



**UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE CIENCIA EN INGENIERÍA EN ALIMENTOS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS**

---

**Obtención de un ingrediente funcional en polvo rico en omega-3, 6 y 9 a partir de una mezcla de aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) y aceite de girasol (*Helianthus annuus*)**

---

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

**Autor:** Marco Alejandro Jordán Álvarez

**Tutor:** Orestes Darío López Hernández Ph.D.

**Ambato – Ecuador**

**Septiembre 2017**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

**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 de Grados de la Facultad.

Ambato, 06 de Julio del 2017.



---

Orestes Darío López Hernández Ph.D.

C.I. 1754784864

**TUTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Marco Alejandro Jordán Álvarez, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Proyecto de Investigación, previo a la obtención de título de Ingeniero en Alimentos son absolutamente originales, auténticos y personales a excepción de las citas.



---

Sr. Marco Alejandro Jordán Álvarez

C.I. 180480268-2

**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 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



---

MSc. María Isabel Salazar Cobo

C.I. 171619725-4



---

MSc. Giovanna Victoria Castillo  
Fernández.

C.I. 180389187-6

Ambato, 1 de Septiembre del 2017

## **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. Marco Alejandro Jordán Álvarez

C.I. 180480268-2

**AUTOR**

## DEDICATORIA

EL amor es paciente y bondadoso; el amor no es envidioso, no es jactancioso ni orgulloso; es decoroso, no busca su interés, no se alegra de la injusticia, se alegra con la verdad. Todo lo excusa. Todo lo cree. Todo lo espera. Todo lo soporta.

1<sup>ra</sup> de Corintios 13, 4-7

La presente Tesis se la dedico a mis Padres ya que con su apoyo incondicional y su sacrificio diario, he podido obtener los recursos necesarios para realizar y cumplir una de mis metas, graduarme en tercer nivel, también se la dedico a Dios, Ser Omnipotente que en medio de mis desgracias supo ayudarme y sanó mi alma y corazón para poder ser una mejor persona, amigo, pareja, hijo y en su infinita voluntad y al tiempo oportuno un excelente esposo y padre de familia.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco el tiempo, la ayuda y ese compartir de conocimientos que caracteriza al Dr. Orestes Darío López Hernández y su don de gente.

Agradezco a la Universidad Técnica de Ambato por haber abierto las puertas a este estudiante ansioso de conocimiento, a la Unidad Operativa de la Dirección de Investigación y Desarrollo Proyecto Canje-Deuda Ecuador-España, al Ing. Mario Álvarez, a la Ing. Mónica Silva y al Ing. Abraham Sánchez por su apoyo y colaboración en esta investigación.

Agradezco a la Universidad Politécnica de Chimborazo y Tec. Lic. Fausto Tapia por su apoyo y colaboración en esta investigación.

# ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

## PÁGINAS PRELIMINARES

Portada.....	I
Aprobación del tutor.....	II
Declaración de autenticidad.....	III
Aprobación del Tribunal de Grado .....	IV
Derechos de autor .....	V
Dedicatoria .....	VI
Agradecimientos.....	VII
Abstract.....	XV

## CATPÍTULO I

### EL PROBLEMA

1.1. Tema.....	3
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos .....	6
1.3.1. Generales.....	6
1.3.2. Específicos .....	6

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes investigativos.....	7
2.2. Hipótesis.....	10
2.2.1. Efecto de los parámetros de operación sobre las variables de estudio.....	10
2.2.2. .La concentración de omega 3, 6 y 9 de la mezcla de aceites de Sacha inchi y Girasol después del proceso de microencapsulación .....	10

2.3. Señalamiento de variables de la Hipótesis.....	11
---	----

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. Materiales .....	12
3.2. Métodos.....	12
3.2.1. Caracterización de Aceites vegetales: Sacha Inchi y Girasol .....	12
3.2.2. Mezclas de Aceites vegetales: Sacha Inchi y Girasol.....	12
3.2.3. Microencapsulación de la mezcla de aceite de Sacha Inchi y Girasol	13
3.2.4. Determinación de aceite superficial de las microcápsulas.....	13
3.2.5. Determinación de la eficiencia de la microencapsulación .....	14
3.2.6. Determinación de Humedad de la mezcla de aceites microencapsulados .....	14
3.2.7. Cromatografía de gases después de la microencapsulación .....	14
3.2.8. Espectroscopía infrarroja (IR) .....	15
3.2.9. Evaluación por microscopía electrónica de barrido (SEM) de las microcápsulas .....	16
3.2.10. Escalado a Nivel industrial .....	16
3.2.10.1. Microencapsulación de la mezcla de aceite de Sacha Inchi y Girasol a nivel industrial .....	16
3.2.10.2. Determinación de la eficiencia y rendimiento de microencapsulación.....	17
3.2.10.3. Análisis de Humedad del producto final .....	17
3.3. Estadística .....	17

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4. Análisis y discusión de resultados .....	18
4.1. Caracterización de los aceites de Sacha inchi y Girasol .....	18

4.1.1. Contenidos de ácidos grasos del aceite de Sacha inchi y aceite de Girasol .....	18
4.1.2. Contenido de ácidos grasos de mezclas entre el aceite de Sacha inchi y aceite de Girasol.....	21
4.2. Análisis del Proceso de Microencapsulación mediante secado por aspersión.....	24
4.2.1. Rendimiento y eficiencia de microencapsulación de la mezcla de aceites de Sacha Inchi y Girasol.....	25
4.2.2. Contenidos de ácidos grasos de la mezcla de aceites después del proceso de microencapsulación. ....	30
4.2.3. Análisis de Humedad de las microcápsulas .....	31
4.2.4. Análisis espectroscópico infrarrojo (IR) de la mezcla de aceites de Sacha Inchi y Girasol microencapsulado .....	33
4.2.5. Morfología y distribución del tamaño de partícula de las microcápsulas .....	35
4.3. Microencapsulación de la mezcla de aceite de Sacha Inchi y Girasol mediante secado por aspersión a nivel industrial .....	38
4.3.1. Eficiencia de microencapsulación y rendimiento .....	38
4.3.2. Análisis de Humedad del producto final .....	40
4.3.3. Morfología y distribución de tamaño de partícula .....	41
4.4. Verificación de las Hipótesis .....	42
4.4.1. Efecto de los parámetros de operación sobre las variables de estudio .....	42
4.4.2. La concentración de omega 3, 6 y 9 de la mezcla de aceites de Sacha inchi y Girasol después del proceso de microencapsulación .....	42

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. Conclusiones .....	43
5.2. Recomendaciones .....	44
BIBLIOGRAFÍA .....	45

## ANEXOS

Anexo 1. Tablas del Análisis Estadístico .....	48
Tabla 11. Valores de eficiencia de microencapsulación y rendimiento a analizar.....	48
Tabla 12. Comparación del contenido de ácidos grasos antes y después del proceso de microencapsulación .....	48
Tabla 13. Prueba de múltiples rangos para el contenido de ácidos grasos .....	48
Anexo 2. Ilustraciones del Proceso de investigación .....	49
Imagen 1. Mezcla de aceites y preparación de esteres metílicos .....	49
Imagen 2. Preparación de mezcla polimérica con mezcla de aceites y proceso de microencapsulación .....	49
Imagen 3. Determinación de humedad.....	50
Imagen 4. Determinación del porcentaje de ácidos grasos.....	50
Imagen 5. Determinación de aceite superficial .....	51
Imagen 6. Evaluación por radiación infrarroja.....	51
Imagen 7. Muestras recubiertas con oro y observación por microscopía electrónica de barrido .....	52
Imagen 8. Escalado a nivel industrial .....	53

## ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. IR para grupo Carbonilo .....	15
Tabla 2. Resultado de Cromatografía de gases del aceite de Sacha inchi.....	18
Tabla 3. Resultado de Cromatografía de gases del aceite de Girasol ..	19
Tabla 4: Cuantificación de ácidos grasos del aceite de Sacha inchi y Girasol.....	20
Tabla 5. Comparación de ácidos grasos de aceites entre Sacha inchi y Girasol.....	21
Tabla 6. Cuantificación de ácidos grasos de mezclas de aceites entre Sacha inchi y Girasol.....	21
Tabla 7. Relación entre ácidos grasos poliinsaturados .....	24
Tabla 8. Eficiencia y Rendimiento del proceso de microencapsulación ..	25
Tabla 9. Optimización de respuestas .....	28
Tabla 10. Eficiencia de Microencapsulación a nivel industrial.....	38

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplo de cromatograma para el aceite de Sacha Inchi....	19
Figura2. Ejemplo de cromatograma para el aceite de Girasol .....	19
Figura 3. Identificación gráfica de ácidos grasos saturados .....	22
Figura 4. Identificación gráfica de ácidos grasos insaturados .....	23
Figura 5. ANOVA y diagrama de Pareto estandarizado para eficiencia de microencapsulación. ....	26
Figura 6. Superficie de Respuesta estimada para la deseabilidad en Eficiencia de microencapsulación .....	27
Figura 7. Diferencia cualitativa de muestras.....	27
Figura 8. ANOVA y diagrama de Pareto estandarizado para el rendimiento. ....	28
Figura 9. Superficie de Respuesta estimada para el rendimiento.....	29
Figura 10. Adherencia de partículas de 33 y 45 de carga a 170 °C....	30
Figura 11. Comparación de contenidos de ácidos grasos .....	31
Figura 12. Análisis estadístico para la humedad, a escala e Laboratorio .....	32
Figura 13. Espectro IR de las muestras analizadas .....	34
Figura 14. Fotografía de microscopía electrónica de barrido, microcápsulas con 33% (m) y 45% (n) de carga de aceite. ....	35
Figura 15. Fotografía de microscopía electrónica de barrido, superficie .....	36
Figura 16. Fotografía de microscopia electrónica de barrido, grietas	37
Figura 17. Comparación estadística de le eficiencia de microencapsulación, Laboratorio vs Industrial.....	39
Figura 18 Análisis estadístico para la Humedad, a escala Industrial. .	40
Figura 19. Fotografía de microscopia electrónica de barrido, producto industrial .....	41

## RESUMEN

En la presente investigación se microencapsuló una mezcla de Aceite de Sacha inchi y girasol con un balance de ácidos grasos de 4,42 veces el contenido del ácido graso linoléico (omega-6) contra el contenido del ácido graso linolénico (omega-3), en una matriz polimérica de Maltodextrina y Goma Arábica, relación 1:1, obteniéndose un rendimiento del  $81,06 \pm 1,75\%$  y una eficiencia del  $92,08 \pm 0,71\%$  a una temperatura del aire de entrada de  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  y un 33% de carga de aceite. Se obtuvieron microcápsulas con una humedad inicial de  $1,96 \pm 0,04\%$ , con una superficie lisa y libre de poros que protegen a la mezcla de aceites en su interior. Sin cambios significativos en su contenido de ácidos grasos después del proceso de microencapsulación el producto presenta un perfil lipídico con valores de  $10,20 \pm 0,14\%$  para el omega-3,  $46,18 \pm 0,50\%$  para el omega-6 y  $23,83 \pm 0,24\%$  para el omega-9. Al escalar a nivel industrial el proceso, se obtiene un producto con características similares a las obtenidas a escala de laboratorio.

**Palabras clave:** Ácidos grasos, Sacha inchi, Girasol, microencapsulación, aceites, Ingredientes funcionales.

## ABSTRACT

A blend of Sachai inchi oil and Girasol oil was microencapsulated with a fatty acids balance 4,42 times the fatty acid linoleic content (omega-6) than the fatty acid linolenic content (omega-3) into a polymeric matrix of Maltodextrin and Arabic gum, ratio 1:1. A  $81,06\pm 1,75\%$  of performance and  $92,08\pm 0,71\%$  of efficiency of process was obtained with an inlet air temperature of 150 °C and 33% of oil's charge. The microcapsules have  $1,96\pm 0,04\%$  of moisture, with a smooth surface and pore-free which protects to oil's blend inside. Without significative changes about its fatty acids content after microencapsulation process, the product has a lipid profile of  $10,20\pm 0,14\%$  for omega-3,  $46,18\pm 0,50\%$  for omega-6 and  $23,83\pm 0,24\%$  for omega-9. When scaling the process at an industrial level, a product with similar characteristics to those obtained at laboratory scale is obtained.

Keywords: Fatty acids, Sacha Inchi, Sunflower, microencapsulation, oil

## INTRODUCCIÓN

El consumo de alimentos que aporten beneficios para la salud y que ayuden a mejorar el funcionamiento y mantenimiento del cuerpo ha inspirado a la industria alimentaria a integrarse en la búsqueda de soluciones para satisfacer las expectativas del consumidor actual, dando como resultado un mercado amplio para la integración de ingredientes funcionales (Barberán, 2010).

Los ingredientes funcionales son sustancias aisladas de alimentos, que proporcionan beneficios fisiológicos no nutricionales para mejorar la salud. Existen diferentes ingredientes funcionales como: probióticos, prebióticos, fibra, lípidos (omegas 3, 6 y 9), calcio, antioxidantes etc., (Barberán, 2010).

Los lípidos, de todas las macromoléculas que proveen energía al organismo, proveen una cantidad mayor de energía (1 g = 37 kJ), sin embargo los organismos vivos necesitan de ácidos grasos específicos (unidades de lípidos) para muchas otras funciones que como una simple fuente de energía, debido a esto el interés de aprovechar los beneficios potenciales de los ácidos grasos en la salud (Lunn & Theoblad, 2006). Los ácidos grasos son muy importantes gracias a su papel estructural en las membranas celulares y porque son fuente energía metabólica (Hung et al., 2016).

Muchos de los ácidos grasos pueden ser sintetizados en el cuerpo humano, pero este carece de las enzimas requeridas para producir ácidos grasos como: el omega-3, ácido  $\alpha$ -linolénico, y el omega-6, ácido linoleico, a estos se les conoce como ácidos grasos esenciales, los cuales son adquiridos de la dieta diaria (Lunn & Theoblad, 2006).

Los ácidos grasos Omega-3 se encuentran naturalmente en alimentos como aceite de canola, huevos y pescado etc. También son ingeridos como suplementos o constituyentes de alimentos funcionales enriquecidos con omega-3 (Hanson et al., 2016).

Los ácidos grasos omega-6 juegan un papel muy importante en la función cerebral, crecimiento y desarrollo normal. El omega-6 al ser un ácido graso polinsaturado, estimula el crecimiento de la piel y del cabello, mantiene saludable al sistema óseo, regula el metabolismo y mantiene el sistema reproductivo (Ehrlich, 2015).

Los ácidos grasos omega-9 comúnmente se encuentran en la grasa animal y vegetal, se los conoce como ácidos oleicos o ácidos grasos monoinsaturados y se pueden encontrar en aceite de canola, aceite de girasol, aceite de oliva etc. Se ha demostrado que los ácidos grasos omega-9 pueden reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares y ataques cerebrales, incrementando el colesterol bueno y reduciendo el colesterol malo, eliminan las placas generadas en las arterias, las cuales causan las enfermedades anteriormente mencionadas (Epa, Liver, Dha, & Institutes, 2010).

## CAPITULO I

### EL PROBLEMA

#### 1.1. Tema

“OBTENCIÓN DE UN INGREDIENTE FUNCIONAL EN POLVO RICO EN OMEGA-3, 6 Y 9 A PARTIR DE UNA MEZCLA DE ACEITE DE SACHA INCHI (*Plukenetia volubilis*) Y ACEITE DE GIRASOL (*Helianthus annuus*)”

#### 1.2. Justificación

En los últimos años se ha demostrado que muchos alimentos tradicionales como las frutas, verduras, cereales, el pescado y la leche contienen componentes que resultan beneficiosos para nuestro organismo (Serra & Aranceta, 2002), como consecuencia de esto, la demanda de alimentos nutritivos, calóricamente equilibrados y que provean de funciones adicionales para la salud ha incrementado, llevando así a la Industria Alimentaria a tener como objetivo, producir y proveer al consumidor alimentos seguros (Day, Seymour, Pitts, Konczak, & Lundin, 2009). A estos alimentos que promueven el correcto mantenimiento y mejora de la salud, se denominan “alimentos funcionales” (Plaza del Moral, 2010).

Los alimentos funcionales proporcionan un efecto positivo para la salud fuera de su valor nutricional, estos resultan de una adición, sustitución o eliminación de ciertos componentes de los alimentos habituales (Aguilera et al., 2016). El efecto positivo que ejerce un alimento funcional en la salud es gracias a una serie de ingredientes que pueden estar presentes en el alimento convencional,

o presentarse en bajas concentraciones, de manera insuficiente para provocar dicho efecto, a estos ingredientes se les conoce como “ingredientes funcionales” (Plaza del Moral, 2010). En un principio los alimentos fueron enriquecidos con vitaminas C y E, ácido fólico y minerales como zinc, hierro y calcio. Luego debido a un cambio en los requerimientos del mercado, se enriquecieron con micronutrientes como ácidos grasos omega-3, ácido linoléico omega-6, fitoesteroles o fibra soluble (Plaza del Moral, 2010).

Los ácidos grasos esenciales, omega-3, 6 y 9, actúan de una manera beneficiosa dentro del organismo, reduciendo el riesgo de enfermedades cardiovasculares, regulando el metabolismo y evitando la formación de placas lipídicas en las paredes arteriales (Epa et al., 2010). En el Ecuador, hasta el 2012, el 25% de la mortalidad en el país está relacionada con enfermedades cardiovasculares (OMS, 2014). La obtención de un ingrediente funcional en polvo rico en omega-3, 6 y 9, beneficiaría a la producción de alimentos funcionales o alimentos enriquecidos con estos ingredientes.

El aceite de Sacha Inchi es rico en ácidos grasos polinsaturados con un contenido de 47-51% de ácido alfa-linolénico (omega-3) y 34-37% de ácido linoléico (omega-6), dicho aceite posee gran potencial dentro de la industria alimentaria y farmacéutica (Niu, Li, Chen, & Xu, 2014). El aceite de girasol posee un alto contenido de lípidos polinsaturados y monoinsaturados, 46,3-55,7% de ácido linoléico (omega-6) y 21,1-41,3% de ácido oleico (omega-9) (Manickavasagan & Al-Sabahi, 2014; Mariod & Matthäus, 2005). La media de consumo total de lípidos o grasas no debe exceder el 35% de la energía diaria ingesta por alimentos, de esto, los ácidos grasos saturados no deben exceder el 11%, los ácidos grasos mono-insaturados deberían constituir el 13% y los ácidos grasos *cis*-polinsaturados el 6.5% (Lunn & Theoblad, 2006). Para evitar los efectos aterogénicos de los ácidos grasos *trans*, el consumo de estos no deben exceder el 2% de la energía diaria (Lunn & Theoblad, 2006). Los ácidos grasos polinsaturados omega-3 y omega-6 comparten una vía metabólica en

común lo cual genera la necesidad de obtener una proporción adecuada de ingesta de estos dos ácidos grasos (Lunn & Theoblad, 2006).

Se recomienda que dentro del 35% del consumo de lípidos totales, para mujeres y varones adultos la ingesta de omega-6 sea de 2,5 a 9% y la ingesta de omega-3 sea de 0,5 a 2%, que aproximadamente para las mujeres representan 6 g por día (5 g de omega-6 y 1 g de omega-3) y para los varones 8 g por día (6,4 g de omega-6 y 1,6 g de omega-3) (Lunn & Theoblad, 2006; OMS/FAO, 2003).

El interés de la investigación radica en el posible uso y aplicación de la microencapsulación mediante secado por aspersion con la cual se podría conservar las propiedades fisicoquímicas de los ácidos grasos esenciales y protegerlos de factores medioambientales que puedan causar deterioro en su composición (Gharsallaoui, Roudaut, Chambin, Voilley, & Saurel, 2007).

El proceso de microencapsulación ha permitido que muchos ingredientes considerados técnicamente inviables, ahora sean posibles de obtener (Gharsallaoui et al., 2007). Estos ingredientes son envueltos con materiales que proveen utilidad o restan propiedades no aptas o no requeridas hacia el ingrediente o desde el ingrediente original (Gharsallaoui et al., 2007).

El uso de polímeros como la goma arábica en el proceso de microencapsulación, facilita la dispersión y absorción de las gotas de sustancias oleosas en el fluido gastrointestinal debido a su papel estructural en la formación de microcápsulas polinucleares y su función emulgente, aumentando la biodisponibilidad en este caso de los ácidos grasos esenciales (López H., Márquez C., Mayo A., Toledo S., & Pérez S., 2009).

Esta investigación resulta factible gracias a la diversidad de plantas y semillas que se pueden cultivar en las diferentes regiones del Ecuador, por la misma razón se puede contar con la materia prima para el desarrollo de la parte experimental de esta investigación.

Todo esto sugiere que la proporción de combinación de estos ácidos grasos debe ser a razón de 3 a 5 veces más el predominio del ácido linoleico con relación al ácido linolénico, los cuales serán obtenidos de los aceites vegetales de Sacha Inchi y Girasol, y que con la ayuda de la microencapsulación se protegerá a los ácidos grasos esenciales de los posibles efectos que puede tener los factores medioambientales en su composición molecular.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Generales**

- Obtener un ingrediente funcional en polvo rico en omega-3, 6 y 9 a partir de una mezcla de aceite de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) y aceite de Girasol (*Helianthus annuus*)”

#### **1.3.2. Específicos**

- Microencapsular por spray-dryer una mezcla de aceites que contenga una relación de entre 3:1 a 5:1 partes de omega-6 y omega-3 respectivamente.
- Utilizar como material encapsulante para la mezcla omega-3, 6 y 9, una solución de goma arábica y maltodextrina
- Analizar las propiedades fisicoquímicas del producto microencapsulado
- Escalar el proceso de Microencapsulación a nivel industrial.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes investigativos.

En la industria alimentaria es común que se utilice mezcla de aceites vegetales comestibles en la elaboración de algún producto (Jiménez-Carvelo, González-Casado, & Cuadros-Rodríguez, 2017). El producto puede ser elaborado con estas mezclas de aceites (frituras) o puede contener dichas mezclas como ingrediente en su composición (Jiménez-Carvelo et al., 2017). Las principales razones de esta práctica son: reducir el costo y obtener un mejor rendimiento u obtener ciertas características de estabilidad o calidad nutricional de las mezclas (Jiménez-Carvelo et al., 2017).

La presencia o aplicación de antioxidantes y tocoferoles pueden ayudar a controlar y minimizar la oxidación de grasas y aceites comestibles (Ramadan, 2013). Se ha reportado que en la composición del aceite de sacha inchi existen compuestos bioactivos como tocoferoles, carotenos, compuestos fenólicos y fitoesteroles (Chirinos et al., 2013). La mezcla de aceites vegetales ricos en antioxidantes ayuda a mejorar la susceptibilidad al deterioro oxidativo que causa alteraciones no deseables, incrementa los niveles de lípidos bioactivos y mejora el valor nutricional enriqueciendo la composición inicial de dichos aceites (Mariod & Matthäus, 2005; Ramadan, 2013).

La mezcla de aceites comestibles, hechos con diferentes aceites vegetales, pueden proveer de un amplio contenido de ácidos grasos esenciales en comparación con un aceite singular (Xu, Liu, & Wang, 2016). El principal ingrediente en mezcla de aceites por lo general es el aceite de girasol. Para

una adecuada nutrición es necesario consumir cantidades correctas de aceites vegetales en la dieta (Xu et al., 2016), por consiguiente resulta importante medir los contenidos de aceites vegetales en dichas mezclas apropiadamente.

La ausencia de enzimas en el cuerpo humano para sintetizar ácidos grasos como el linoleico (omega-6) y el ácido alfa-linolénico (omega-3) considera que la ingesta de estos ácidos grasos debe ser necesaria y obtenida mediante un patrón de dieta diaria. Estos ácidos grasos están presentes en cantidades considerables en los aceites vegetales proveniente de soya, maíz, girasol, semillas de algodón (Russo, 2009) y en el aceite de semillas de Sacha Inchi (Niu et al., 2014).

El déficit de omega-6 está relacionado con una severa dermatitis atópica, afectando la función barrera de la piel y produciendo inflamación cutánea (Russo, 2009). Los ácidos grasos omega-3 aportan beneficios saludables sobre varios tipos de cáncer, sobre la artritis reumatoide, ayudan a controlar la presión sanguínea, enfermedades cardiovasculares (Gogus & Smith, 2010), diabetes, hipertensión, desorden hiperactivo, déficit de atención y enfermedades inflamatorias de la piel (Niu et al., 2014).

La dispersión de lípidos en productos alimenticios por lo general resulta difícil debido a que los ácidos grasos, en especial, pueden auto-oxidarse y presentar olores y sabores extraños a los mismos así como también producirse componentes tóxicos (Matsuno & Adachi, 1993). En la Industria alimentaria la oxidación lipídica es un problema muy importante debido a que los ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados son sensibles a la oxidación (Ramadan, 2013).

La microencapsulación ayuda a proteger y preservar numerosos ingredientes (López, 2010), en este proceso, pequeñas partículas o gotas son cubiertas por un revestimiento o incrustadas en una matriz homogénea o heterogénea, dando como resultado pequeñas cápsulas con muchas propiedades útiles (Gharsallaoui et al., 2007). Las microcápsulas en su simple forma, son pequeñas esferas con diámetros que van desde micrómetros hasta unos pocos milímetros, sin embargo muchas de estas microcápsulas no se asemejan a una esfera simple, debido a que el tamaño y la forma de las mismas dependen de los materiales y métodos utilizados para prepararlas (Gharsallaoui et al., 2007).

Los diferentes tipos de microcápsulas son producto de un amplio rango de materiales de envoltura (monómeros y/o polímeros) y el amplio número de diferentes procesos de microencapsulación que existen, entre ellos: secado por aspersión, enfriamiento por aspersión, spray-chilling, revestimiento en suspensión de aire, extrusión, extrusión centrífuga, secado por congelamiento, co-cristalización, atrapamiento por liposomas, polimerización interfacial, inclusión molecular, etc (Gharsallaoui et al., 2007).

El secado por aspersión (spray drying) se basa en el uso de una corriente de gas caliente, por lo general aire, por la cual se esparce el líquido o solución que se va a secar en gotas muy finas (López, 2010). Se obtiene partículas esféricas, con diámetros que pueden estar entre 20  $\mu\text{m}$  y 200  $\mu\text{m}$  (López, 2010). El flujo de aire de entrada alcanza una temperaturas de entre 100 y 200  $^{\circ}\text{C}$ . La solución en aspersión alcanza como límite los 40  $^{\circ}\text{C}$  debido a que el tiempo de exposición al aire caliente es corto (López, 2010).

La combinación entre maltodextrina y goma arábica aporta un efecto positivo en la continuidad estructural de la película encapsulante, mejorando así la eficiencia de encapsulación (López, 2010). Las propiedades de la goma arábica le permiten absorberse en la interfaz aceite/agua y formar una película

viscoelástica, en la cual pequeñas gotas de las sustancias oleosas forman empalmes o uniones en los anclajes de las cadenas de la goma contribuyendo en la coherencia estructural (López, 2010). El uso de polisacáridos ayudan a proteger a los ácidos grasos polinsaturados de la oxidación (López, 2010). La microencapsulación de lípidos enumera cinco ventajas principales: estabilidad mejorada, retardo de la auto-oxidación, controla la liberación del sabor liposoluble, enmascara el sabor amargo de sustancias liposolubles y protegen a sustancias disueltas de la hidrólisis enzimática (Gharsallaoui et al., 2007).

## **2.2. Hipótesis**

### **2.2.1. Efecto de los parámetros de operación sobre las variables de estudio**

#### **Hipótesis Nula**

La temperatura del aire de entrada y el porcentaje de carga de la mezcla de aceites no afectan sobre la eficiencia de microencapsulación y el rendimiento del proceso.

#### **Hipótesis Alternativa**

La temperatura del aire de entrada y el porcentaje de carga de la mezcla de aceites afectan sobre la eficiencia de microencapsulación y el rendimiento del proceso.

### **2.2.2. La concentración de omega 3, 6 y 9 de la mezcla de aceites de Sacha inchi y Girasol después del proceso de microencapsulación.**

### **Hipótesis Nula**

La concentración de omega 3, 6 y 9 de la mezcla de aceites de Sacha inchi y Girasol no presenta cambios significativos después del proceso de microencapsulación.

### **Hipótesis Alternativa**

La concentración de omega 3, 6 y 9 de la mezcla de aceites de Sacha inchi y Girasol presenta cambios significativos después del proceso de microencapsulación.

### **2.3. Señalamiento de variables de la Hipótesis**

#### **Evaluación de la eficiencia y rendimiento de microencapsulación de la mezcla de aceites de Sacha inchi y Girasol.**

- Porcentaje de carga de aceite en las emulsiones
- Temperatura de entrada.
- Rendimiento y eficiencia del microencapsulación.

#### **Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de las microcápsulas**

- Contenido de humedad de las microcápsulas
- Caracterización de la morfología de las microcápsulas
- Esterificación de la mezcla de aceites de Sacha inchi y Girasol para posterior evaluación por cromatografía de gases
- Contenido de ácidos grasos esenciales de la mezcla de aceites de Sacha inchi y Girasol antes y después del proceso de microencapsulación

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Materiales

Aceite de Sacha Inchi (Agroindustria Sanpi, Ecuador), aceite de Girasol (La Fabril, Ecuador), Maltodextrina, Goma Arábica, Hexano p.a. (Fisher chemical), Ácido Clorhídrico p.a. (Fisher Chemical ), Metanol p.a. (Pharmaco AAPER), Hidróxido de potasio p.a. (Fisher Chemical).

#### 3.2. Métodos

##### 3.2.1. Caracterización de Aceites vegetales: Sacha Inchi y Girasol

Los aceites fueron esterificados (Medina, 2014) y analizados mediante cromatografía de gases en un cromatógrafo (Agilent Technologies 7890B GC System) con un detector de masas (Agilent Technologies 5977A MSD, Software NIST MS Search 2.2), un Autosampler (Agilent Technologies 7693) y una columna capilar (DB-WAX, 60m x 250 $\mu$ m x 0.25  $\mu$ m) se determinó el contenido de aceites esenciales omega 3, 6 y 9, de cada aceite para posteriormente plantear las mezclas correspondientes.

##### 3.2.2. Mezclas de Aceites vegetales: Sacha Inchi y Girasol

Posterior al análisis cromatográfico se prepararon mezclas en proporciones de 1:1,1; 1:2,1 y 1:3,1 de dichos aceites para establecer un balance apropiado

entre los ácidos grasos esenciales de más importancia. Las mezclas realizadas fueron esterificadas y analizadas por cromatografía de gases (Agilent Technologies 7890B GC System) y un detector de masas (Agilent Technologies 5977A MSD), se seleccionó la mezcla con el balance más apropiado entre omega-6 y omega-3. Todas las pruebas se hicieron por duplicado.

### **3.2.3. Microencapsulación de la mezcla de aceite de Sacha Inchi y Girasol**

Se empleó una mezcla de maltodextrina y goma arábica en relación 1:1 como agente encapsulante, se disolvieron los agentes encapsulantes a una concentración del 37% de sólidos, la solución se realizó mediante agitación con un agitador vertical (Arrow Engineering Model 6000) a 40 °C (Fisher Scientific Isotemp Heated Magnetic Stirrer/Hotplate), posteriormente se agregó la mezcla de aceites de Sacha Inchi y Girasol al 33 y 45% con el mejor balance entre omega-6 y omega-3. La emulsión agua/aceite se secó por aspersion (BUCHI Mini Spray Dryer B-290) y se evaluó a temperaturas de 150 y 170 °C. Se realizó un diseño experimental 2<sup>2</sup> para el análisis estadístico de las variables: temperatura del aire de entrada y el porcentaje de carga de aceite, mediante los resultados de eficiencia y rendimiento de microencapsulación.

### **3.2.4. Determinación de aceite superficial de las microcápsulas**

El aceite superficial fue determinado pesando 5 g de microcápsulas en una balanza de precisión (Mettler Toledo XPE204) en un capuchón de papel filtro y previamente preparados los vasos recolectores se extrajo el aceite mediante Soxhlet (VELP Scientifica SER 148 Solvent Extractor) con Hexano p.a. (Fisher Chemical H302-4) a 60 °C durante 3 horas, pasando por las 3 etapas de inmersión, lavado y recuperación del disolvente, posteriormente los vasos

fueron secados a 103° C durante 30 minutos en una estufa para eliminar el disolvente residual.

### **3.2.5. Determinación de la eficiencia de la microencapsulación**

La eficiencia de la microencapsulación fue determinada según la ecuación (López, 2010):

$$ME = \left[ \frac{\text{Aceite total} - \text{Aceite extraíble}}{\text{Aceite total}} \right] * 100 \quad (\text{Ec } 1)$$

### **3.2.6. Determinación de Humedad de la mezcla de aceites microencalsupado**

La humedad de la muestra con los mejores valores de eficiencia y rendimiento de microencapsulación se determinó utilizando una balanza infrarroja (Mettler Toledo HX204 Moisture Analyzer) con un peso aproximado de 5 g, las mediciones se realizaron por triplicado con un intervalo de 5 semanas durante 20 semanas.

### **3.2.7. Cromatografía de gases después de la microencapsulación**

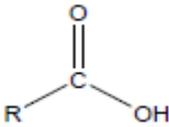
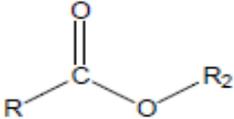
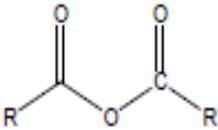
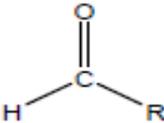
La mezcla de aceite de Sacha inchi y Girasol microencapsulada fue analizada en los laboratorios de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Proyecto Canje de Deuda Ecuador - España. Previo a una extracción, se obtuvo el aceite microencapsulado y se esterificó la mezcla de aceites (Medina, 2014), se produjo la liberación de sus ácidos grasos para la formación de esteres metílicos, los cuales mediante el cromatógrafo (Agilent Technologies 7890B GC System) fueron separados y cuantificados por su estructura molecular.

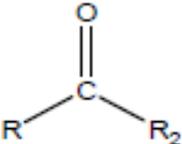
Se aplicó un análisis de comparación de muestras y prueba de múltiples rangos para determinar si existe diferencia significativa en el contenido de ácidos grasos esenciales de la mezcla de aceite de Sacha inchi y Girasol antes y después del proceso de microencapsulación

### 3.2.8. Espectroscopía infrarroja (IR)

El análisis de espectroscopia infrarroja fue realizado en el Laboratorio de Química Instrumental de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo mediante el uso de un espectroscopio infrarrojo (Jasco FT/IR 4100) con una cantidad aproximada de 0,2 g de muestra. Las muestras a analizar fueron: mezcla de maltodextrina y goma arábica 1:1; mezcla de aceites de Sacha inchi y Girasol 1:3,1 microencapsulado y mezcla de aceites de Sacha inchi y Girasol 1:3,1 sin microencapsular. Las diferentes frecuencias se compararon bibliográficamente para determinar los compuestos presentes en las muestras.

**Tabla 1. IR para grupo Carbonilo**

Descripción	Grupo Funcional	Frecuencia (cm-1)	Origen
Ácidos carboxílicos		1725-1700	Estiramiento del carbonilo
		3000-2200	Estiramiento del OH
		1420-1200	Torsión/estiramiento del carboxilo
		960-875	Torsión fuera del plano del dímero del carboxilo
Ésteres		1750-1715	Estiramiento del carbonilo
		1300-1050	Estiramientos simétrico y asimétrico
Anhídridos		1850-1770	Estiramiento simétrico de los carbonilos
		1790-1760	Estiramiento antisimétrico de los carbonilos
		1310-1020	Estiramientos simétrico y asimétrico de los enlaces
Aldehídos		1740-1645	asimétrico de los enlaces
		2900-2800 y 2775-2695	Resonancia de Fermi
		1410-1380	Torsión de los C-H

Cetonas		1765-1540	Estiramiento del carbonilo
		1100 y 1300	Torsión del carbonilo

**Nota:** La tabla muestra las longitudes de onda en las cuales aparecen los grupos funcionales de los diferentes compuestos que poseen un grupo carbonilo  
**Fuente:** (Rojo, 2000; Shurvell, 2000)

### 3.2.9. Evaluación por microscopia electrónica de barrido (SEM) de las microcápsulas

Las muestras con porcentajes de 33 y 45% de carga de aceite fueron sometidas al análisis de microscopia electrónica de barrido en el Laboratorio de Caracterización de Nanomateriales de La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Primero, una pequeña alícuota de cada muestra fue fijada sobre un portamuestras de aluminio utilizando cinta conductora de carbono. A continuación para permitir la observación al microscopio, cada muestra fue cubierta con oro utilizando un evaporizador de oro (Sputter Coating Quorum Q105R) bajo las siguientes condiciones: 15 mA y 80 mTorr por 30 segundos para producir una capa con espesor aproximado de 20 nm.

Los portamuestras fueron insertados en el carrusel del microscopio electrónico de barrido (TESCAN MIRA 3). Se observaron las microcápsulas con un voltaje de 5 kV y se obtuvieron varias microfotografías y mediciones de las mismas utilizando el software MiraTC x64

### 3.2.10. Escalado a Nivel industrial

#### 3.2.10.1. Microencapsulación de la mezcla de aceite de Sacha Inchi y Girasol a nivel industrial

El escalado del proceso a nivel industrial se realizó en la planta industrial de la empresa ANDES KINKUNA S.A, Pujilí, con los mismos parámetros de

temperatura de aire de entrada con el porcentaje de mezcla de aceites agregada a la emulsión de la muestra que presentó mayor rendimiento y eficiencia después del proceso de microencapsulación a escala de laboratorio. Se utilizó un Spray dryer (Chemar Centrifugal Spray dryer 2015229) de capacidad de evaporación de 100 kg/h, empleando la mezcla maltodextrina y goma arábica como agente microencapsulante.

#### **3.2.10.2. Determinación de la eficiencia microencapsulación y rendimiento**

La determinación de la eficiencia de microencapsulación se realizó empleando la misma metodología de laboratorio expresada en los puntos 3.2.6 y 3.2.7, al igual que el rendimiento se lo realizó por diferencia de pesos.

#### **3.2.10.3. Análisis de Humedad del producto final**

La humedad del producto final se analizó durante las 0 semanas, 4 semanas y 7 semanas después del proceso de microencapsulación, se determinó utilizando la balanza infrarroja (Mettler Toledo HX204 Moisture Analyzer) con un peso aproximado de 5 gr, las mediciones se realizaron por triplicado.

### **3.3. Estadística**

Los análisis se realizaron mediante el uso del software Statgraphics Centurion XVI.I. (12/09/13)

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4. Análisis y discusión de resultados

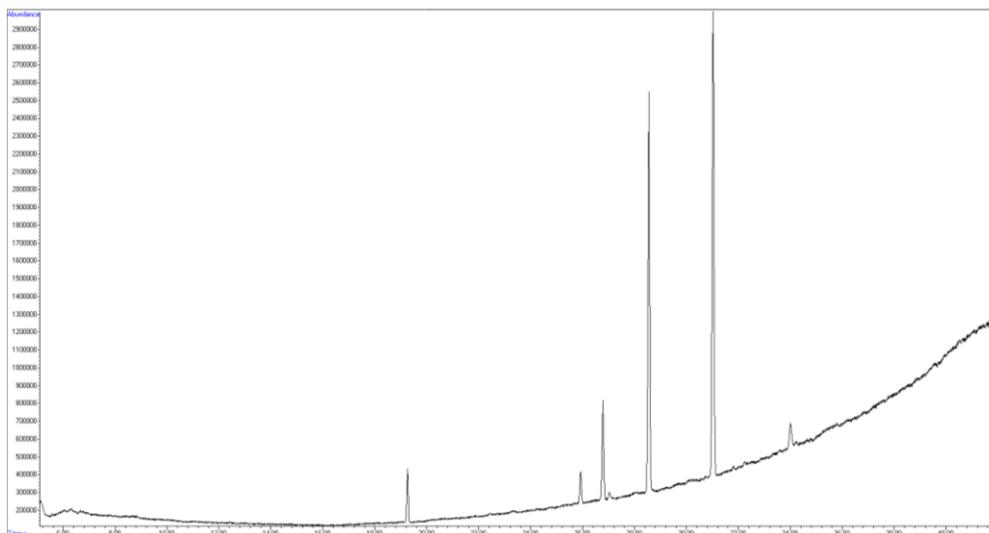
##### 4.1. Caracterización de los aceites de Sacha inchi y Girasol

##### 4.1.1. Contenidos de ácidos grasos del aceite de Sacha inchi y aceite de Girasol

Mediante cromatografía de gases y la metodología de esterificación de los ácidos grasos (Medina, 2014) se cuantifico el contenido de los mismos en el aceite de Sacha inchi y en el aceite de Girasol, Los tiempos de retención y la correspondiente identificación se puede observar en la Tabla 2 y 3 para los diferentes aceites, la comparación del porcentaje de contenido de los mismo en la Tabla 4.

**Tabla 2. Resultado de Cromatografía de gases del aceite de Sacha inchi**

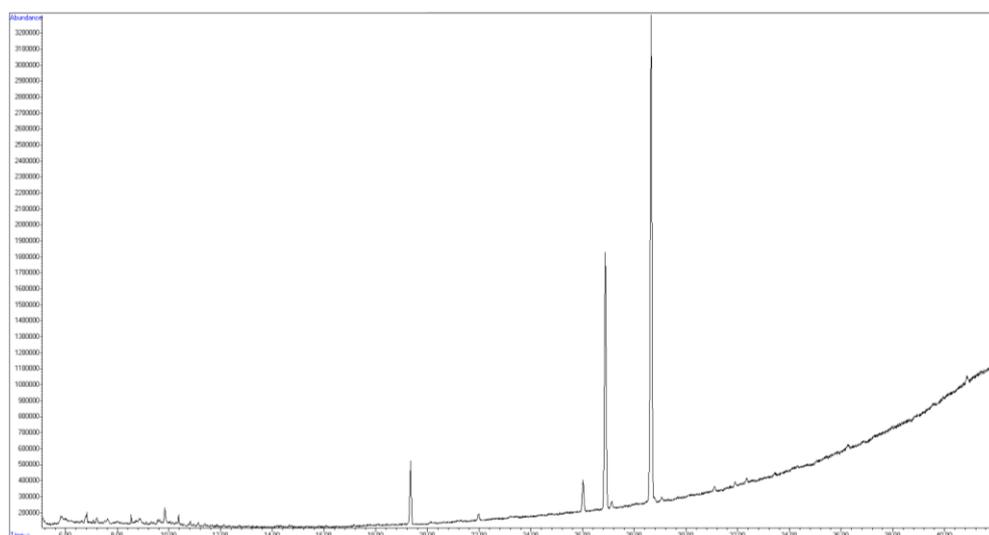
# RT	Nombre del compuesto	Área	R. Match	Cantidad
19,31	Hexadecanoic acid, methyl ester	1,47E+07	874	5,00
21,97	1,4,7,10,13,16-Hexaoxacyclooctadecane	3,18E+06	782	1,09
25,98	Methyl stearate	8,13E+06	903	2,79
26,84	9-Octadecenoic acid, methyl ester	2,63E+07	872	9,05
27,13	Heptaethylene glycol	2,38E+06	840	0,82
28,61	9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester	1,05E+08	924	36,05
31,02	9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester	1,27E+08	906	43,38
34,01	1,4,7,10,13,16-Hexaoxacyclooctadecane	5,41E+06	800	1,85



**Figura 1. Ejemplo de cromatograma para el aceite de Sacha Inchi**

**Tabla 3. Resultado de Cromatografía de gases del aceite de Girasol**

# RT	Nombre del compuesto	Área	R. Match	Cantidad
19,31	Hexadecanoic acid, methyl ester	1,56E+07	908	6,63
21,97	2,2-Bis[1,4,7,10,13-pentaoxacyclopentadecan.	4,96E+06	702	2,11
25,98	Methyl stearate	8,92E+06	864	3,05
26,84	9-Octadecenoic acid, methyl ester	7,29E+07	910	29,50
27,13	Heptaethylene glycol	1,81E+06	828	0,77
28,61	9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester	1,45E+08	935	59,21
31,02	Isobutyl 2,5,8,11-tetraoxatridecan -13-yl car.	4,90E+06	860	1,36
34,01	1,4,7,10,13,16-Hexaoxacyclooctadecane	3,03E+06	861	2,54



**Figura2. Ejemplo de cromatograma para el aceite de Girasol**

**Tabla 4: Cuantificación de ácidos grasos del aceite de Sacha inchi y Girasol.**

<b>Ácidos Grasos</b>	<b>A. de Sacha inchi (%)</b>	<b>A. de Girasol (%)</b>
Ácido Palmítico (C16:0)	5,00 ± 0,06	6,63 ± 0,32
Ácido Esteárico (C18:0)	2,79 ± 0,01	3,05 ± 0,07
Ácido Oleico (C18:1)	9,05 ± 0,07	29,50 ± 0,84
Ácido Linoleico (C18:2)	36,05 ± 0,07	59,21 ± 1,70
Ácido Linolénico (C18:3)	43,38 ± 0,04	0 ± 0,00

Los aceites de Sacha inchi y Girasol al poseer mayor cantidad de ácidos grasos poliinsaturados generan un interés dentro de la industria alimentaria, ya sea para incluirlos en formulaciones de productos alimenticios o para elaborar aceites enriquecidos. Los perfiles de ácidos grasos insaturados obtenidos en esta investigación para el aceite de Sacha inchi son de 9,05±0,07% para el ácido oleico (omega-9), 36,05±0,07% para el ácido linoleico (omega-6) y 43,38±0,035 % (omega-3) para el ácido linolénico, por su parte el aceite de Girasol presenta las siguientes cantidades, 29,50±0,84% para el ácido oleico (omega-9), 59,21±1,70% para el ácido linoleico (omega-6) y 0 % para el ácido linolénico (omega-3) ya que carece del mismo. Estos porcentajes permiten plantearse mezclas teóricas para la obtención de un balance óptimo entre el ácido linoleico y el ácido linolénico que debe ser a razón de 3 a 5 veces mayor a la cantidad del ácido linoleico (omega-6) en comparación con el ácido linolénico (omega-3) que comúnmente se recomienda.

Los porcentajes de ácidos grasos insaturados obtenidos mediante cromatografía de gases se corroboran al comprar los datos obtenidos de esta investigación con otras investigaciones. En la Tabla 5 se presentan los siguientes datos.

**Tabla 5. Comparación de ácidos grasos de aceites entre Sacha inchi y Girasol**

Ácidos Grasos	A. de Sacha inchi (%)		A. de Girasol (%)	
	Esta investigación	Quispe & Saldaña (2011)	Esta investigación	Díaz Gómez et al (2009)
Ácido Palmítico (C16:0)	5,00	4,08	6,63	7,08
Ácido Esteárico (C18:0)	2,79	2,96	3,05	4,35
Ácido Oleico (C18:1)	9,05	10,45	29,50	29,19
Ácido Linoleico (C18:2)	36,05	35,34	59,21	58,03
Ácido Linolénico (C18:3)	43,38	46,92	0	0

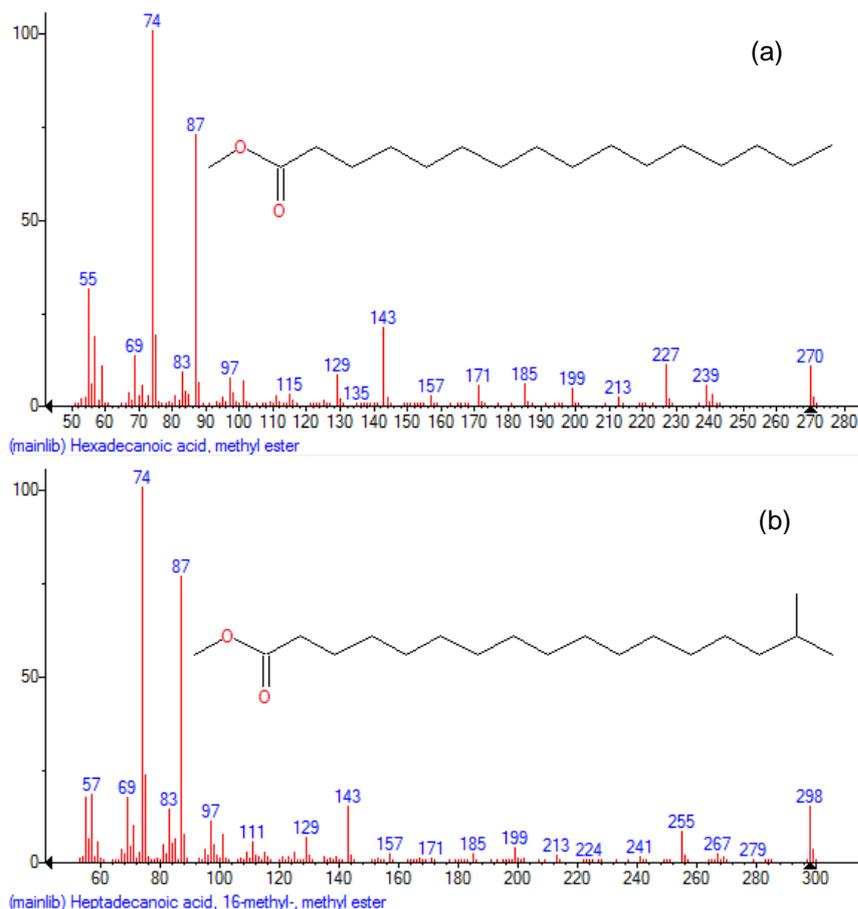
Las investigaciones (Gómez et al., 2009; Quispe-Condori & Saldaña, 2011) corroboran que los datos obtenidos para los aceites de Sacha inchi y Girasol obtenidos en esta investigación son similares y confiables para realizar mezclas entre dichos aceites.

#### 4.1.2. Contenido de ácidos grasos de mezclas entre el aceite de Sacha inchi y aceite de Girasol

Una vez obtenido el perfil de ácidos grasos insaturados de ambos aceites, se plantearon mezclas en proporciones de aceite de Sacha inchi y aceite de Girasol de 1:1,1; 1:2,1 y 1:3,1 partes respectivamente. Mediante la metodología utilizada para caracterizar los aceites, se esterificaron dichas mezclas y mediante cromatografía de gases se cuantificó el contenido de ácidos grasos de cada una de las mismas. Los resultados se pueden observar en la Tabla 6.

**Tabla 6. Cuantificación de ácidos grasos de mezclas de aceites entre Sacha inchi y Girasol**

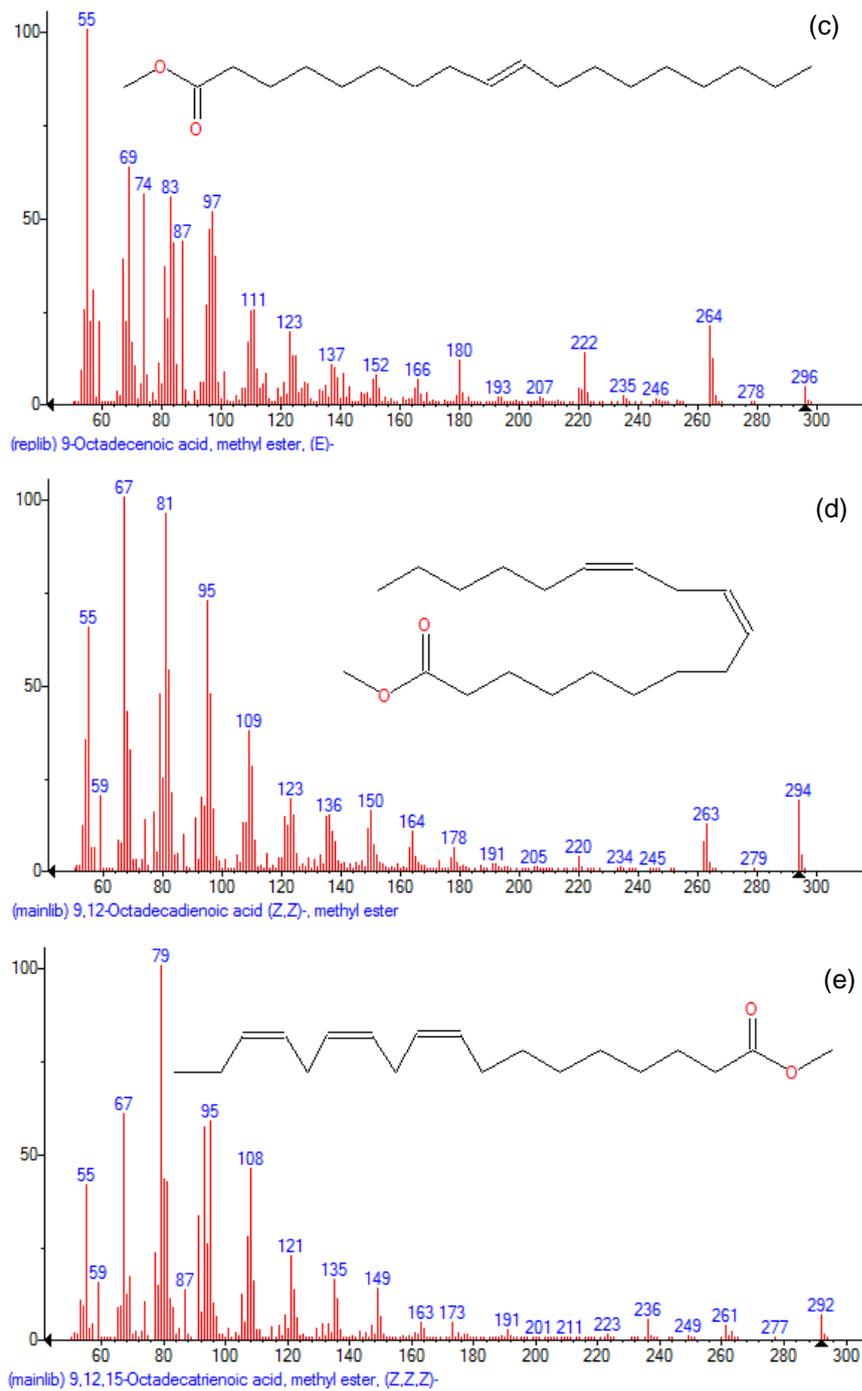
Ácidos Grasos	Mezcla 1:1,1	Mezcla 1:2,1	Mezcla 1:3,1
Ácido Palmítico (C16:0)	6,58 ± 0,24	6,65 ± 0,12	5,66 ± 0,41
Ácido Esteárico (C18:0)	3,20 ± 0,46	2,78 ± 0,44	3,43 ± 0,14
Ácido Oleico (C18:1)	16,61 ± 1,76	19,76 ± 0,39	24,19 ± 0,12
Ácido Linoleico (C18:2)	31,87 ± 0,21	42,16 ± 0,95	46,76 ± 0,90
Ácido Linolénico (C18:3)	14,88 ± 0,88	11,82 ± 0,59	10,58 ± 0,33



**Figura 3. Identificación gráfica de ácidos grasos saturados**

**Nota:** Se visualiza el espectro de masas de enlaces y del grupo funcional (carboxilo) del ácido palmítico (a) y del ácido esteárico (b) mediante el uso de la librería del software NIST MS Search 2.2

Las mezclas de aceites en sus diferentes proporciones presentan un incremento con respecto al contenido de ácidos grasos insaturados de importancia, estos son el ácido oleico (omega-9), ácido linoleico (omega-6) y ácido linolénico (omega-3), por lo tanto son mezclas ricas en ácidos grasos poliinsaturados y están dentro de los objetivos para esta investigación. En la Tabla 7 se puede observar las relaciones entre los ácidos linoleico y linolénico de cada mezcla.



#### Figura 4. Identificación gráfica de ácidos grasos insaturados

**Nota:** Se visualiza el espectro de masas de enlaces y el grupo funcional (carboxilo) del ácido oleico (c), ácido linoléico (d) y ácido linolénico (e) mediante el uso de la librería del software NIST MS Search 2.2

**Tabla 7. Relación entre ácidos grasos poliinsaturados**

<b>Ácidos Grasos</b>	<b>Mezcla 1:1,1</b>	<b>Mezcla 1:2,1</b>	<b>Mezcla 1:3,1</b>
Ácido Palmítico (C16:0)	6,58	6,65	5,66
Ácido Esteárico (C18:0)	3,20	2,78	3,43
Ácido Oleico (C18:1)	16,61	19,76	24,19
Ácido Linoleico (C18:2)	31,87	42,16	46,76
Ácido Linolénico (C18:3)	14,88	11,82	10,58
<b>Saturados</b>	9,78	9,42	9,09
<b>Mono insaturados</b>	16,61	19,76	24,19
<b>Poliinsaturados</b>	46,74	53,98	57,35
<b>Relación omega-6 vs omega-3</b>	<b>2,14</b>	<b>3,57</b>	<b>4,42</b>

Según las recomendaciones para el consumo de ácido graso linoleico (omega-6) y linolénico (omega-3), estos deben ser de 3 a 5 veces más el porcentaje u contenido de omega-6 con respecto al omega-3. Para esta investigación las mezclas que se encuentra dentro de las recomendaciones son la mezcla 1:2,1 con su contenido de 3,57 veces más el contenido de ácido graso linoleico con respecto al linolénico y la mezcla 1:3,1 con su contenido de 4,42 veces más el contenido de ácido graso linoleico con respecto al linolénico, estableciéndose como mejor mezcla en base a los porcentajes de ácidos grasos polinsaturados, esenciales para el cuerpo humano, a la mezcla 1:3,1 ya que esta proporciona un valor superior a la cantidad mínima requerida para el consumo de omega-6 con respecto al omega-3.

#### **4.2. Análisis del Proceso de Microencapsulación mediante secado por aspersion**

A continuación se presenta los resultados obtenidos de eficiencia de microencapsulación, rendimiento y concentración de ácidos grasos a escala de laboratorio.

#### 4.2.1. Rendimiento y eficiencia de microencapsulación de la mezcla de aceites de Sacha Inchi y Girasol

Las muestras analizadas a dos valores diferentes entre porcentaje de carga de aceite y temperatura de entrada a escala de laboratorio muestran variación entre los resultados obtenidos de eficiencia de microencapsulación y rendimiento. En la Tabla 8 se observa los valores de eficiencia de microencapsulación y de rendimiento del proceso

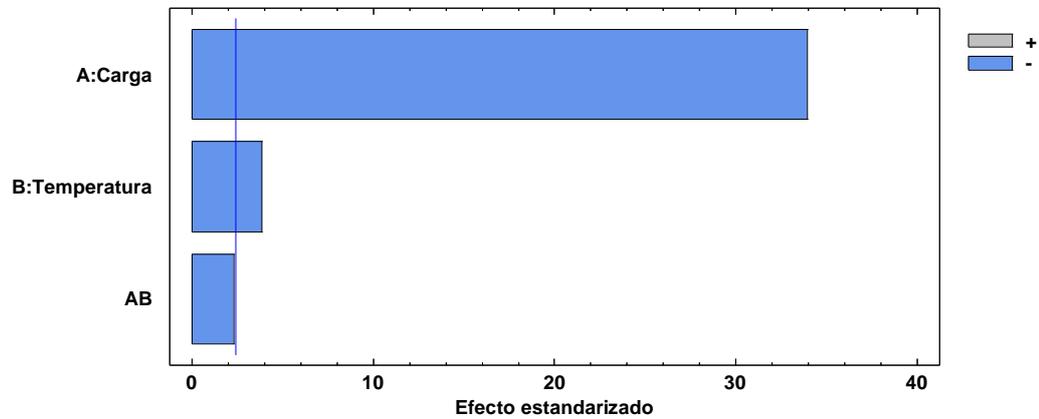
**Tabla 8. Eficiencia y Rendimiento del proceso de microencapsulación**

Tratam.	% Carga	Temp. de entrada °C	Temp. de Salida °C	Eficiencia (ME) %	Rendimiento %
T1	33	150	90	92,08 ± 0,71	81,06 ± 1,75
T2	33	170	90	91,21 ± 0,68	68,06 ± 0,47
T3	45	150	90	73,81 ± 1,06	63,11 ± 1,00
T4	45	170	90	70,22 ± 0,97	46,73 ± 1,66

Aplicando un diseño experimental 2<sup>2</sup> al proceso de microencapsulación, se analizó el efecto que produce el porcentaje de carga de aceite y la temperatura de entrada en el porcentaje de eficiencia de microencapsulación y de rendimiento, en el Anexo 1 se puede observar los valores de las réplicas obtenidas.

El análisis de varianza para el porcentaje de eficiencia de microencapsulación muestra que tanto el efecto de carga de aceite como la temperatura del aire de entrada poseen un valor-p menor que 0,05 indicando que tiene influencia significativa para un nivel de confianza del 95%, Figura 5.

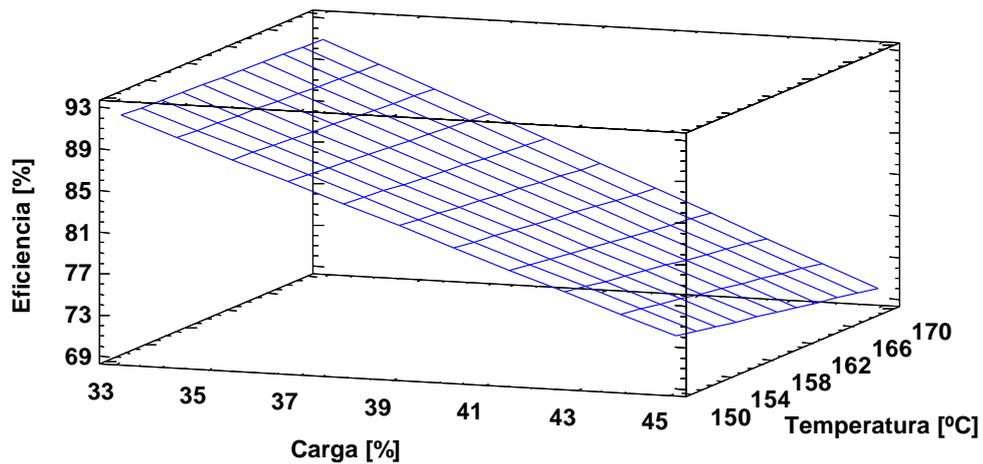
Análisis de Varianza para Eficiencia de microencapsulación					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Carga	1156,68	1	1156,68	1150,66	0,0000
B:Temperatura	14,9098	1	14,9098	14,83	0,0084
AB	5,52706	1	5,52706	5,50	0,0575
bloques	0,0285752	2	0,0142876	0,01	0,9859
Error total	6,03139	6	1,00523		
Total (corr.)	1183,18	11			



**Figura 5. ANOVA y diagrama de Pareto estandarizado para eficiencia de microencapsulación.**

Según el análisis, en el diagrama de Pareto, se observa que la carga y la temperatura poseen un efecto negativo, independiente y significativo sobre la eficiencia de microencapsulación (línea vertical) mientras que los dos factores en combinación no causan efecto.

Se puede afirmar que cuando la carga de aceite se encuentra al 33% el efecto de las diferentes temperatura es pequeño y proporcionan un valor alto en la eficiencia de microencapsulación, por el contrario cuando la carga de aceite se encuentra en su valor de 45% las temperatura poseen un efecto considerable y la variable de estudio disminuye notablemente en un 20%, Figura 6.



**Figura 6. Superficie de Respuesta estimada para la deseabilidad en Eficiencia de microencapsulación**

Esto demuestra que para los tratamientos en los cuales el porcentaje de carga de la mezcla aceites es mayor, la capacidad de la matriz polimérica para atrapar al aceite en la microcápsula disminuye, de la misma forma la temperatura excesiva no permite que las microcápsulas se formen correctamente y se produzcan partículas porosas, irregulares o con grietas que no logran capturar totalmente la mezcla de aceites en el interior de su estructura. En la Figura 7 se puede observar la diferencia cualitativa entre un 33 y 45% de carga de aceite a 150 °C.



**Figura 7. Diferencia cualitativa de muestras**

**Nota:** Al 33% de carga se presenta un polvo blanco seco sin presencia de grumos (f) mientras q al 45% se presenta un polvo de aspecto "húmedo", color crema con presencia de grumos (g)

Para optimizar el porcentaje de eficiencia de microencapsulación se recomienda aplicar un tratamiento que contenga un porcentaje de carga de aceite de 33% a una temperatura de 150 °C, siendo este el tratamiento T1 el que cumple con estas características, Figura 6. Y Tabla 9.

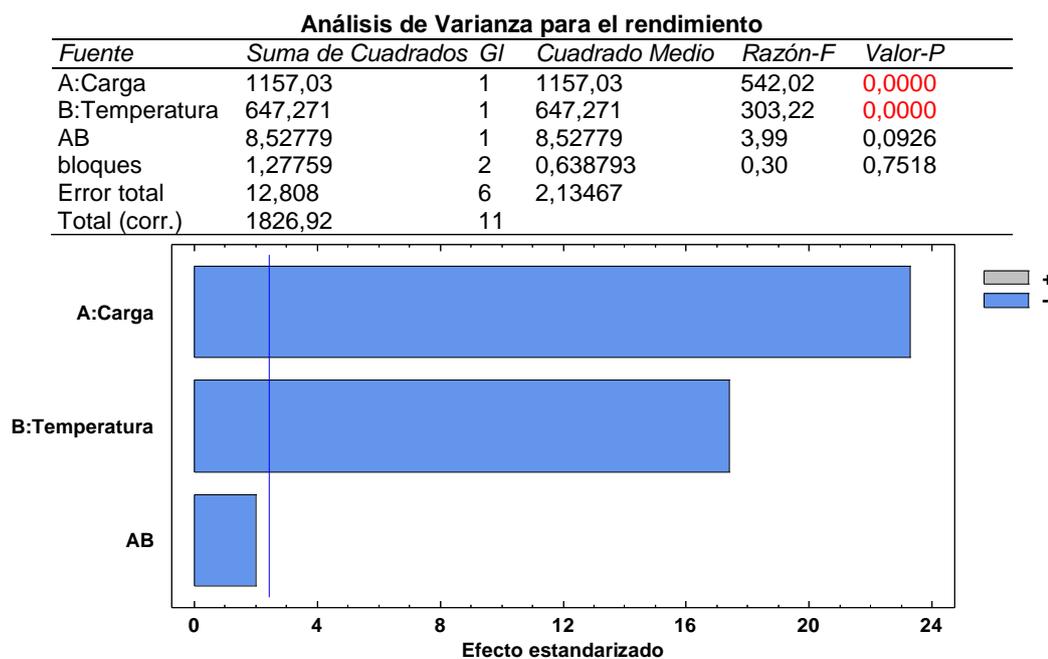
**Tabla 9. Optimización de respuestas**

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Carga	33	45	33
Temperatura	150	170	150

**Nota:** Deseabilidad 0.976406 se obtiene una eficiencia del 92,087%

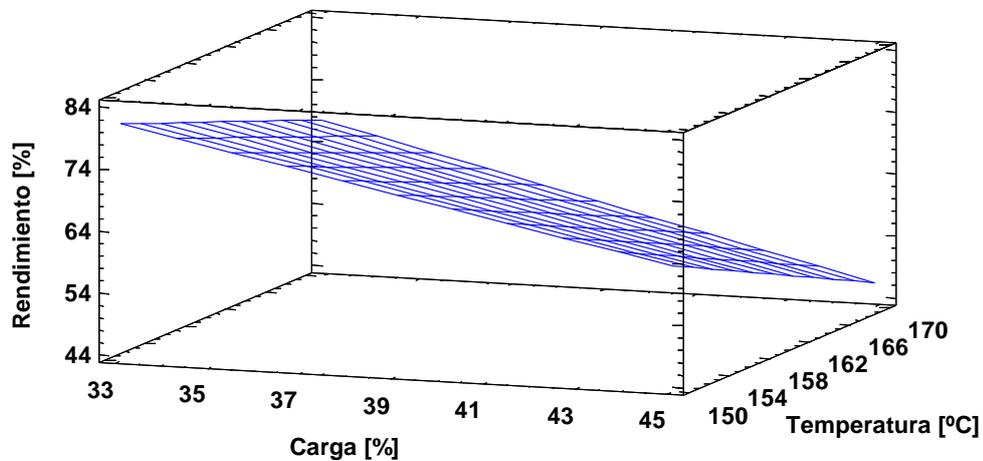
**Fuente:** Statgraphics Centurión XVI.I

EL análisis de varianza para el rendimiento del proceso muestra un valor-p menor de 0,05 tanto para la carga de aceite como para la temperatura de aire de entrada, indicando que tienen influencia significativa para un nivel de confianza de 95% Figura 8.



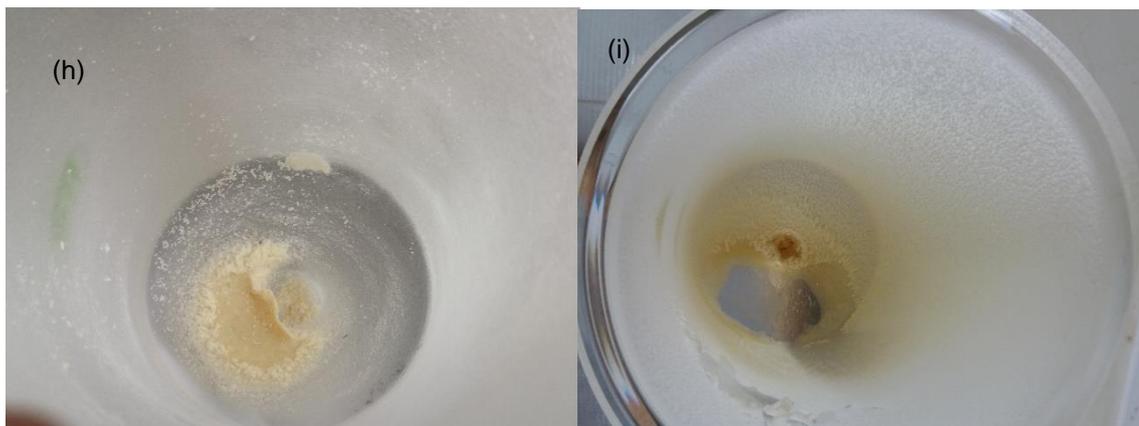
**Figura 8. ANOVA y diagrama de Pareto estandarizado para el rendimiento.**

El diagrama de Pareto presenta el efecto de la carga y la temperatura siendo estos negativos, independientes y significativos sobre el rendimiento (línea vertical), mientras que los dos factores en combinación no causan efecto.



**Figura 9. Superficie de Respuesta estimada para el rendimiento**

Claramente se observa una variación de rendimiento amplio al combinar los porcentajes de carga de aceite de 33 y 45% con las respectivas temperaturas 150 y 170 °C. Las pérdidas en valores de rendimiento están al rededor del 13 y 17% entre las temperaturas de 150 y 170 °C para cada porcentaje de carga respectivamente, Figura 9. Haciendo una comparación entre la eficiencia de microencapsulación y el rendimiento (Figura 6 y Figura 9), se observa que el rendimiento es mayormente afectado por la temperatura, provocando así que exista una adherencia y acumulación de partículas en las paredes del spray dryer, disminuyendo la cantidad de producto obtenido, Figura 10.



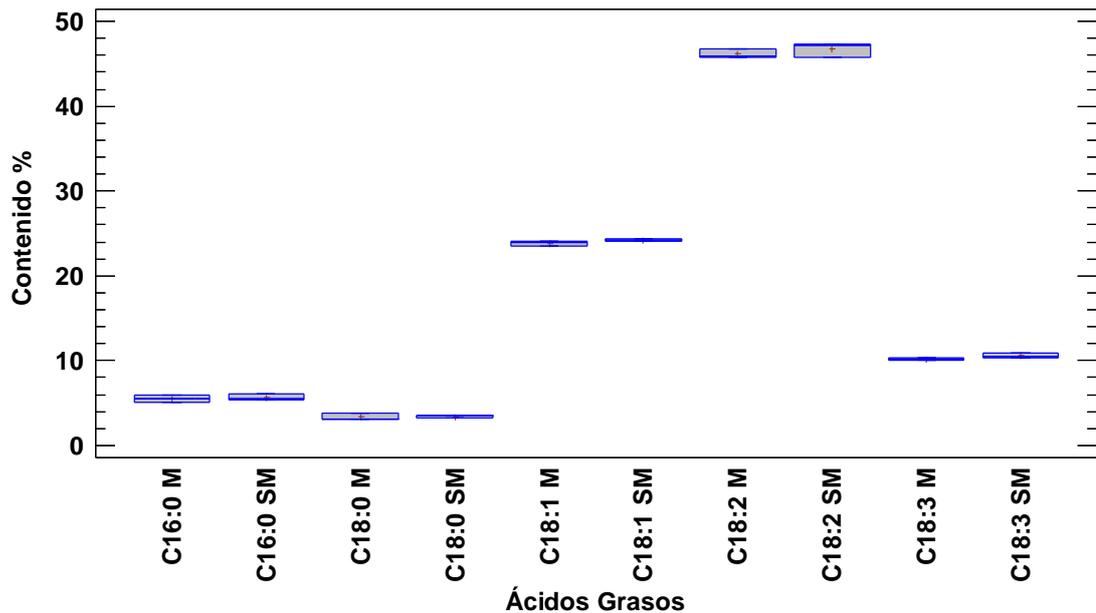
**Figura 10. Adherencia de partículas de 33 y 45 de carga a 170 °C**

**Nota:** Acumulación en el fondo, 33% de carga (h) y acumulación en el fondo y finas películas secas en las paredes al 45% carga (i).

Para obtener mejores resultados en rendimiento es recomendable apoyarse en la optimización de respuesta realizada para la eficiencia de microencapsulación ya que como se observa en la Figura 9, los valores altos de rendimiento se encuentra cuando la carga de aceite y temperatura de aire de entrada son de 33% y 150 °C respectivamente.

#### **4.2.2. Contenidos de ácidos grasos de la mezcla de aceites después del proceso de microencapsulación.**

El análisis de comparación de muestras con el programa Statgraphics Centurion XVI.I, se realizó para determinar si existe o no diferencia significativa en el contenido de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y polinsaturados de mayor importancia en la mezcla de aceite de Sacha inchi y Girasol al momento de ser sometidos al proceso de secado por aspersion dentro de la fase polimérica.



**Figura 11. Comparación de contenidos de ácidos grasos**

**Nota:** Contenido (%) de ácidos grasos para la mezcla de aceite de Sacha Inchi y Girasol (1:3,1) antes (SM) y después (M) del proceso de microencapsulación.

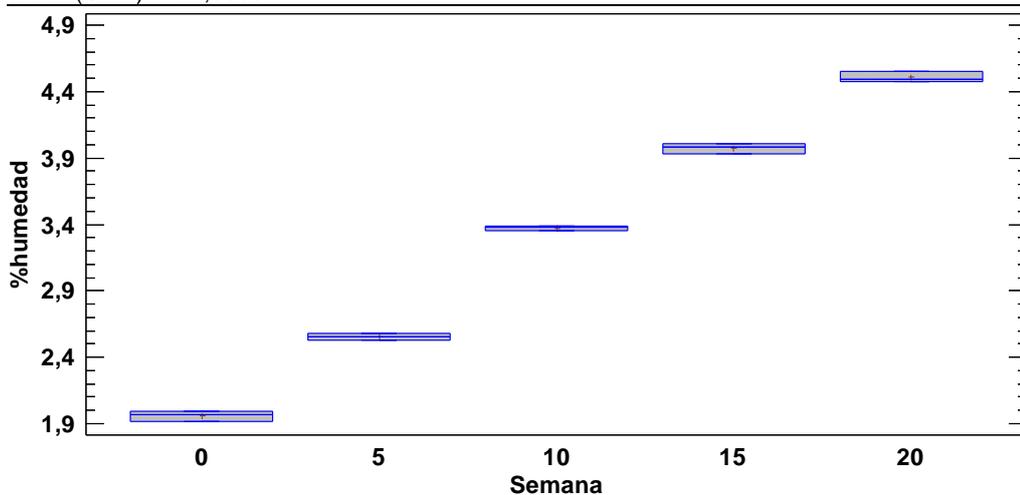
Se puede observar mediante la Figura 11, que en la comparación de las muestras antes y después del proceso de microencapsulación no existe diferencia significativa entre las medias de cada ácido grasos antes y después del proceso. Esto se corrobora al aplicar una prueba de múltiples rangos al 95% de confianza Anexo 2, En la cual puede observar que no existe diferencia significativa entre los grupos de los ácidos grasos antes y después de la microencapsulación mediante los 5 grupos homogéneos que comparten una misma columna de X's.

#### 4.2.3. Análisis de Humedad de las microcápsulas

La humedad se evaluó a la muestra que presentó mejor rendimiento y eficiencia de microencapsulación, la misma fue analizada durante 20 semanas a un intervalo de 5 semanas y almacenada a temperatura ambiente en bolsa plástica de polietileno lineal de baja densidad (LDPE) con cierre hermético.

**Tabla ANOVA**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	12,7931	4	3,19827	2943,19	0,0000
Intra grupos	0,0108667	10	0,00108667		
Total (Corr.)	12,8039	14			



**Pruebas de Múltiple Rangos**

Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
cero	3	1,96	X
cinco	3	2,55333	X
Diez	3	3,37333	X
quince	3	3,97333	X
veinte	3	4,50667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
cero - cinco	*	-0,593333	0,0599716
cero - Diez	*	-1,41333	0,0599716
cero - quince	*	-2,01333	0,0599716
cero - veinte	*	-2,54667	0,0599716
cinco - Diez	*	-0,82	0,0599716
cinco - quince	*	-1,42	0,0599716
cinco - veinte	*	-1,95333	0,0599716
Diez - quince	*	-0,6	0,0599716
Diez - veinte	*	-1,13333	0,0599716
quince - veinte	*	-0,533333	0,0599716

\* indica una diferencia significativa.

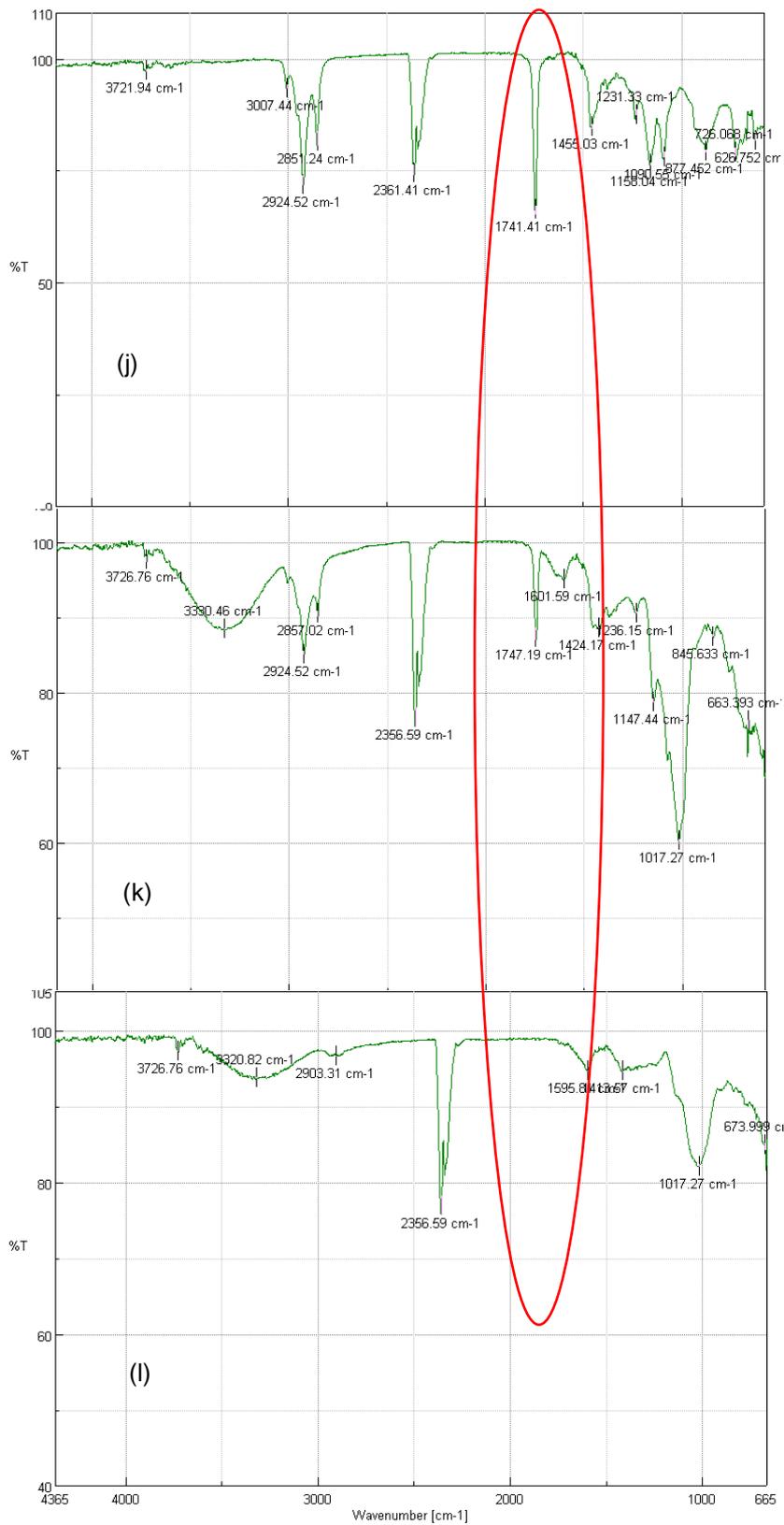
**Figura 12. Análisis estadístico para la humedad, a escala e Laboratorio**

Los resultados de la Figura 12 presentan un incremento conforme al paso del tiempo en el contenido de humedad, debido a que los alimentos en polvo poseen una tendencia higroscópica y absorben humedad del medio ambiente. La muestra presenta una humedad inicial de  $1.96 \pm 0.04\%$  y una humedad final de  $4.51 \pm 0.04\%$  después de 20 semanas de almacenamiento a temperatura ambiente, estos valores se encuentra dentro de los límites que se establecen para productos en polvo de consumo humano (Lobos, 2011; NTE, 3121, 2016) con un valor mínimo y máximo de entre 0 a 8% de humedad, conociendo que

cuanto menor es el porcentaje de humedad de un producto, mayor será su tiempo de vida útil.

#### **4.2.4. Análisis espectroscópico infrarrojo (IR) de la mezcla de aceites de Sacha Inchi y Girasol microencapsulado**

Los resultados de espectroscopía infrarroja se analizaron con la ayuda del software Spectra Manager que es parte del equipo (Jasco FT/IR 4100). La mezcla de maltodextrina y goma arábica 1:1; mezcla de aceites de Sacha inchi y Girasol 1:3,1 microencapsulado (alta eficiencia y rendimiento, T1) y la mezcla de aceites de Sacha inchi y Girasol 1:3,1 sin microencapsular presentaron espectros dentro de un rango de frecuencia de 4180 a 580  $\text{cm}^{-1}$

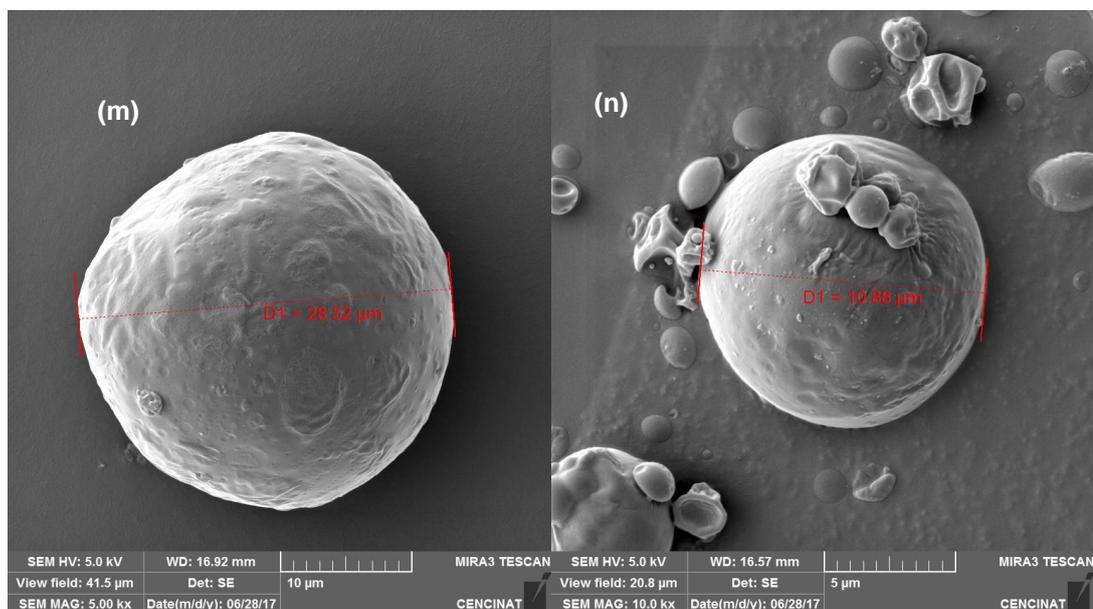


**Figura 13. Espectro IR de las muestras analizadas**  
**Nota:** Se observa los espectros de transmitancia de la mezcla de aceites sin microencapsular (j), microencapsulado (k) y de la mezcla polimérica (l)

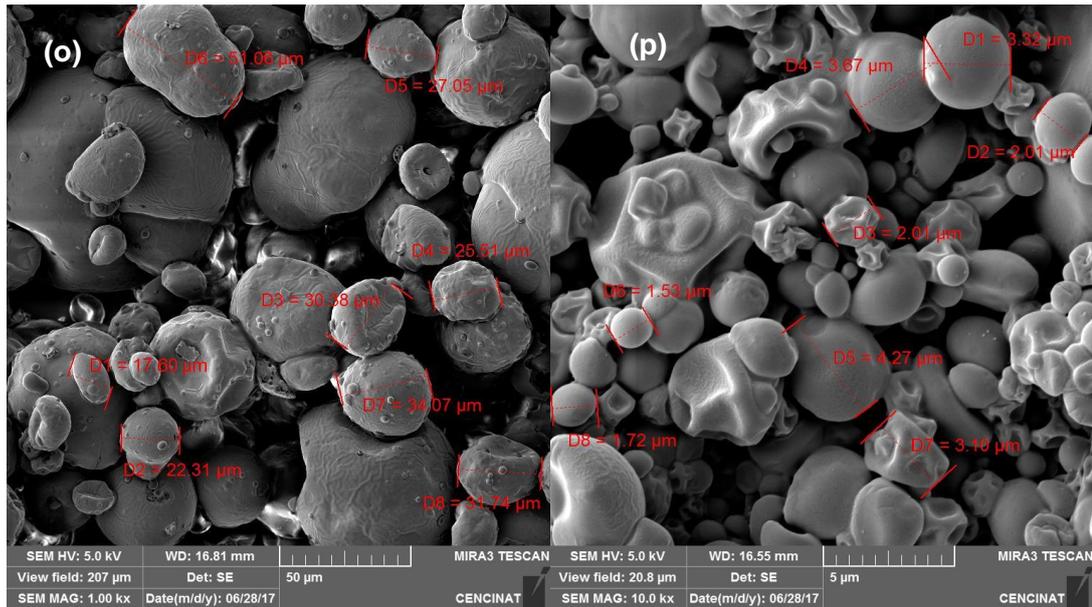
Las muestras analizadas que poseen la mezcla de aceite de Sacha inchi y Girasol presentan picos entre 1700 y 1800  $\text{cm}^{-1}$  característico de los ácidos grasos, siendo el pico de menor intensidad cuando la mezcla de aceites se encuentra microencapsulada, por su parte la muestra de polímeros (material encapsulante) no presenta ningún comportamiento característico del grupo carboxilo frente a la radiación infrarroja permitiendo así determinar que el proceso de microencapsulación de la mezcla de aceites es eficaz y que dicha mezcla se encuentra protegida dentro de la estructura de las microcápsulas, Figura 13.

#### 4.2.5. Morfología y distribución del tamaño de partícula de las microcápsulas

La Microscopía electrónica de barrido permitió caracterizar las microcápsulas formadas por la mezcla de polímeros, maltodextrina y goma arábica. Estas presentan diferencias en su geometría, superficie y tamaño de partícula entre las muestras que contienen 33 y 45% de carga de aceite a 150 °C. En la Figura 14 se puede observar la geometría y las diferencias de tamaño.



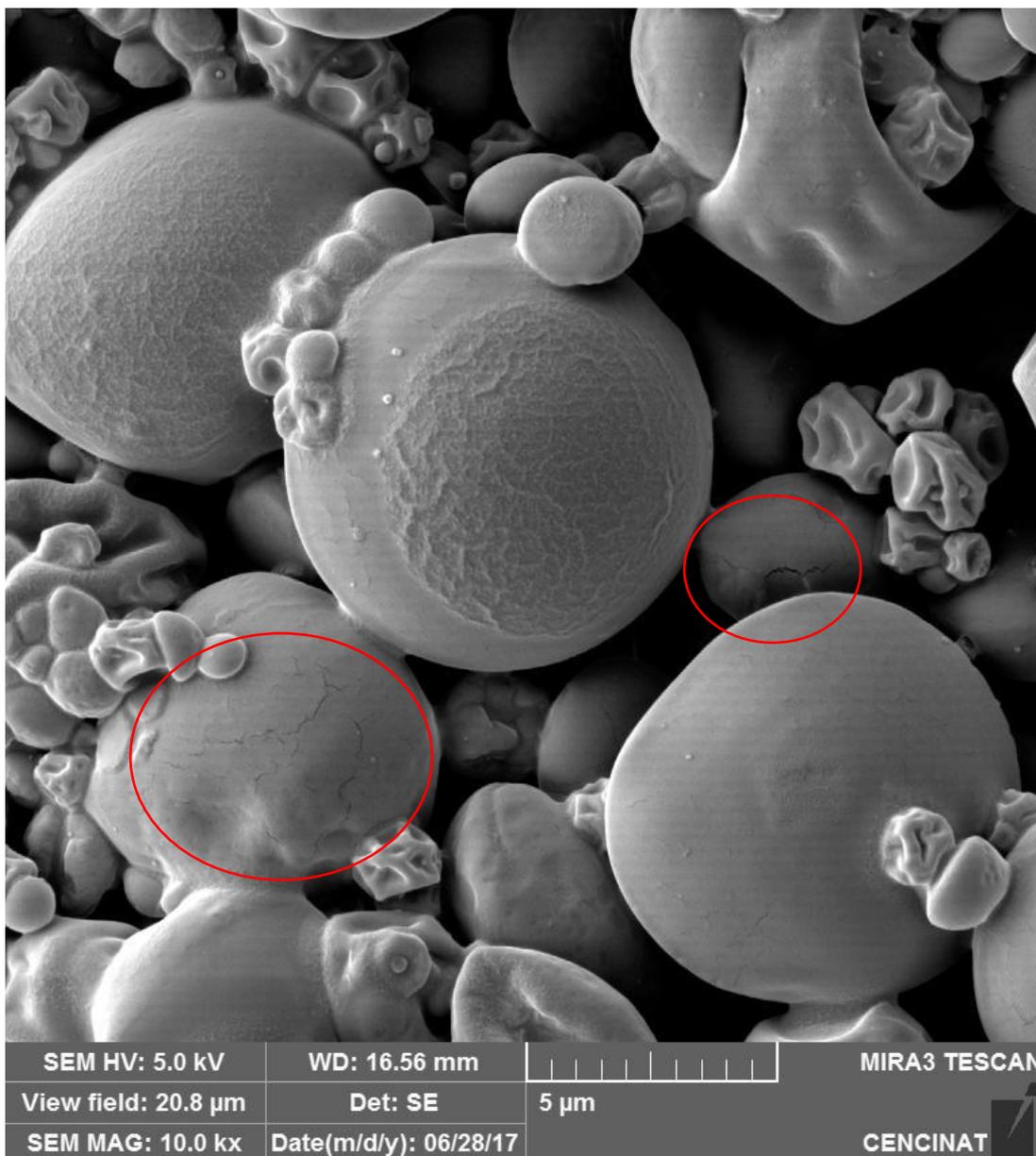
**Figura 14. Fotografía de microscopía electrónica de barrido, microcápsulas con 33% (m) y 45% (n) de carga de aceite.**



**Figura 15. Fotografía de microscopía electrónica de barrido, superficie**

**Nota:** 33% de carga de aceite (o) y 45% de carga de aceite (p)

El promedio de tamaño de partícula para la muestra con 33% de carga de aceite es cercano a 45 µm, favoreciendo la eficiencia de microencapsulación, su rendimiento y presenta una superficie lisa y libre de poros. El promedio de tamaño de partícula para la muestra con 45% de carga de la mezcla de aceites es cercano a 3 µm disminuyendo el rendimiento y la eficiencia de microencapsulación, presentando una superficie corrugada y con presencia de ligeras grietas (Figura 15 y Figura 16).



**Figura 16. Fotografía de microscopía electrónica de barrido, grietas**

**Nota:** Microcápsulas a 45% de carga de aceite

A 45% de carga de aceite las microcápsulas, durante el proceso de secado por aspersión, no llegan a formarse correctamente y las propiedades de formación de pared y de agente emulgente de la goma arábica disminuyen, dando como resultado microcápsulas pequeñas, corrugadas, con grietas por las cuales la mezcla de aceites se libera y entra contacto con el medio ambiente disminuyendo la eficiencia de microencapsulación, Figura 16.

### 4.3. Microencapsulación de la mezcla de aceite de Sacha Inchi y Girasol mediante secado por aspersión a nivel industrial

El proceso de escalado a nivel industrial permitió conocer el comportamiento de las variables establecidas a nivel de laboratorio aplicadas a un proceso industrial utilizando la misma materia prima, el lote obtenido durante el proceso de escalado presentó características físicas y químicas similares al producto obtenido a nivel de laboratorio.

#### 4.3.1. Eficiencia de microencapsulación y rendimiento

El producto obtenido a nivel industrial con los valores de carga de aceite y temperatura del aire de entrada (33% y 150 °C, respectivamente) con los cuales se obtuvieron mejores resultados de eficiencia y rendimiento de microencapsulación, presenta características similares al producto obtenido a nivel de laboratorio. En la Tabla 10 se pueden observar los valores de eficiencia de microencapsulación y rendimiento para el lote obtenido en la planta industrial de la empresa ANDES KINKUNA S.A.

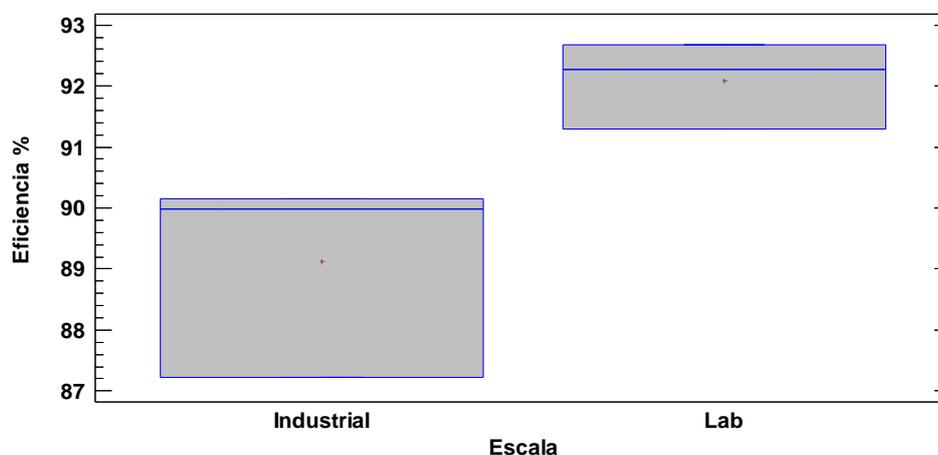
**Tabla 10. Eficiencia de Microencapsulación a nivel industrial**

G. Arábiga (Kg).	Malto. (Kg).	M. de Aceites (Kg).	Peso inicial (Kg).	Producto (Kg).	Rendimiento %	Eficiencia %
8,06	8,06	8,05	24,17	20,83	86,17	89,12 ± 1,64

Para entender el comportamiento del proceso estudiado a escala industrial, se vio necesario realizar una comparación de los valores de eficiencia de microencapsulación.

**Tabla ANOVA**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	13,1572	1	13,1572	8,23	0,0455
Intra grupos	6,39359	4	1,5984		
Total (Corr.)	19,5508	5			



**Pruebas de Múltiple Rangos**

Método: 95,0 porcentaje LSD

Escala	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Industrial	3	89,1217	X
Lab	3	92,0833	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Industrial - Lab	*	-2,96167	2,86607

\* indica una diferencia significativa.

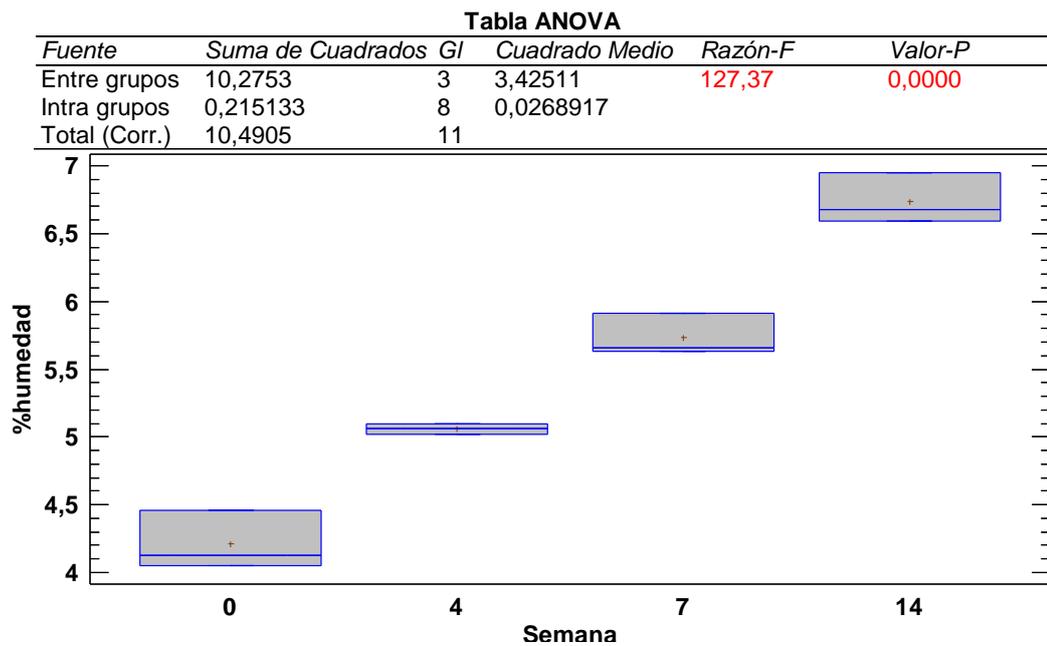
**Figura 17. Comparación estadística de le eficiencia de microencapsulación, Laboratorio vs Industrial.**

Al comparar los valores de eficiencia de microencapsulación del tratamiento T1 de la Tabla 8 con la obtenida a nivel industrial, Tabla 10, se puede observar que al escalar un proceso con las variables establecidas para el tratamiento que presento mejores resultados a escala de laboratorio, su comportamiento a nivel industrial llega a ser similar. El producto obtenido presenta un valor de eficiencia de  $89,12 \pm 1,64\%$  cercano al valor de  $92,08\%$  que se obtuvo a escala de laboratorio, Figura 17, estos tienen diferencia significativa pero se sugiere que se al mantener una eficiencia de microencapsulación alrededor del  $90\%$

la producción dentro de la industria no se ve afectada ya que se obtiene un valor de rendimiento de 86,17%, mayor al obtenido a nivel de laboratorio.

### 4.3.2. Análisis de Humedad del producto final

El producto final obtenido en el proceso de escalado industrial fue analizado en cuanto a la humedad durante 0, 4, 7 y 14 semanas.



#### Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
cero	3	4,21333	X
cuatro	3	5,06	X
siete	3	5,73333	X
catorce	3	6,74	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
cero - cuatro	*	-0,846667	0,308762
cero - siete	*	-1,52	0,308762
cero - catorce	*	-2,52667	0,308762
cuatro - siete	*	-0,673333	0,308762
cuatro - catorce	*	-1,68	0,308762
siete - catorce	*	-1,00667	0,308762

\* indica una diferencia significativa.

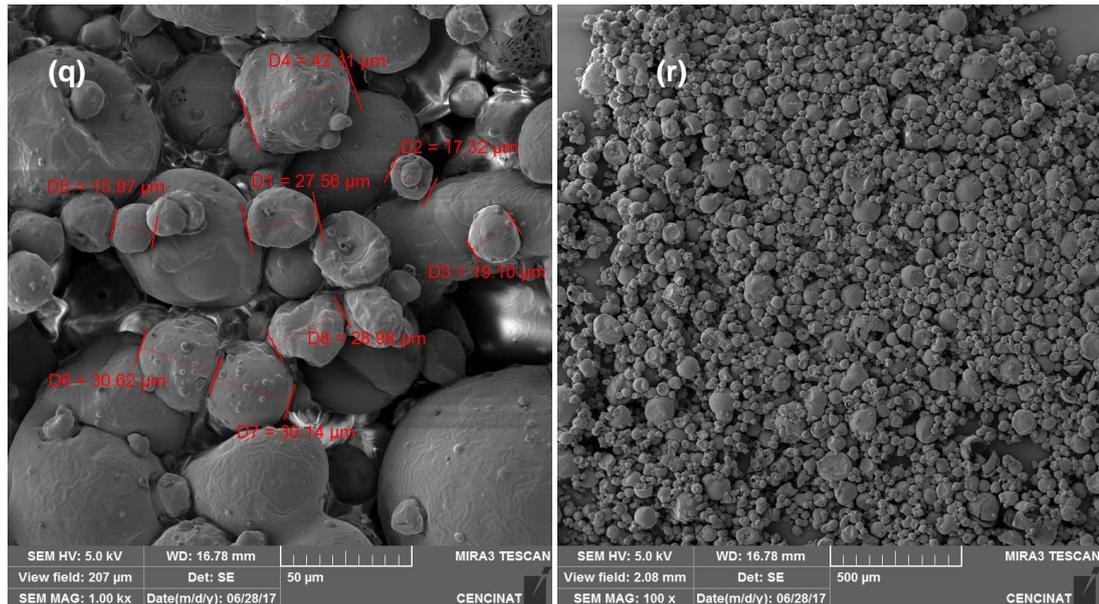
**Figura 18 Análisis estadístico para la Humedad, a escala Industrial.**

Los datos obtenidos muestran que la humedad se mantiene bajo el 8% establecido como límite máximo para productos en polvo destinados al consumo humano, se observa un incremento en el contenido de humedad del producto final en función del tiempo, Figura 18.

El comportamiento higroscópico el producto final provee un tiempo de vida útil del producto mayor a las 14 semanas desde su producción, es necesario aclarar que durante todo este tiempo la muestra se manipuló varias veces y por lo tanto su exposición a la humedad de ambiente fue concurrencia.

#### 4.3.3. Morfología y distribución de tamaño de partícula

Se presenta a continuación la caracterización de las microcápsulas del producto obtenido a nivel industrial por microscopia electrónica de barrido.



**Figura 19. Fotografía de microscopia electrónica de barrido, producto industrial**

**Nota:** se ilustra la distribución de tamaño (q) y un enfoque panorámico de las microcápsulas del producto final (r)

Las partículas obtenidas a nivel industrial presentan una distribución de tamaño similar a las obtenidas a escala de laboratorio, El promedio de tamaño

de partícula para el producto final es cercano a 42  $\mu\text{m}$  presentando una superficie lisa y libre de poros, Figura 19.

#### **4.4. Verificación de las Hipótesis**

##### **4.4.1. Efecto de los parámetros de operación sobre las variables de estudio**

Los análisis de varianza realizados tanto para la eficiencia de microencapsulación como para el rendimiento del proceso en el apartado 4.2.1 determinan que para un nivel de confianza del 95% los parámetros de operación tienen influencia significativa y por tanto se rechaza la hipótesis nula y se establece que la temperatura del aire de entrada y el porcentaje de carga de la mezcla de aceites afectan significativamente a la eficiencia de microencapsulación y al rendimiento. A su vez el proceso se ve optimizado cuando las variables de estudio se establecen a un 33% de carga de mezcla de aceites y 150 °C para la temperatura del aire de entrada.

##### **4.4.2. La concentración de omega 3, 6 y 9 de la mezcla de aceites de Sacha inchi y Girasol después del proceso de microencapsulación.**

El contenido de omega 3, 6 y 9 de la mezcla de aceites de Sacha inchi y Girasol a un nivel de confianza del 95% (apartado 4.2.2) no presenta cambios significativos después del proceso de microencapsulación aceptándose así la hipótesis nula y se establece que la concentración de omega 3, 6 y 9 de la mezcla de aceites de Sacha inchi y Girasol no presenta cambios significativos después del proceso de microencapsulación.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- ❖ Se determinó que para obtener un balance de ácido graso linoléico (omega-6) de 4,42 veces (dentro de los límites recomendados; 3 a 5 veces) mayor que el ácido linolénico (omega-3) en una mezcla de aceites vegetales de Sacha Inchi y Girasol, es necesario realizar una mezcla en proporciones de 1:3,1 partes de cada aceite respectivamente.
- ❖ La microencapsulación de dicha mezcla de aceites fue realizada mediante uso de una matriz polimérica, maltodextrina y goma arábiga proporción 1:1, dando como resultado una elevada eficiencia de microencapsulación de  $92,08 \pm 0,71\%$  y un rendimiento de  $81,06 \pm 1,75\%$ . El proceso de microencapsulación es optimizado a 33% de carga de mezcla de aceites y a una temperatura del aire de entrada de  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ❖ El contenido de ácidos grasos esenciales, omega-3, 6 y 9, no sufre ningún cambio significativo antes y después del proceso de microencapsulación, presentando un perfil lipídico con valores de  $10,20 \pm 0,14\%$  para el omega-3,  $46,18 \pm 0,50\%$  para el omega-6 y  $23,83 \pm 0,24\%$  para el omega-9.
- ❖ El producto presento una humedad por debajo del 8% establecido como límite máximo para productos en polvo al transcurrir 20 semanas después de su obtención. Mediante espectroscopia

infrarroja se comprueba que la mezcla de aceites vegetales de Sacha Inchi y Girasol se encuentra en el interior de las microcápsulas. Por microscopia electrónica de barrido se observó que las microcápsulas obtenidas tienen una forma esférica con una superficie lisa y libre de poros.

- ❖ A escala industrial se obtuvo un producto con características similares al obtenido a escala de laboratorio, este presentó una humedad de  $6,74 \pm 0.19$  % a las 14 semanas, una eficiencia de microencapsulación de  $89,12 \pm 1.64$ %, un rendimiento de 86,11% y una superficie lisa y libre de poros.

## **5.2. Recomendaciones**

- ❖ Realizar un análisis sensorial del ingrediente en polvo dentro de formulaciones de productos alimenticios.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, M., Barberá, M., Díaz, E., Duarte de Prado, A., Gil, Á., Gómez, S., & Gonzáles, M. (2016). *Alimentos Funcionales una aproximación a una nueva alimentación. Instituto de Nutrición y Transtornos Alimenticios.*
- Barberán, T. (2010). Alimentos Funcionales Esquema de presentación. *Ingenio 2010*, 87. Retrieved from [http://benasque.org/2010fronterastalim/talks\\_contr/085Tomas\\_Barberan.pdf](http://benasque.org/2010fronterastalim/talks_contr/085Tomas_Barberan.pdf)
- Chirinos, R., Zuloeta, G., Pedreschi, R., Mignolet, E., Larondelle, Y., & Campos, D. (2013). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*): A seed source of polyunsaturated fatty acids, tocopherols, phytosterols, phenolic compounds and antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 141(3), 1732–1739. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.078>
- Day, L., Seymour, R. B., Pitts, K. F., Konczak, I., & Lundin, L. (2009). Incorporation of functional ingredients into foods. *Trends in Food Science and Technology*, 20(9), 388–395. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.05.002>
- Ehrlich, S. D. (2015). Omega-6 fatty acids. Retrieved from <http://www.umm.edu/health/medical/altmed/supplement/omega6-fatty-acids>
- Epa, F., Liver, C., Dha, S., & Institutes, N. (2010). Omega-3 , 6 , and 9 and How They Add Up Omega-3 fatty acids Omega-3 , 6 , and 9 and How They Add Up Omega-6 fatty acids.
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40(9), 1107–1121. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.004>
- Gogus, U., & Smith, C. (2010). N-3 omega fatty acids: a review of current knowledge. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(3), 417–436. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02151.x>
- Gómez, M. F. D., Lozano, O. E. L., Regüerferio, M. G., Mancheño, R. G., Barragán, M. S. A., & Force, E. M. (2009). Estudio comparativo de la ozonización de aceites de girasol modificados genéticamente y sin modificar. *Química Nova*, 32(9), 2467–2472. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000900041>
- Hanson, J. A., Lin, Y. H., Dretsch, M. N., Strandjord, S. E., Haub, M. D., & Hibbeln, J. R. (2016). Whole food, functional food, and supplement sources of omega-3 fatty acids and omega-3 HUFA scores among U.S. soldiers. *Journal of Functional Foods*, 23, 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.02.017>
- Hung, W.-L., Sun Hwang, L., Shahidi, F., Pan, M.-H., Wang, Y., & Ho, C.-T. (2016). Endogenous formation of trans fatty acids: Health implications

- and potential dietary intervention. *Journal of Functional Foods*, 25, 14–24. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.05.006>
- Jiménez-Carvelo, A. M., González-Casado, A., & Cuadros-Rodríguez, L. (2017). A new analytical method for quantification of olive and palm oil in blends with other vegetable edible oils based on the chromatographic fingerprints from the methyl-transesterified fraction. *Talanta*, 164, 540–547. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2016.12.024>
- Lobos, A. (2011). *Formulación Y Desarrollo De Un Producto En Polvo Para Deportistas De Resistencia*. Universidad de Chile.
- López, O. D. (2010). Microencapsulación de sustancias oleosas mediante secado por aspersión. *Revista Cubana de Farmacia*, 44(3), 381–389.
- López H., O. D., Márquez C., T., Mayo A., O., Toledo S., C., & Pérez S., E. (2009). Características del Aceite de Semillas de Cucurbita pepo L. microencapsulado mediante secado por aspersión con maltodextrina y goma arábica. *Latin American Journal of Pharmacy*, 28(4), 628–632.
- Lunn, J., & Theobald, H. (2006). The health effects of dietary unsaturated fatty acids. *Nutrition Bulletin*, 31(3), 178–224. Retrieved from <http://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&PAGE=reference&D=emed10&NEWS=N&AN=44313396>
- Manickavasagan, A., & Al-Sabahi, J. N. (2014). Reduction of saturated fat in traditional foods by substitution of ghee with olive and sunflower oils - A case study with halwa. *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, 15(1), 61–67. <https://doi.org/10.1016/j.jaubas.2013.06.003>
- Mariod, A., & Matthäus, B. (2005). Improving the Oxidative Stability of Sunflower Oil by Blending with *Sclerocarya birrea* and *Aspongopus viduatus* Oils. *Journal of Food Lipids*, 150–158.
- Matsuno, R., & Adachi, S. (1993). Lipid encapsulation technology - techniques and applications to food. *Trends in Food Science and Technology*, 4(8), 256–261. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(93\)90141-V](https://doi.org/10.1016/0924-2244(93)90141-V)
- Medina, J. I. (2014). *Determinación de contenido de ácido oleico, linoleico, linolénico y trans-elaídico en margarinas, aceites y mayonesas por cromatografía de gases*. Universidad Central del Ecuador.
- Niu, L., Li, J., Chen, M. S., & Xu, Z. F. (2014). Determination of oil contents in Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) seeds at different developmental stages by two methods: Soxhlet extraction and time-domain nuclear magnetic resonance. *Industrial Crops and Products*, 56, 187–190. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.03.007>
- NTE, 3121, E. N. I. (2016). *Sopas, Caldos y Cremas deshidratadas. Requisitos*.
- OMS. (2014). Perfil de Enfermedades Crónicas no Trasmisibles de Ecuador,

2014. <https://doi.org/10.1093/obo/9780199766581-0155>

- OMS/FAO. (2003). Dieta, nutrición y prevención de enfermedades crónicas, Informe de una Consulta Mixta de Expertos. *Serie de Informes Técnicos 916, 1*, 1–152.
- Plaza del Moral, M. (2010). *Búsqueda de nuevos ingredientes funcionales naturales procedentes de algas*. Universidad Autónoma de Madrid.
- Quispe-Condori, S., & Saldaña, M. D. A. (2011). Microencapsulation of sachu inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil with zein. *Icef 2011*, (Icef11).
- Ramadan, M. F. (2013). Healthy blends of high linoleic sunflower oil with selected cold pressed oils: Functionality, stability and antioxidative characteristics. *Industrial Crops and Products*, *43*(1), 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.07.013>
- Royo, F. (2000). Tablas de Espectroscopía Infrarroja. *Facultad de Química - Departamento de Programas Audiovisuales*, 14. Retrieved from [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IRTablas\\_33080.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IRTablas_33080.pdf)
- Russo, G. L. (2009). Dietary n - 6 and n - 3 polyunsaturated fatty acids: From biochemistry to clinical implications in cardiovascular prevention. *Biochemical Pharmacology*, *77*(6), 937–946. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2008.10.020>
- Serra, L., & Aranceta, J. (2002). Guía de alimentos funcionales. *Sociedad Española Nutrición Comunitaria. Instituto Omega 3. Confederación de Consumidores Y Usuarios.*, 2–14.
- Shurvell, H. F. (2000). Spectra – Structure Correlations in the Mid- and Far-infrared. <https://doi.org/10.1002/0470027320.s4101>
- Xu, J., Liu, X.-F., & Wang, Y.-T. (2016). A detection method of vegetable oils in edible blended oil based on three-dimensional fluorescence spectroscopy technique. *Food Chemistry*, *212*, 72–77. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.158>

## ANEXOS

### Anexo 1. Tablas del Análisis Estadístico

**Tabla 11. Valores de eficiencia de microencapsulación y rendimiento a analizar**

Tratam.	% Carga	Temp. de entrada °C	Temp. de Salida °C	Eficiencia (ME) %			Rendimiento %		
				R1	R2	R3	R1	R2	R3
T1	33	150	90	92,68	92,27	91,30	79,15	81,41	82,61
T2	33	170	90	90,43	91,53	91,67	67,93	68,57	67,66
T3	45	150	90	74,97	72,90	73,54	62,06	63,22	64,04
T4	45	170	90	69,11	70,89	70,65	48,10	47,21	44,88

**Tabla 12. Comparación del contenido de ácidos grasos antes y después del proceso de microencapsulación**

Ácidos Grasos	Antes	Después
	Mezcla 1:3,1	Mezcla 1:3,1
Ácido Palmítico (C16:0)	5,66 ± 0,406	5,47 ± 0,435
Ácido Esteárico (C18:0)	3,43 ± 0,137	3,37 ± 0,439
Ácido Oleico (C18:1)	24,19 ± 0,119	23,83 ± 0,239
Ácido Linoleico (C18:2)	46,76 ± 0,895	46,18 ± 0,501
Ácido Linolénico (C18:3)	10,58 ± 0,331	10,20 ± 0,138

**Tabla 13. Prueba de múltiples rangos para el contenido de ácidos grasos**

Ácidos Grasos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
C18:0 M	3	3,3693	X
C18:0 SM	3	3,4287	X
C16:0 M	3	5,4693	X
C16:0 SM	3	5,6567	X
C18:3 M	3	10,1970	X
C18:3 SM	3	10,5847	X
C18:1 M	3	23,8260	X
C18:1 SM	3	24,1917	X
C18:2 M	3	46,1790	X
C18:2 SM	3	46,7630	X

SM: sin microencapsular; M: microencapsulado

## Anexo 2. Ilustraciones del Proceso de investigación

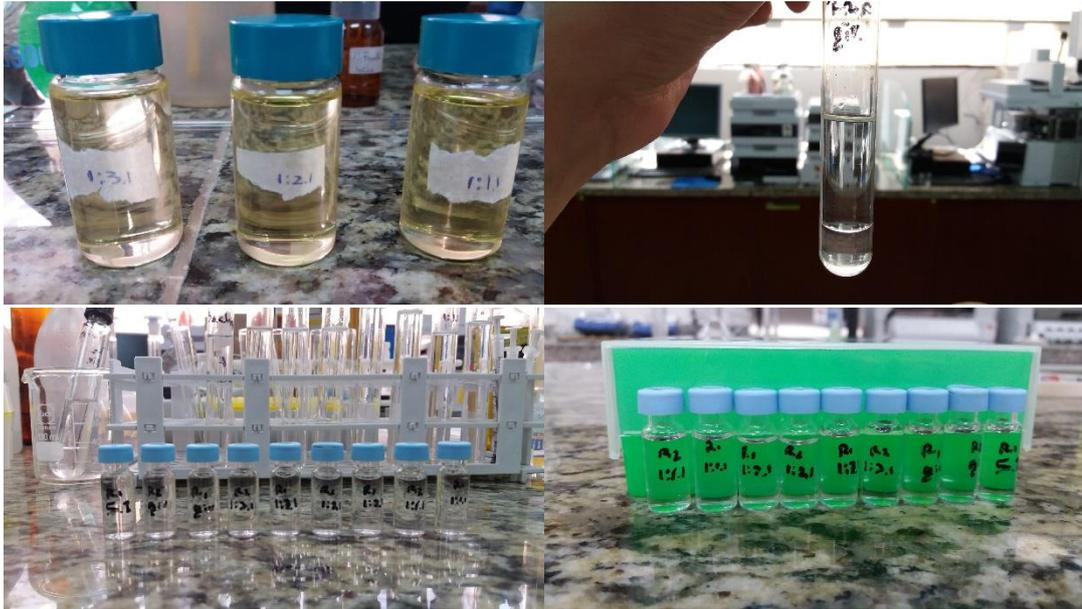


Imagen 1. Mezcla de aceites y preparación de esteres metílicos



Imagen 2. Preparación de mezcla polimérica con mezcla de aceites y proceso de microencapsulación

Nota: BUCHI Mini Spray Dryer B-290



**Imagen 3. Determinación de humedad**

**Nota:** Mettler Toledo HX204 Moisture Analyzer



**Imagen 4. Determinación del porcentaje de ácidos grasos**

**Nota:** Cromatógrafo Agilent Technologies 7890B GC System Analyzer



**Imagen 5. Determinación de aceite superficial**

**Nota:** VELP Scientifica SER 148 Solvent Extractor Analyzer



**Imagen 6. Evaluación por radiación infrarroja**

**Nota:** Espectrofotómetro Infrarrojo Jasco FT/IR 4100



**Imagen 7. Muestras recubiertas con oro y observación por microscopía electrónica de barrido**

**Nota:** Microscopio electrónico de barrido TESCAN MIRA 3



### Imagen 8. Escalado a nivel industrial

Nota: Chemar Centrifugal Spray dyer 2015229, Planta ANDES KINKUNA S.A.