanas y 26 semanas empleando una balanza de humedad (Citizen, U.S.A.), cada medición fue realizada por triplicado.

3.2.3. Determinación de aceite superficial de las microcápsulas

Mediante el método Soxhlet (**AOAC, 1990**), se determinó la cantidad de aceite superficial de las microcápsulas se utilizó un equipo soxhlet (IVA, Argentina), en el cual se colocó 5 g de muestra microencapsulada en un capuchón de papel filtro, se pesó previamente el balón vacío, una vez armado el equipo, se sometió a reflujo con hexano P.A. (Merk, Alemania) (temperatura de ebullición de 61 °C) durante un tiempo de 3 horas, posteriormente se evaporó el hexano del balón contenedor, empleando un rota evaporador (EYELA, China), se llevó el balón a una estufa (VWR, USA) a 110 °C por 3 horas y se dejó enfriar en un desecador (Pyrex, USA), se tomó el peso del balón en una balanza analítica (Mettler Toledo, Switzerland) y se calculó el porcentaje de aceite superficial por diferencia de pesos entre el balón vacío y el balón con la cantidad de aceite extraído.

3.2.4. Determinación de eficiencia de microencapsulación.

La eficiencia de microencapsulación (ME) se calculó empleando la siguiente expresión (**López et al., 2009**):

$$ME = \frac{\%Aceite\ total - \%Aceite\ extraido}{\%Aceite\ total} * 100 \quad [Ec. 1]$$

3.2.5. Cromatografía de gases para el aceite de sachá inchi antes y después de la microencapsulación.

Las muestras de aceite de sachá inchi antes y después de la microencapsulación fueron analizadas en el Centro de Productos Naturales del Centro Nacional de Investigaciones científicas de Cuba, mediante la saponificación del aceite de sachá inchi fueron liberados los ácidos grasos para la formación de ésteres metílicos, los mismos que fueron separados por cromatografía de gases y cuantificados por número de dobles enlaces en grupos de igual número de carbonos.

3.2.6. Espectroscopía infrarroja (IR).

La espectroscopía infrarroja se la realizó en la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Facultad de ciencias, empleando un espectrofotómetro infrarrojo (JASCO FT/IR-4100, España), la obtención de los espectros con la ayuda de este equipo fueron para la mezcla polimérica, para el aceite de sachá inchi microencapsulado y sin microencapsular, se empleó una pequeña cantidad de las mismas, se colocaron en la placa porta muestras del equipo, luego se cerró el equipo y mediante el software Spectra Analysis se obtuvieron los espectros para su posterior análisis.

3.2.7. Evaluación de las microcápsulas por microscopía electrónica de barrido.

Mediante microscopía electrónica de barrido se estimó el tamaño de partícula de las microcápsulas, su forma y superficie, en el Laboratorio de Biotecnología, Facultad de Ciencias Exactas, Escuela Superior Politécnica del Ejército (Quito), se empleó un microscopio electrónico de barrido (TESCAN, Alemania), la preparación de la muestra a analizar inició con la fijación de una pequeña cantidad sobre una placa porta muestras metálica (1 cm de diámetro), luego se llevó la placa con la muestra fijada a un metalizador al vacío (Q150R, United Kingdom) para recubrirla con oro a 20 nm de espesor, una vez lista la muestra, fue llevada al microscopio electrónico para su visualización y evaluación.

3.2.8. Escalado del proceso de microencapsulación.

3.2.8.1. Microencapsulación de aceite de sachá inchi a escala industrial.

La reproducibilidad del proceso de microencapsulación de aceite de sachá inchi mediante secado por aspersion a escala industrial, se la realizó utilizando la temperatura de entrada y carga de aceite incorporada, que generaron el mejor rendimiento y eficiencia de microencapsulación en los estudios previos

a escala de laboratorio, se empleó un spray dryer (LPG-100, China), de capacidad de evaporación de 100 kg/batch, se mantuvo el criterio de potencia por unidad de volumen (**Junker, 2004**) para formar la emulsión empleando como polímeros maltodextrina y goma arábica.

3.2.8.2. Evaluación de humedad

Se evaluó la humedad del aceite de sachá inchi microencapsulado obtenido del proceso industrial a las 0 semanas y 4 semanas, empleando 5 g de muestra en una balanza de humedad.

3.2.8.3. Determinación de eficiencia de microencapsulación.

La eficiencia de microencapsulación a escala industrial fue determinada empleando la misma metodología realizada a escala de laboratorio (Ítem 3.2.3. y 3.2.4.).

3.2.8.4. Cuantificación de carbohidratos totales.

Se evaluó la cantidad de carbohidratos totales del aceite de sachá inchi microencapsulado, empleando el método fenol-sulfúrico (**Dubois, 1956**). Para este método se elaboró una curva de calibración de glucosa, para lo cual fue necesario obtener una solución de glucosa de concentración 1% (p/v), de esta se realizaron diluciones a 0,02 mg/L, 0,04 mg/L, 0,08 mg/L y 0,1 mg/L posterior a esto se tomó 0,5 ml de estas soluciones en tubos de ensayo con tapa rosca se añadió 0,5 ml de solución de fenol al 5% y 2,5 ml de ácido sulfúrico concentrado (98%), se llevó a agitación por un minuto en un vórtex (Mixer, Reino Unido), se dejó reaccionar y se midió la absorbancia a 490 nm en un espectro fotómetro U.V. (HACH, U.S.A.), con los datos obtenidos se elaboró la curva de calibración. Para la muestra microencapsulada, se elaboró una dilución 1% (p/v), de esta se obtuvieron diluciones de concentración a 0,1 mg/L, 0,25 mg/L y 0,5 mg/L, luego se realizó el mismo procedimiento establecido que para la curva de calibración de glucosa, con los resultados

obtenidos se determinó el contenido de carbohidratos totales por cada 100 g de aceite microencapsulado.

3.3. Estadística

Empleando el software Statgraphics Centurion XVI.I, se realizó el análisis estadístico mediante un diseño experimental 2^2 , para evaluar la temperatura de entrada y carga, según los resultados de rendimiento y eficiencia obtenidos. Se realizó una comparación de muestras de los resultados obtenidos mediante cromatografía de gases para determinar si existe diferencia significativa entre el contenido de ácidos grasos antes y después de la microencapsulación.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. Análisis y discusión de los resultados

4.1. Resultados del proceso de microencapsulación mediante secado por aspersión.

4.1.1. Rendimiento y eficiencia de microencapsulación.

Las emulsiones formadas por maltodextrina, goma arábica, tuvieron una variación en cuanto a la carga de aceite incorporada a la mezcla y la temperatura de entrada. Atreves de la Tabla I se muestran los resultados obtenidos después del secado de las emulsiones:

Tabla I: Rendimiento y eficiencia de microencapsulación mediante secado por aspersión

Tratamientos	Carga %	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de salida (°C)	Rendimiento %	Eficiencia (ME) %
M1	33	150	90	82,10 ± 0,99	93,90 ± 0,56
M2	33	170	90	72,90 ± 2,26	93,65 ± 1,20
M3	50	150	90	62,65 ± 0,21	76,05 ± 0,35
M4	50	170	90	56,95 ± 2,19	73,90 ± 1,98

Los resultados de la microencapsulación, muestran que el tratamiento M1 genera el mayor rendimiento y la mejor eficiencia dentro del proceso, donde se empleó una carga del 33% y una temperatura de entrada de 150 °C, alcanzando un rendimiento del 82,10 ± 0,99% y una eficiencia del 93,90 ± 0,56%, valores aceptables dentro de esta investigación, cabe recalcar que para la determinación del rendimiento obtenido no se considera la cantidad de agua incorporada en la mezcla, ya que se evapora y se elimina por completo durante el secado de las emulsiones.

En cuanto a eficiencia de microencapsulación, un resultado similar fue obtenido en una investigación sobre microencapsulación de aceite de semillas

de *Cucurbita pepo* L., en el cual se empleó una carga del 33 %, como material encapsulante una mezcla de maltodextrina y goma arábica, la eficiencia de microencapsulación obtenida fue mayor al 90 %, siendo esta semejante a la registrada en la presente investigación. **López et al., 2009**, realizó un estudio sobre microencapsulación de ácido fólico empleando como pared encapsulante una mezcla de maltodextrina y goma arábica en diferente proporción, se reportaron valores en cuanto a eficiencia superiores al 90 %, resultados acordes a esta investigación realizada, esto demuestra que el método de microencapsulación mediante secado por aspersion, genera un elevado porcentaje en cuanto a eficiencia de microencapsulación (**López y Gómez, 2008**).

4.2. Caracterización físico-química de las microcápsulas del aceite de sachá inchi.

4.2.1. Análisis de humedad de las microcápsulas en función del tiempo.

La caracterización físico-química de las microcápsulas se realizó únicamente para el tratamiento que registró el mayor rendimiento. El aceite microencapsulado se conservó en un lugar seco a temperatura ambiente (20 °C). La evaluación de humedad de las microcápsulas, mostró un incremento en función del tiempo (Tabla II), se evaluó la humedad a las 0, 11, 15 y 26 semanas.

Tabla II. Humedad de las Microcápsulas

Semana	% Humedad
0	1,39 ± 0,06
11	2,89 ± 0,01
15	3,42 ± 0,06
26	4,60 ± 0,02

La humedad fue evaluada después del proceso de secado, registrando un valor de 1,39 ± 0,06 %, este resultado es similar a un estudio realizado para

secado por aspersión de aceite de aguacate con maltodextrina y goma arábica en proporción 1:1 a una temperatura de entrada de 150 °C (Cuaspué, 2015), condiciones iguales a las evaluadas en este estudio, el valor de humedad reportado es de $1,42 \pm 0,12$ %, lo que indica una humedad favorable del producto microencapsulado obtenido. La evaluación de humedad de las microcápsulas en función del tiempo en este estudio, muestra un ligero incremento (Figura I), pero se mantiene bajo el límite permisible, el cual se establece para productos en polvo menor al 10%. El contenido de humedad representa un factor de gran importancia para la conservación de productos secos, ya que a menor contenido de humedad mayor es el tiempo de vida útil de un producto (Huntington, 2004).

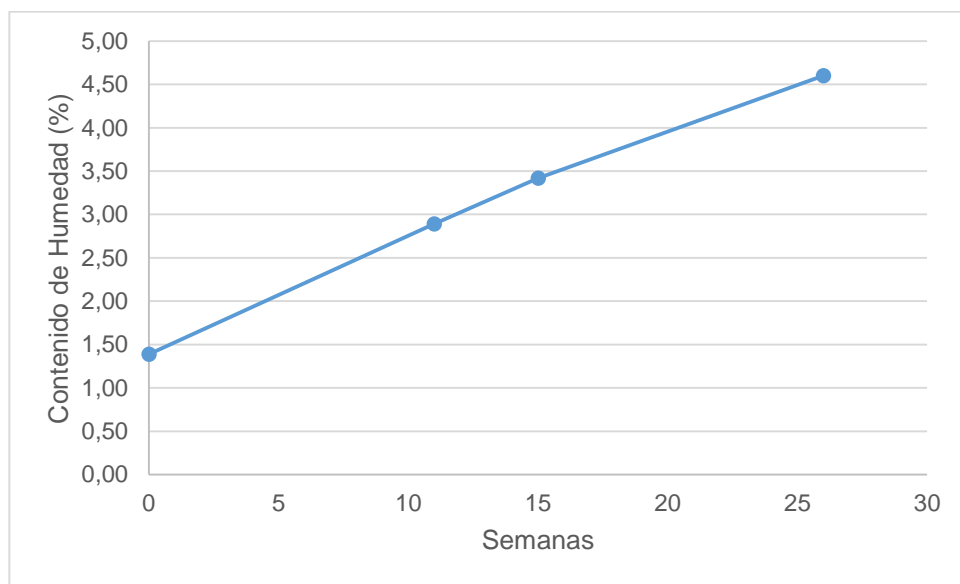


Figura I. Incremento del contenido de humedad en función del tiempo. Aumento comparativo del contenido de humedad del aceite microencapsulado a diferentes semanas (0, 11, 15, 26), para evaluar su estabilidad a temperatura ambiente (20 °C).

4.2.2. Análisis del contenido de ácidos grasos mediante cromatografía de gases.

4.2.2.1. Contenido de ácidos grasos del aceite de sachá inchi.

Mediante cromatografía de gases se cuantificó el contenido de ácidos grasos del aceite de sachá inchi, estos resultados se los puede evidenciar en la siguiente tabla (Tabla III):

Tabla III. Cuantificación de ácidos grasos del aceite de sachá inchi

Ácidos Grasos	Aceite de Sachá Inchi (%)
Ácido Pentadecílico (C15:0)	0,13 ± 0,058
Ácido Palmítico (C16:0)	3,93 ± 0,231
Ácido Palmitoleico (C16:1)	0,07 ± 0,046
Ácido Margárico (C17:0)	0,10 ± 0,000
Ácido Esteárico (C18:0)	2,67 ± 0,058
Ácido Oleico (C18:1)	8,93 ± 0,115
Ácido Linoleico (C18:2)	35,47 ± 0,551
Ácido Linolénico (C18:3)	45,87 ± 0,666
Ácido Arachídico (C20:0)	0,40 ± 0,000
Ácido Gadoleico (C20:1)	0,20 ± 0,000

El aceite de sachá inchi llama mucho la atención por su alto contenido de ácidos grasos insaturados como son el ácido linolénico (Omega 3), ácido linoleico (Omega 6) y ácido oleico (Omega 9) los resultados obtenidos en esta investigación fueron $45,87 \pm 0,666$, $35,47 \pm 0,551$ y $8,93 \pm 0,115$ % respectivamente, seguidos del ácido palmítico con 3,93 % y el ácido esteárico con 2,67%, estos fueron los ácidos grasos saturados con mayor relevancia. Estos ácidos grasos son los más representativos dentro del análisis. En la siguiente tabla (Tabla IV) se muestra una comparación del contenido de ácidos grasos en el aceite de sachá inchi con otras investigaciones:

Tabla IV. Comparación del contenido de ácidos grasos de aceite de sachá inchi

Ácidos Grasos	Esta Investigación	Quispe & Saldaña [2011]	Castaño <i>et al.</i> [2012]
Palmítico (C16:0)	3,93	4,08	3,60
Esteárico (C18:0)	2,67	2,96	2,90
Oleico (C18:1)	8,93	10,45	8,50
Linoleico (C18:2)	35,47	35,34	33,90
Linolénico (C18:3)	45,87	46,92	50,20
Saturados	6,60	7,04	6,50
Mono insaturados	8,93	10,45	8,50
Poliinsaturados	81,34	82,26	84,10
Total	96,87	99,75	99,10

Otros estudios (**Quispe & Saldaña, 2011; Castaño *et al.*, 2012**) demuestran que el aceite de sachá inchi al igual que en esta investigación, presenta un alto contenido de ácidos grasos insaturados.

4.2.3. Análisis espectroscópico del aceite de sachá inchi microencapsulado.

A un rango espectral de 4000 cm^{-1} a 580 cm^{-1} , fue analizado el aceite de sachá inchi microencapsulado, el aceite sin microencapsular y la mezcla polimérica. Los espectros infrarrojos obtenidos (Figura II) muestran que el aceite microencapsulado y la mezcla polimérica carecen de las bandas presentes en el espectro de aceite sin microencapsular, cuyas bandas son características de los grupos funcionales pertenecientes a los ácidos grasos. Las bandas pertenecientes al grupo carboxilo característico de los ácidos grasos encontradas entre 3007,44 y 2846,42 cm^{-1} , y entre 1741,41 y 1366,32 cm^{-1} , se encuentran minimizadas en el espectro obtenido del aceite microencapsulado y en total ausencia en el espectro de la mezcla polimérica, con lo que se determina que el aceite es enmascarado por la mezcla polimérica mediante secado por aspersión, lo que demuestra la efectividad del proceso de microencapsulación.

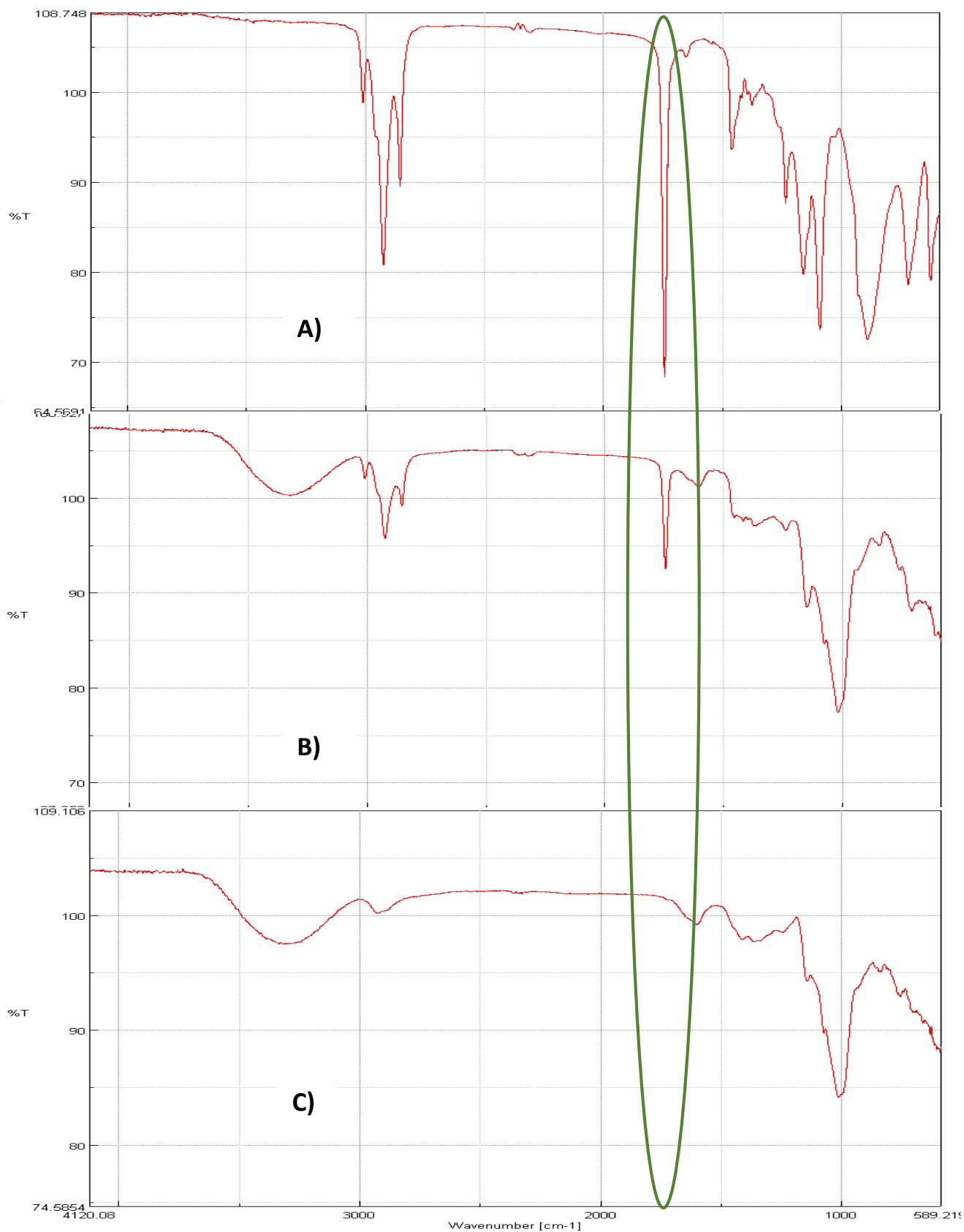


Figura II. Espectros infrarrojo obtenidos en un rango de 4000 cm⁻¹ a 580 cm.
 Comparación de los espectros infrarrojos correspondientes a: A) Aceite de Sacha Inchi, B) Aceite Microencapsulado, C) Mezcla Polimérica

4.2.4. Morfología de las microcápsulas y distribución del tamaño de partícula.

Mediante microscopía electrónica de barrido se analizó la forma y superficie de las microcápsulas de aceite de sachá inchi (Figura III), logrando observar la formación de microcápsulas esféricas de diferente tamaño, además de obtener una superficie lisa, compacta y libre de poros que evita el contacto directo del aceite con el oxígeno, previniendo así su degradación y alargando su tiempo de vida útil.

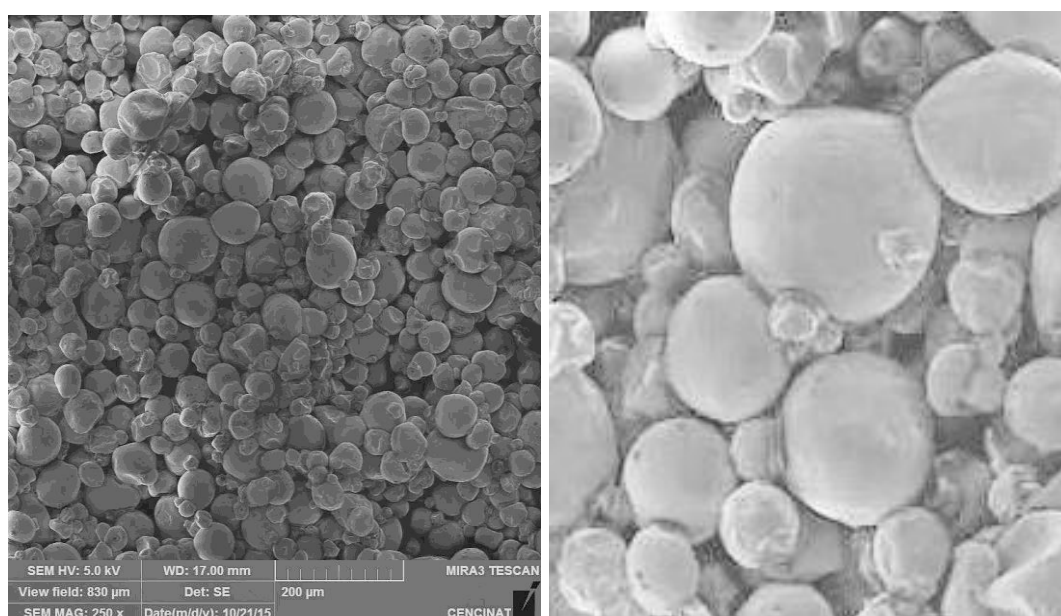


Figura III. Microcápsulas de aceite de sachá inchi. Evaluación de la forma y superficie de las microcápsulas de aceite obtenidas mediante secado por aspersión, por microscopía electrónica de barrido (SEM).

La microscopía electrónica de barrido permitió evaluar la distribución del tamaño de partículas de las microcápsulas (Figura IV), obteniendo una media de $60,36 \pm 14,41 \mu\text{m}$, con tamaños que van desde 29,06 hasta 84 μm , tamaños adecuados para este método de microencapsulación, ya que **Villena et al., 2009**, menciona que los tamaños de partícula deben ser menores a 100 μm . Un estudio realizado por **Quispe & Saldaña, 2011**, para microencapsular aceite de sachá inchi empleando zein como pared encapsulante, registró un tamaño de partícula de 22,63 μm , además las microcápsulas presentaron una forma esférica con superficie lisa y libre de

porosidad, otro estudio realizado por **López et al., 2009**, para la microencapsulación de aceite de semillas de *Cucurbita pepo* L. mostró una distribución del tamaño de partícula promedio de 34,28 μm , una superficie libre de poros y una forma esférica, los datos registrados en ambos estudios permiten establecer que los resultados para las microcápsulas obtenidas en esta investigación son favorables.

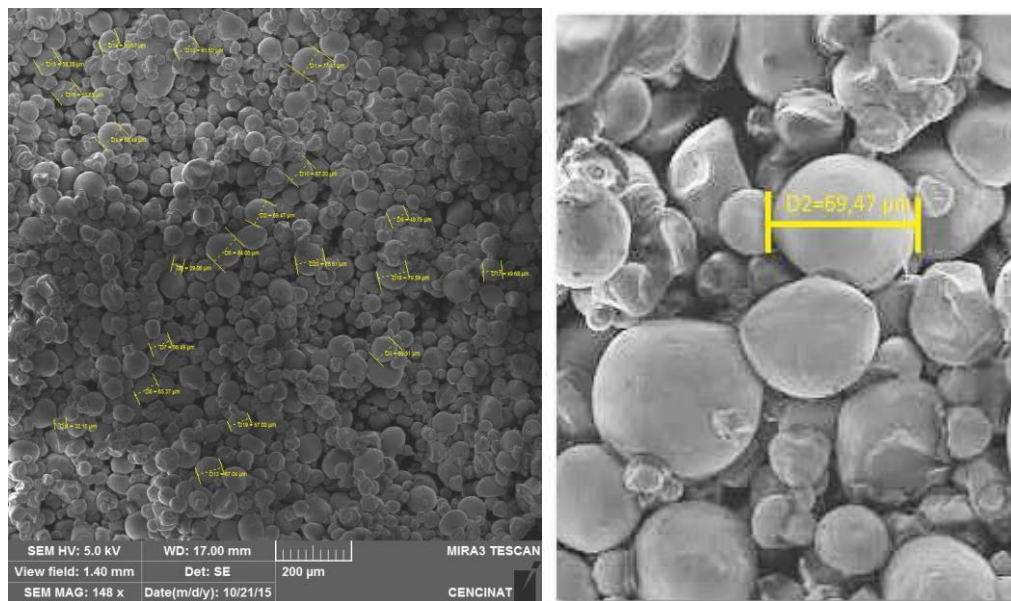


Figura IV. Distribución del tamaño de partícula de las microcápsulas. Medición del diámetro de las microcápsulas mediante microscopía electrónica de barrido.

4.3. Microencapsulación de aceite de sachá inchi mediante secado por aspersión a escala Industrial

4.3.1. Análisis de rendimiento

Se llevó a cabo la reproducibilidad del proceso de microencapsulación de aceite de sachá inchi mediante secado por aspersión a escala industrial, empleando las mismas condiciones que generaron el mayor rendimiento a escala de laboratorio, como lo fueron la temperatura de entrada y salida de 150 y 90 °C respectivamente, una carga del 33 % de aceite y una mezcla de maltodextrina y goma arábiga en proporción 1:1, se realizaron tres lotes y se determinó el rendimiento, estos resultados se los puede observar en la Tabla

y Figura V, donde se muestra un rendimiento superior al 70 %, categorizado como óptimo a escala industrial.

Tabla V. Resultados de rendimiento para la microencapsulación de aceite de sachá inchi a escala industrial.

Lote	Carga (%)	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de salida (°C)	Rendimiento (%)
1	33	150	90	74,17
2	33	150	90	76,00
3	32	150	90	71,17

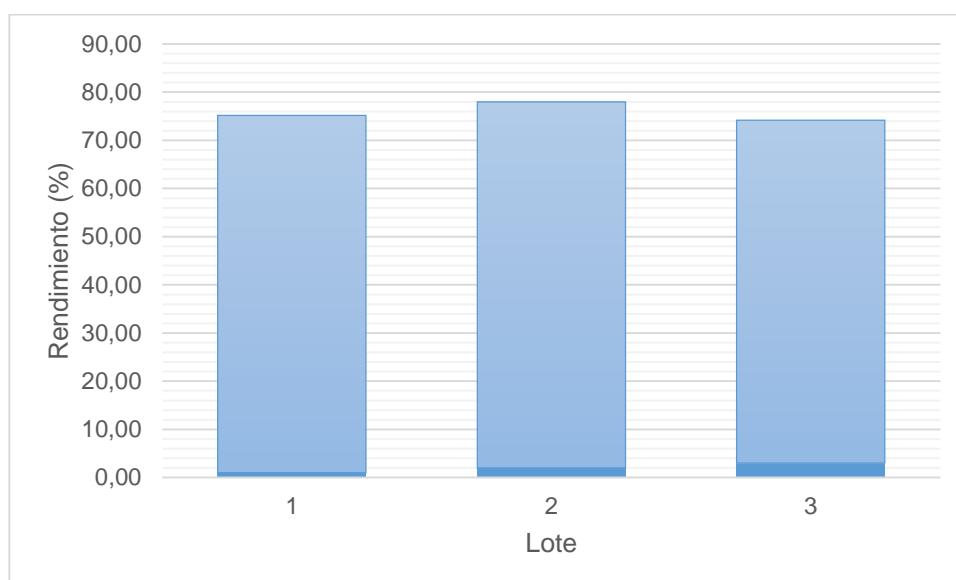


Figura V. Rendimiento de los tres lotes realizados a escala industrial. Evaluación del rendimiento de aceite microencapsulado a escala industrial, bajo las mismas condiciones evaluadas a nivel de laboratorio (Temperatura de entrada 150 °C, Temperatura de salida 90 °C, Carga 33%, maltodextrina y goma arábica proporción 1:1).

4.3.2. Eficiencia de microencapsulación (ME)

La eficiencia de microencapsulación (ME) a escala industrial, se puede evidenciar en la Tabla VI.

Tabla VI. Eficiencia de Microencapsulación

MD:GA:ACEITE	Aceite Libre %	Aceite Total %	ME %
1:1:1	6,28 ± 0,25	33,33 ± 0,07	81,16 ± 0,91

A escala industrial se obtuvo una eficiencia de microencapsulación superior al 80 %, resultado óptimo generado con las condiciones preestablecidas a escala de laboratorio, manteniendo así el principio de similaridad.

4.3.3. Caracterización físico-química del aceite microencapsulado a escala industrial.

4.3.3.1. Evaluación de humedad.

Se evaluó la humedad del aceite microencapsulado a escala industrial obteniendo los resultados que se muestran en la tabla VII:

Tabla VII. Humedad de las microcápsulas a escala industrial

Semana	% Humedad
0	5,127
4	5,539
6	5,876

La humedad de las microcápsulas se mantuvo bajo el límite establecido para productos secos (**Huntington, 2004**) al igual que las obtenidas a escala de laboratorio, mostrando un ligero incremento en función del tiempo (Figura VI).

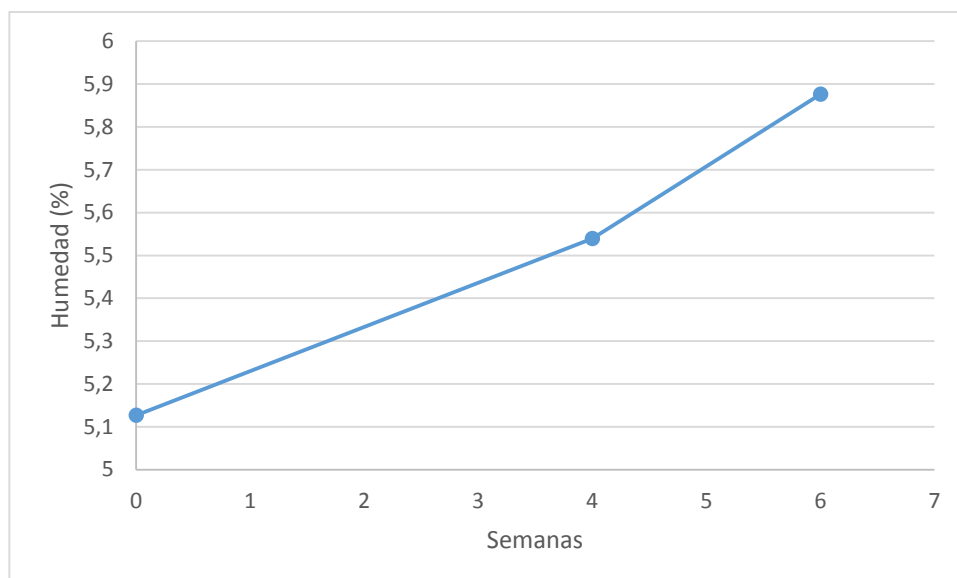


Figura VI. Evaluación del contenido de Humedad. Humedad de las microcápsulas obtenidas a escala industrial en función del tiempo (0, 4, 6 Semanas).

4.3.3.2. Determinación del contenido de carbohidratos totales.

El método fenol-sulfúrico permitió determinar el contenido de carbohidratos totales del aceite microencapsulado, para lo cual se elaboró una curva de calibración de glucosa mostrado a continuación (Tabla VIII y Figura VII):

Tabla VIII. Datos obtenidos para la curva de calibración de glucosa

Concentración (mg/L)	Abs. (490 nm)
0,00	0,000 ± 0,000
0,02	0,186 ± 0,010
0,04	0,426 ± 0,011
0,06	0,635 ± 0,098
0,08	0,850 ± 0,033
0,10	1,053 ± 0,021

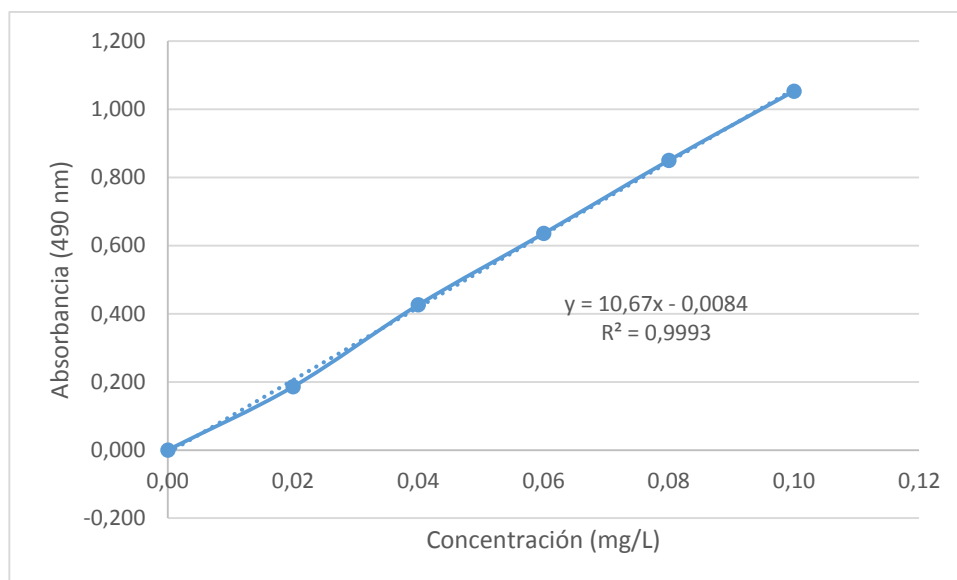


Figura VII. Curva de calibración de glucosa por el método fenol-sulfúrico. Obtención de la curva de calibración de glucosa y ecuación para determinar el contenido de carbohidratos totales del aceite microencapsulado.

Los resultados de absorbancia en el espectrofotómetro a 490 nm para la muestra de aceite microencapsulado en solución a concentración 0,1; 0,25 y 0,5 generaron los siguientes resultados (Tabla IX):

Tabla IX. Resultados de absorbancia a 490 nm para el aceite microencapsulado en solución a diferentes concentraciones

Concentración (mg/L)	Absorbancia (490 nm)
0,10	0,549 ± 0,031
0,25	1,270 ± 0,005
0,50	2,132 ± 0,045

Empleando la ecuación obtenida en la curva de calibración por el método fenol-sulfúrico se calculó el contenido de carbohidratos totales del aceite microencapsulado:

$$Y = 10,67X - 0,0084 \quad [\text{Ec. 2}]$$

$$\text{Absorbancia} = 10,67 [\text{Concentración}] - 0,0084$$

De los resultados de absorbancia obtenidos para el aceite microencapsulado, se empleó el valor registrado dentro de la curva de calibración de glucosa que perteneció a la concentración 0,10 mg/L, la cual registró una absorbancia de $0,549 \pm 0,031$. El contenido de carbohidratos totales cuantificado por cada 100 g de aceite microencapsulado fue de 52,23 g, debido a que se empleó maltodextrina y goma arábica como pared encapsulante, estos presentan un contenido de carbohidratos de 94,5 g y 90 % respectivamente (**CIMPA, 2015 y Randall et al., 1988**), por lo que al ingresar en un 33,3 % cada uno a la emulsión, generan un contenido de carbohidratos totales en el aceite microencapsulado del 52,23 %.

4.4. Verificación de las hipótesis.

4.4.1. Efecto de la temperatura de entrada y carga de alimentación sobre el rendimiento y eficiencia del proceso de microencapsulación.

Hipótesis Nula

La temperatura de entrada y carga de aceite no afectan el rendimiento y la eficiencia de microencapsulación.

Hipótesis Alternativa

La temperatura de entrada y carga de aceite afectan el rendimiento y la eficiencia de microencapsulación.

Tabla X. Datos de rendimiento y eficiencia de microencapsulación a analizar

Tratamientos	Carga %	Temperatura de entrada (°C)	Rendimiento		Eficiencia (ME)	
			% R1	% R2	% R1	% R2
M1	33	150	81,4	82,8	93,5	94,3
M2	33	170	71,3	74,5	92,8	94,5
M3	50	150	62,5	62,8	75,8	76,3
M4	50	170	58,5	55,4	72,5	75,3

Mediante un diseño 2², se analizaron los datos obtenidos después del secado de las emulsiones (Tabla X) para determinar el efecto que provoca la temperatura de entrada y carga de aceite sobre el proceso de microencapsulación.

Tabla XI. Análisis de varianza para rendimiento

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Carga	626,580	1	626,580	178,26	0,0009
B:Temperatura E.	111,005	1	111,005	31,58	0,0111
AB	6,125	1	6,125	1,74	0,2785
Bloques	0,405	1	0,405	0,12	0,7567
Error total	10,545	3	3,515		
Total	754,660	7			

La tabla ANOVA para rendimiento (Tabla XI) evalúa la variabilidad de cada uno de los efectos. En este caso los dos efectos tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95 %, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se establece que la temperatura de entrada y carga de aceite de sachá inchi afectan significativamente el rendimiento de microencapsulación.

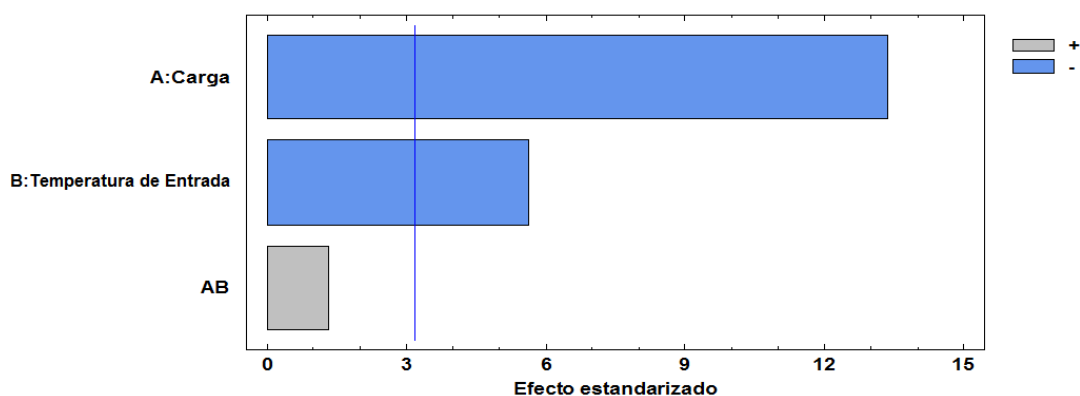


Figura VIII. Diagrama de Pareto estandarizado para rendimiento. Efecto que ejerce la carga de aceite y la temperatura de entrada, sobre el rendimiento.

La carga de aceite incorporada y la temperatura de entrada en el proceso de microencapsulación registran un valor-P menor a 0,05 (línea vertical en el diagrama de Pareto) por lo que representan un efecto independiente y significativo sobre el rendimiento de microencapsulación y los dos en combinación no causan efecto (Figura VIII). Al incrementar la carga de aceite y la temperatura de entrada el rendimiento tiende a disminuir (Figura IX) y se ve optimizado al 33 % y a 150 °C generando los resultados más altos (Figura x).

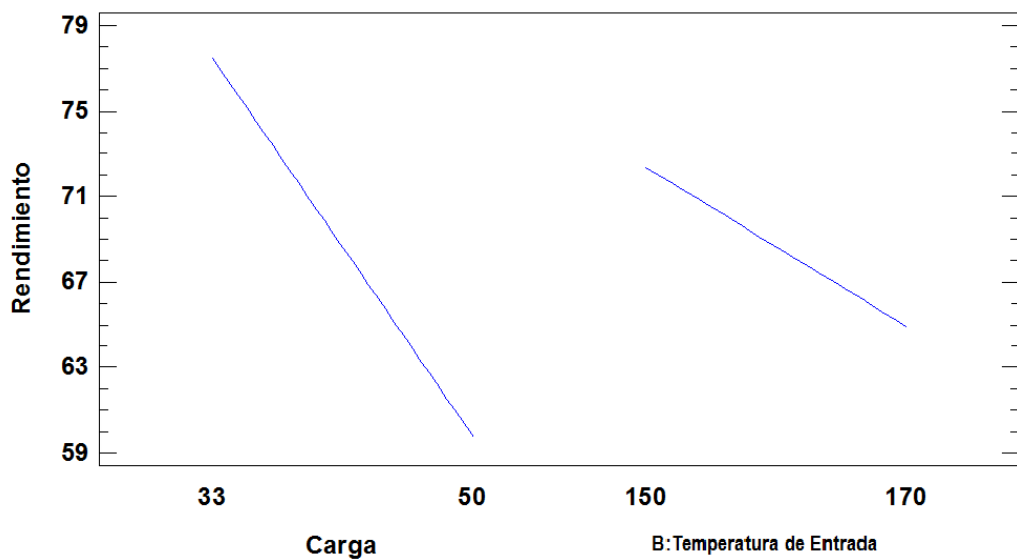


Figura IX. Efectos principales para rendimiento. Evaluación del efecto ejercido por la carga y la temperatura de entrada para el rendimiento del proceso de microencapsulación.

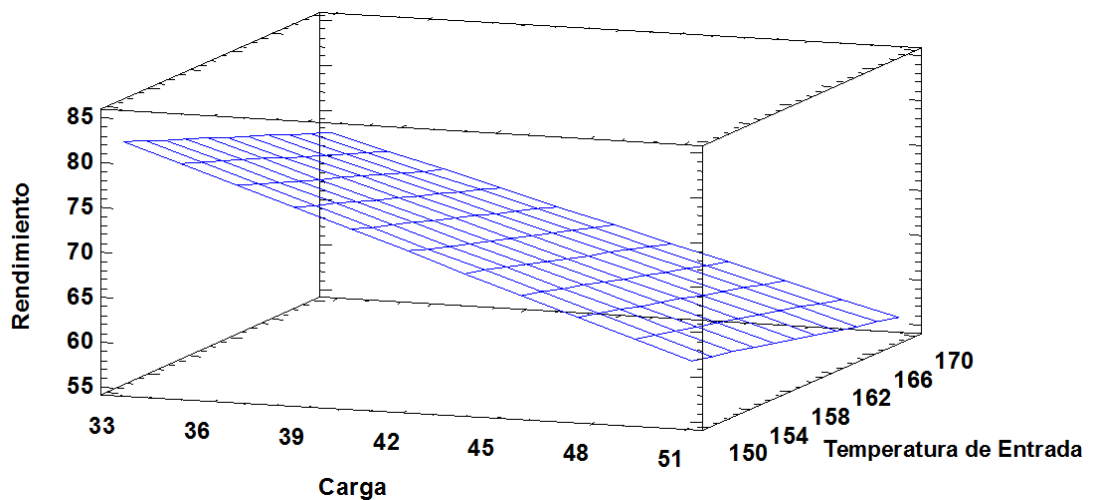


Figura X. Superficie de respuesta estimada para rendimiento. Resultados obtenidos del efecto de carga y temperatura de entrada para rendimiento de microencapsulación.

Tabla XII. Análisis de varianza para eficiencia de microencapsulación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Carga	706,88	1	706,88	1321,27	0,0000
B:Temperatura E.	2,88	1	2,88	5,38	0,1031
AB	1,805	1	1,805	3,37	0,1636
Bloques	4,205	1	4,205	7,86	0,0677
Error total	1,605	3	0,535		
Total	717,375	7			

La tabla ANOVA para eficiencia de microencapsulación (Tabla XII) evalúa la variabilidad de cada uno de los efectos. En este caso la carga de aceite obtuvo un valor-P menor que 0,05, indicando que es significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95 %, mientras que la temperatura de entrada y los dos en combinación presenta un valor-P mayor a 0,05, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se establece que la carga de aceite de sachá inchi afecta significativamente la eficiencia de microencapsulación.

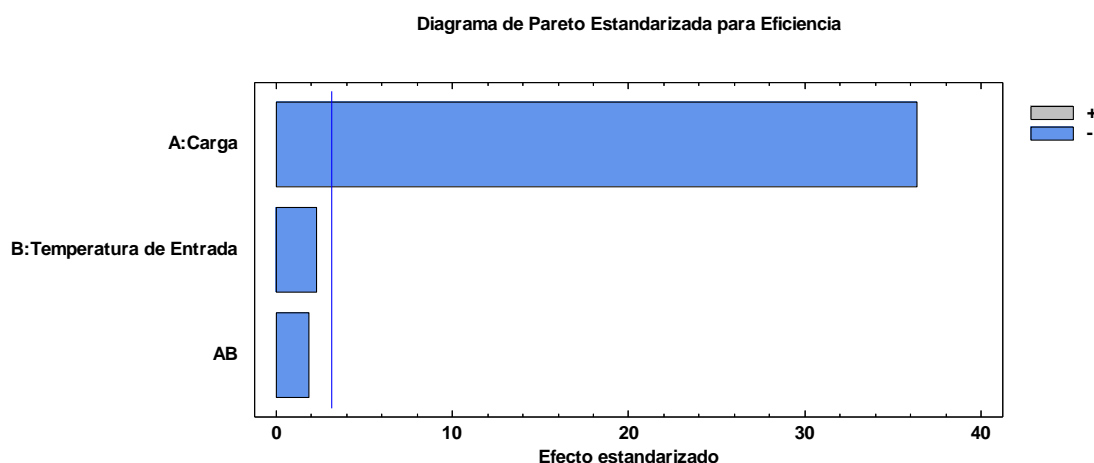


Figura XI. Diagrama de Pareto estandarizado para eficiencia de microencapsulación. Efecto que ejerce la carga de aceite y la temperatura de entrada, sobre la eficiencia de microencapsulación.

La carga de aceite incorporada registra un valor-P menor a 0,05 (línea vertical en el diagrama de Pareto) por lo que representan un efecto independiente y significativo sobre la eficiencia de microencapsulación mientras la temperatura

de entrada y las dos en combinación no generan ningún efecto (Figura XI). Al incrementar la carga de aceite la eficiencia tiende a disminuir y al incrementarse la temperatura de entrada la eficiencia no registra un efecto significativo (Figura XII) pero el proceso se ve optimizado al 33 % y a 150 °C (Figura XIII).

Gráfica de Efectos Principales para Eficiencia

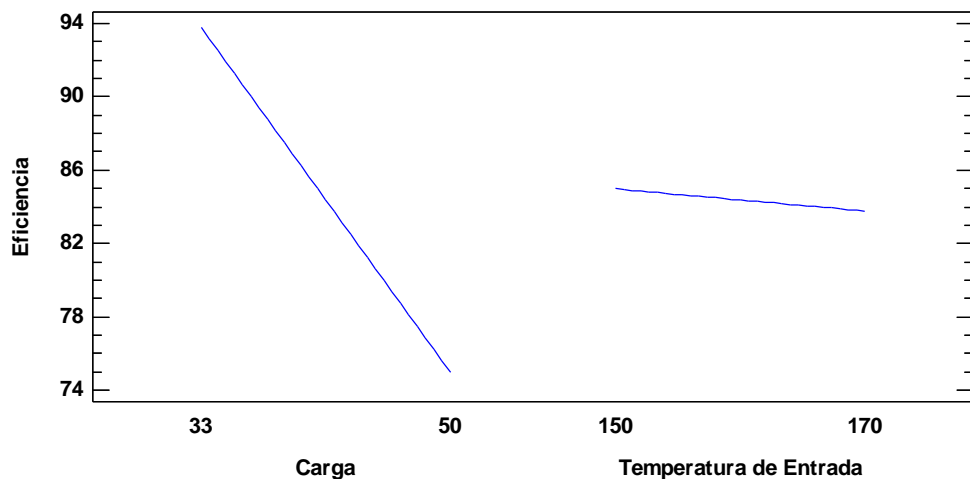


Figura XII. Efectos principales para eficiencia de microencapsulación. Evaluación del efecto ejercido por la carga y la temperatura de entrada para la eficiencia del proceso de microencapsulación.

Superficie de Respuesta Estimada

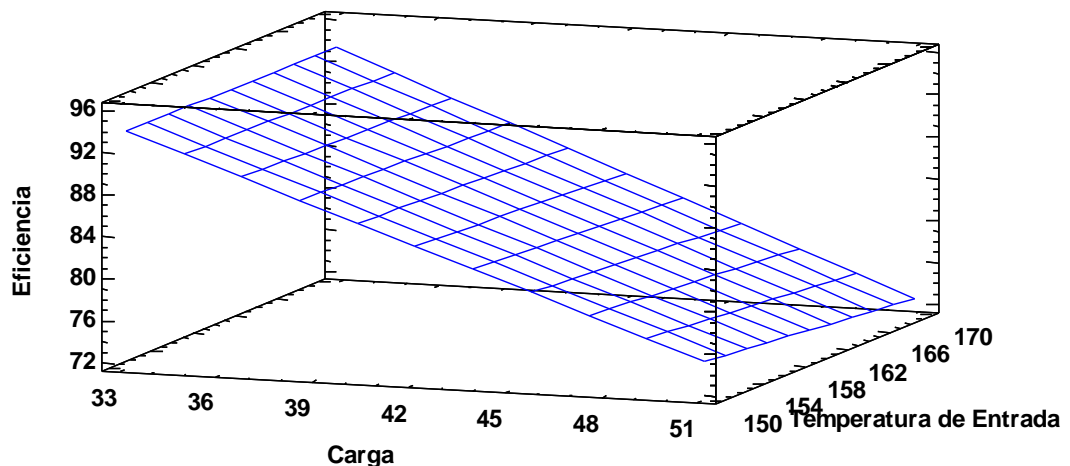


Figura XIII. Superficie de respuesta estimada para eficiencia de microencapsulación. Resultados obtenidos del efecto de carga y temperatura de entrada para eficiencia de microencapsulación.

4.4.2. Comparación del aceite de sachá inchi antes y después del proceso de microencapsulación.

Hipótesis Nula

El aceite de sachá inchi no presenta diferencia significativa en el contenido de ácidos grasos después del proceso de microencapsulación.

Hipótesis Alternativa

El aceite de sachá inchi presenta diferencia significativa en el contenido de ácidos grasos después del proceso de microencapsulación.

Aplicando un análisis de comparación de muestras en Statgraphics se evaluó el aceite de sachá inchi microencapsulado y sin microencapsular. Se reportan los resultados de la cuantificación del contenido de ácidos grasos mediante cromatografía de gases para el aceite microencapsulado y sin microencapsular (Tabla XI):

Tabla XIII. Perfil de los principales ácidos grasos del aceite de sachá inchi antes y después de la microencapsulación

Ácidos Grasos	Aceite sin microencapsular (%)	Aceite Microencapsulado (%)
C16:0	3,93 ± 0,231	3,84 ± 0,000
C18:0	2,67 ± 0,058	2,97 ± 0,000
C18:1	8,93 ± 0,115	8,90 ± 0,173
C18:2	35,47 ± 0,551	35,70 ± 0,340
C18:3	45,87 ± 0,666	45,13 ± 0,217

El análisis de comparación de muestras se realizó para los ácidos grasos contenidos en mayor porcentaje en el aceite de sachá inchi, como son: ácido linolénico, ácido linoleico, ácido oleico, ácido palmítico y ácido esteárico.

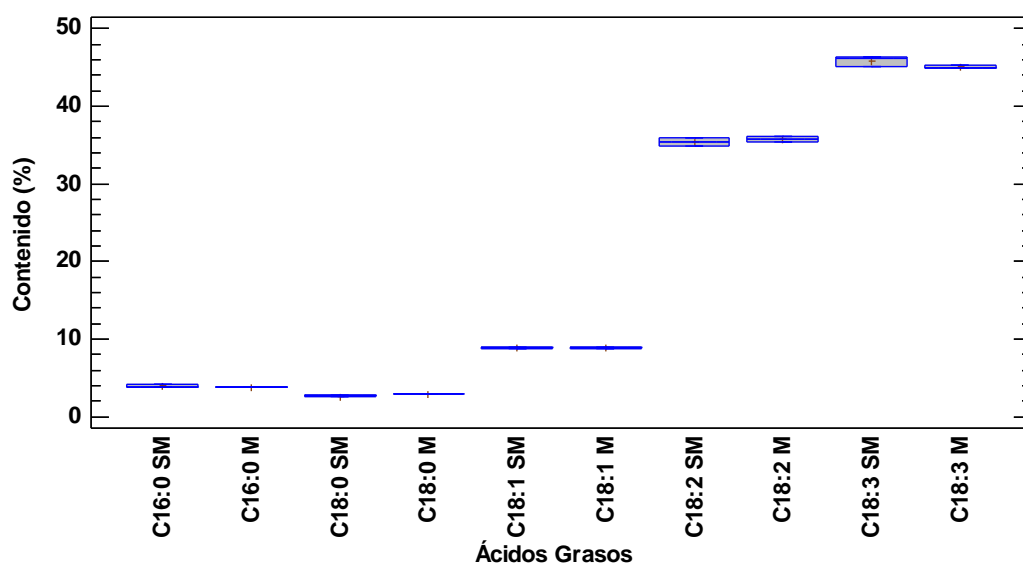


Figura XIV. Comparación del contenido de ácidos grasos en Statgraphics. Contenido (%) de ácidos grasos para el aceite sin microencapsular y para el aceite microencapsulado.

Tabla XIV. Pruebas de Múltiple Rangos para el contenido de ácidos grasos

Ácidos Grasos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
C18:0 SM	3	2,66	X
C18:0 M	3	2,97	X
C16:0 M	3	3,84	X
C16:0 SM	3	3,93	X
C18:1 M	3	8,90	X
C18:1 SM	3	8,93	X
C18:2 SM	3	35,46	X
C18:2 M	3	35,70	X
C18:3 M	3	45,12	X
C18:3 SM	3	45,86	X

Los resultados del contenido de ácidos grasos del aceite de sachá inchi antes y después del proceso de microencapsulación, mediante una prueba de múltiples rangos (Tabla XII), muestran que a un 95 % de confianza, no existe una diferencia significativa entre los ácidos grasos (Figura XIV). Por lo tanto se acepta la hipótesis nula y se establece que el proceso de microencapsulación no afecta el contenido de ácidos grasos del aceite de sachá inchi.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se microencapsuló aceite de sachá inchi mediante secado por aspersión, logrando una eficiencia de microencapsulación del $93,90 \pm 0,56\%$ y un rendimiento del $82,10 \pm 0,99\%$, empleando un sistema goma arábica-maltodextrina.
- Las condiciones de estudio del proceso microencapsulación mediante secado por aspersión que generaron los mejores resultados en cuanto a eficiencia de microencapsulación y rendimiento fueron, una temperatura de entrada de $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una carga de aceite del 33%.
- La caracterización del aceite de sachá inchi microencapsulado mostró que el contenido de humedad a las 26 semanas es inferior al límite permisible, el perfil de ácidos grasos del aceite microencapsulado no mostró diferencia significativa en comparación con el contenido de ácidos grasos del aceite sin microencapsular, estos resultados fueron corroborados por espectroscopía infrarroja lo que permitió determinar que el aceite es enmascarado de forma eficiente por la mezcla polimérica y mediante microscopía electrónica de barrido se pudo observar que se obtienen partículas esféricas de superficie lisa y libre de poros.
- Se demostró la reproducibilidad del proceso de microencapsulación de aceite de sachá inchi mediante secado por aspersión a escala industrial lográndose mantener el contenido de humedad bajo el límite establecido, además se alcanzó un rendimiento entre el 70 %, y una eficiencia de microencapsulación superior al 80 %.

5.2. Recomendaciones

- Potenciar la aplicación del aceite de sachá inchi microencapsulado como aditivo para la formulación de alimentos funcionales y fitofármacos.
- Ampliar los estudios de caracterización en cuanto a actividad antioxidante de ácidos grasos del aceite de sachá inchi microencapsulado.
- Continuar con la evaluación de estabilidad en cuanto a contenido de humedad del aceite microencapsulado en función del tiempo.

Referencias Bibliográficas

Arshady, R. (1993). Microcapsules for food. *Journal of Microencapsulation*, 10(4), pp 413-435.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1990. *Official Methods of Analysis*. Vol 1. Washington, D.C.-U.S.A. Recuperado de: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>.

Barberán, T. (2010). *Alimentos funcionales*. Departamento de ciencia y tecnología de alimentos. Murcia-España.

Beristain, C., Garcia, H., & Vernon, J. (2001). Spray-dried encapsulation of cardamom (*Elettaria cardamomum*) essential oil with mesquite (*Prosopis juliflora*) gum. *LWT-Food Science and Technology*, 34(6), pp 398-401.

Castaño, D., Valencia, M., Murillo, E., Méndez, J., & Eras, J. (2012). Composición de ácidos grasos de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) y su relación con la bioactividad del vegetal. *Revista chilena de nutrición*, 39(1), pp 45-52.

CIMPA (Insumos y tecnología para la Industria Alimentaria), 2015. Ficha Técnica Maltodextrina. Recuperado de: <http://www.cimpaltda.com/modulo/quimicos/maltodextrina%20local.pd>. pp 2.

- Coello, V. (2015). "Efecto de la adición de Ácido Ascórbico y Butil Hidroxitolueno (BHT) en la oxidación enzimática y rancidez oxidativa de pasta de aguacate (*Persea americana*) variedades Hass y Bacon". Tesis de maestría, Fac. de Ciencias e Ing. de Alimentos, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, pp 8.
- Cuaspud, M. (2015). Obtención de aceite de aguacate microencapsulado mediante secado por atomización. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustrial. Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. 34: pp 28-34.
- Dubois, M., Gilles, K., Hamilton, J., Rebers, P., & Smith, F. (1956) "Método colorimétrico de fenol-sulfúrico para microdeterminación de carbohidratos totales". Química Analítica. Recuperado de: <http://bdigital.eafit.edu.co/bdigital/PROYECTO/P660.2812CDP977/anexos.pdf>.
- Follegatti, R., Piantino, C., & Grimaldi, R. (2009). Supercritical CO₂ extraction of omega-3 rich oil from SachaInchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds. *Journal of Supercritical Fluids*. 49: pp 323–329.
- Fuchs, M., Turchiuli, C., Bohin, M., Cuvelier, M., Ordonnaud, C., Peyrat, M., & Dumoulin, E. (2006). Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering* 75(1): pp 27-35.
- Garmendia, F., Pando, R., Ronceros, G. (2011). Efecto del aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) sobre el perfil lipídico en pacientes con hiperlipoproteinemia. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica* 28: pp 628-632.

- Guillén, M., Ruiz, A., Cabo, N., Chirinos, R., & Pascual, G. (2003). Characterization of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil by FTIR spectroscopy and ¹H NMR. Comparison with linseed oil. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 80: pp 755–762.
- Gutiérrez, L., Rosada, L., & Jiménez, A. (2011). Composición química de las semillas de "Sacha Inchi" (*Plukenetia volubilis* L.) y características de su fracción lipídica. *Grasas y aceites*. 62: pp 76-83.
- Heinzelmann, K., Franke, K., Jensen, B., & Haahr, A. M. (2000). Protection of fish oil from oxidation by microencapsulation using freeze-drying techniques. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 102(2), pp 114-121.
- Hermida, L., Rodríguez, Z., Frangie, S., López de Ogara, M., Paz, A., Lelli, D., & Lagomarsino, A. (2002). Encapsulación de aceite de pescado con alto contenido de omega-3. *Jornadas de Desarrollo e Innovación*. Argentina. 4.
- Huntington, D. 2004. The influence of the Spray Drying Process on Product Properties. *Drying Technology* 22(6), pp 1261-1287.
- Junker, A. (2004). Scale-Up Methodologies for *Escherichia coli* and Yeast Fermentation Processes. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 97 (6), pp. 347-364. 2004. ISSN: 1347-4421.
- Kaushik, P., Dowling, K., Barrow, C. J., & Adhikari, B. (2014). Microencapsulation of omega-3 fatty acids: A review of microencapsulation and characterization methods. *Journal of Functional Foods*.

- Krivankova, B., Polesny, Z., Lojka, B., Lojkova, J., Banout, J., & Preininger, D. (2008). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*, *Euphorbiaceae*): a promising oilseed crop from Peruvian Amazon. In Conference on International Agricultural Research and Development. University of Kassel. Germany, pp 1.
- Lopera, C., Guzmán, O., Cataño, R., Gallardo, C. (2009). Desarrollo y caracterización de micropartículas de ácido fólico formadas por secado por aspersión, utilizando goma arábica y maltodextrina como materiales de pared. Medellín-Colombia. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-40042009000100007&script=sci_arttext
- López, O., & Gómez, C. (2008). Preparación de microesferas mediante secado por aspersión. *Revista Cubana de Farmacia*, 42(3).
- López, O., Márquez, T., Mayo, O., Toledo, C., & Sanchez, E. (2009). Características del aceite de semillas de *Cucurbita pepo* L. Microencapsulado mediante secado por aspersión con maltodextrina y goma arábica. *Lat Am J Pharm*, 28(4), pp 628-632.
- Masters, K. (1991). *Spray Drying Handbook*. Longman Scientific and Technical. New York. 2.
- Pulevasalud. (2008). Contenido de ácidos grasos de alimentos. Recuperado de: <http://www.pulevasalud.com>.

Quispe, S., & Saldaña, M. (2011). Microencapsulation of sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil with zein.

Randall, R., Phillips, G., Williams, P. (1988). The role of the proteinaceous component on the emulsifying properties of gum Arabic. *Food Hydrocolloids*. 2. pp 131–140.

Ré, M. (2000). Microencapsulacao: em busca de produtos inteligentes. *Ciência hoje*. pp 24-31.

Tamez, P., Guerra, R., Gómez, & Flores. (2003). La técnica de secado por aspersion. En: *Procesos Biotecnológicos*. Galán, J., Wong, M., Santos, P., Tamez, R., Quintero, R., & Quintero, I. Publicaciones UANL. pp 243-250. ISBN 970-694-131-2.

Villena, M., Morales, Hernández, M., Gallardo, L., & Ruiz, M. (2009). Técnicas de microencapsulación: una propuesta para microencapsular probióticos. Recuperado de: <http://digibug.ugr.es/handle/10481/27475#.Vomy2fl97IV>. pp 44-45.

Wu Jin, Q., Zhang, J., DU, B., Chen, J., Xie, H., & Huayang, B. (2015). Métodos de extracción adecuados para mejorar la tasa de extracción de aceite de la fruta y la calidad del aceite. *Ingeniería Agrícola*. 21: pp 277-284.

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

ANEXOS

Anexo A: Fotografías de la preparación de emulsiones y secado por aspersión.



Anexo B: Fotografías de la microscopía electrónica de barrido (SEM).



Anexo C: Fotografías de la espectroscopía infrarroja (IR).



Anexo D: Fotografías de la determinación del contenido de humedad.



Anexo E: Fotografías de la determinación de aceite superficial.



Anexo F: Fotografías de la determinación de Carbohidratos.

