



**UNAP**



**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE BROMATOLOGÍA Y NUTRICIÓN HUMANA**

**TESIS**

OPTIMIZACIÓN DE MICROPARTÍCULAS POR METODOLOGÍA DE  
SUPERFICIE DE RESPUESTA CONTENIENDO ACEITE POR *SPRAY*  
*DRYING*

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
LICENCIADO EN BROMATOLOGÍA Y NUTRICIÓN HUMANA**

**PRESENTADO POR:**

FLAVIA VIRGINIA PALOMINO PÉREZ

**ASESORES:**

Ing. RAFAEL SEGUNDO VELA PAREDES, MSc.

Ing. ALENGUER GERÓNIMO ALVA ARÉVALO, Dr.

Ing. FERNANDO TELLO CÉLIS, Dr.

**IQUITOS, PERÚ**

**2021**



**UNAP**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**  
Escuela Profesional de Bromatología y Nutrición Humana

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 012-CGT-FIA-UNAP-2021**

A los 18 días del mes de setiembre de 2021, a horas...**10:10.**, se conectaron vía Plataforma Zoom, dando inicio a la sustentación pública de la Tesis titulada **“OPTIMIZACIÓN DE MICROPARTÍCULAS POR METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA CONTENIENDO ACEITE POR SPRAY DRYING”**, presentado por la Bachiller **FLAVIA VIRGINIA PALOMINO PÉREZ**, para optar el Título Profesional de Licenciada en Bromatología y Nutrición Humana, que otorga la Universidad de acuerdo a Ley y Estatuto.

El Jurado Calificador y dictaminador designado mediante Resolución Decanal N° 0118-FIA-UNAP-2021 del 30 de junio de 2021, está integrado por:

**Ing. SEGUNDO ARÉVALO DEL AGUILA, MSc**  
**Ing. GIORGIO SERGIO URRO RODRIGUEZ, Mtro**  
**Lic. MIRIAM RUTH ALVA ANGULO, Mgr.**

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

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

La sustentación pública y la tesis ha sido: **APROBADA** con la calificación **MUY BUENA (17:33)**

Estando la bachiller apta para obtener el Título Profesional de Licenciada en Bromatología y Nutrición Humana, Siendo las **11:10** se dio por terminado el acto de sustentación.

**Presidente**

Ing. SEGUNDO ARÉVALO DEL AGUILA, MSc  
CIP: 26699

**Miembro**

Ing. GIORGIO SERGIO URRO RODRIGUEZ, Mtro.  
CIP: 78406

**Miembro**

Lic. MIRIAM RUTH ALVA ANGULO, Mgr  
CNP: 130

**Asesor**

Ing. ALENGUER GERÓNIMO ALVA AREVALO, Dr.  
CIP: 45167

**Asesor**

Ing. FERNANDO TELLO CELIS, Dr.  
CIP: 47489

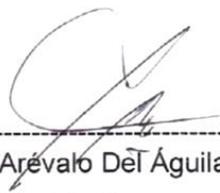
**Asesor**

Ing. RAFAEL SEGUNDO VELA PAREDES, MSc.  
CIP: 227829



## JURADO CALIFICADOR

El jurado calificador certifica que el trabajo de investigación “**OPTIMIZACIÓN DE MICROPARTÍCULAS POR METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA CONTENIENDO ACEITE POR *SPRAY DRYING***” de responsabilidad de la bachiller **FLAVIA VIRGINIA PALOMINO PÉREZ**; han sido detalladamente revisados por los miembros del jurado, quedando autorizado para la sustentación.



Ing. Segundo Arevalo De la Águila, Msc.  
Presidente



Ing. Giorgio Sergio Urro Rodríguez, Msc.  
Miembro



Lic. Miriam Ruth Alva Angulo, Mgr.  
Miembro

## AUTORIZACIÓN DE ASESORES

El Doctor Fernando Tello Célis, docente principal adscrito al Departamento de Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias, el Doctor Alenguer Gerónimo Alva Arévalo, docente principal adscrito al Departamento de Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias y el MSc. Rafael Segundo Vela Paredes, docente adscrito al Departamento de Agroindustrias de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín.

### INFORMAMOS:

Que la Bachiller, **Flavia Virginia Palomino Pérez**, ha realizado bajo nuestra dirección, el trabajo contenido en la tesis intitulada: "OPTIMIZACIÓN DE MICROPARTÍCULAS POR METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA CONTENIENDO ACEITE POR *SPRAY DRYING*", considerando que el mismo reúne los requisitos necesarios para ser presentado, ante el Jurado Calificador, a tal efecto damos pase para su sustentación y posterior obtención del título de: Licenciada en Bromatología y Nutrición Humana.

**AUTORIZAMOS:** A la citada Bachiller a presentar el Trabajo Final de Carrera, para proceder a su sustentación cumpliendo así con la normativa vigente que regula el Reglamento de Grados y Títulos en la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana.

-----  
Dr. Alenguer Gerónimo Alva Arevalo  
Asesor

-----  
MSc. Rafael Segundo Vela Paredes  
Asesor

-----  
Dr. Fernando Tello Célis  
Asesor

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi asesor principal, por creer en mí y permitirme ser parte de este proyecto de investigación.

A mi madre por su paciencia, apoyo económico y su motivación constante durante esta experiencia.

***Flavia Virginia***

## **AGRADECIMIENTO**

Un especial agradecimiento al **CONCYTEC – PROCIENCIA** por el financiamiento de este trabajo en el marco de la convocatoria E041 - 01 (Contrato N° 021-2018-FONDECYT – BM – IADT – MU).

Agradezco a Dios por mantenerme saludable al día de hoy para culminar con la tesis.

Agradecer a mi asesor, el Dr. Fernando Tello Céelis, que con sus conocimientos, paciencia y apoyo me guio a través de cada una de las etapas de este trabajo para alcanzar los resultados esperados.

Agradezco a mis profesores de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana que contribuyen a mi formación profesional y en el especial a mis profesores de la Facultad de Industrias Alimentarias.

A Claudia Milena Santos Jara (Gestor Tecnológico), a Estefany Deyhanyra Rengifo Silvano (Técnico en Investigación), por su tiempo, apoyo, orientación y amistad.

A todas las personas que directa o indirectamente contribuyeron en el desarrollo de mi tesis, muchas gracias.

***Flavia Virginia***

## CONTENIDO

|   |             |
|---|-------------|
| <b>PORTADA</b>  | <b>i</b>    |
| <b>ACTA DE SUSTENTACIÓN</b>                                       | <b>ii</b>   |
| <b>JURADO CALIFICADOR</b>   | <b>iii</b>  |
| <b>AUTORIZACIÓN DE ASESORES</b>                                   | <b>iv</b>   |
| <b>DEDICATORIA</b>  | <b>v</b>    |
| <b>AGRADECIMIENTO</b>   | <b>vi</b>   |
| <b>CONTENIDO</b>  | <b>vii</b>  |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS</b>   | <b>x</b>    |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>  | <b>xi</b>   |
| <b>ABREVIATURAS</b>   | <b>xii</b>  |
| <b>RESUMEN</b>  | <b>xiii</b> |
| <b>ABSTRACT</b>   | <b>xiv</b>  |
| <b>INTRODUCCIÓN</b>   | <b>1</b>    |
| <b>CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO</b>                                  | <b>4</b>    |
| <b>1.1 Antecedentes</b>   | <b>4</b>    |
| <b>1.2. Bases teóricas</b>  | <b>5</b>    |
| 1.2.1 Ácidos grasos poliinsaturados: Panorama del consumo mundial | 5           |
| 1.2.1.1 Aceite de pescado   | 5           |
| 1.2.1.2 Aceite de sacha inchi                                     | 6           |
| 1.2.2 Metodología de Superficie de Respuesta                      | 7           |
| 1.2.3 Microencapsulación  | 7           |
| 1.2.4 Tecnologías de microencapsulación                           | 8           |
| 1.2.4.1 Secado por pulverización (spray drying)                   | 8           |
| 1.2.4.2 Coacervación compleja                                     | 8           |
| 1.2.4.3 Gelificación iónica                                       | 8           |
| 1.2.5 Emulsión  | 9           |
| 1.2.6 Parámetros de las emulsiones                                | 9           |
| 1.2.6.1 Propiedades de la emulsión                                | 9           |
| 1.2.6.2 Propiedades de las micropartículas                        | 10          |
| 1.2.7 Materiales de pared   | 10          |
| 1.2.7.1 Inulina   | 11          |
| 1.2.7.2 Goma arábica  | 11          |
| 1.2.8 Oxidación de lípidos  | 11          |
| <b>1.3 Definición de términos básicos</b>                         | <b>12</b>   |
| 1.3.1 Microencapsulación  | 12          |
| 1.3.2 <i>Spray drying</i>   | 12          |
| 1.3.3 Estabilidad oxidativa                                       | 12          |
| 1.3.4 Metodología de superficie de respuesta (MSR)                | 12          |

|  |   |           |
|--|---|-----------|
| 1.3.5                                      | Optimización  | 13        |
| <b>CAPITULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES</b>  |   | <b>14</b> |
| <b>2.1</b>                                 | <b>Formulación de la hipótesis</b>  | <b>14</b> |
| <b>2.2</b>                                 | <b>Variables y su operacionalización</b>  | <b>14</b> |
| 2.2.1                                      | Variables independientes  | 14        |
| 2.2.1.1                                    | Estudio para la optimización de micropartículas conteniendo aceite por spray drying                               | 14        |
| 2.2.2                                      | Variables dependientes  | 14        |
| 2.2.2.1                                    | Estudio para la optimización de la producción micropartículas conteniendo aceite por spray drying.                | 14        |
| 2.2.2                                      | Operacionalidad de variables  | 20        |
| <b>CAPITULO III: METODOLOGÍA</b>           |   | <b>21</b> |
| <b>Material y equipos</b>                  |   | <b>21</b> |
| <b>3.1</b>                                 | <b>Tipo y diseño de estudio</b>   | <b>22</b> |
| 3.1.1                                      | Optimización de la producción micropartículas por <i>spray drying</i>   | 22        |
| <b>3.2</b>                                 | <b>Diseño muestral</b>  | <b>24</b> |
| <b>3.3</b>                                 | <b>Procedimientos de recolección de datos</b>   | <b>24</b> |
| <b>3.4</b>                                 | <b>Procesamiento y análisis de los datos</b>  | <b>25</b> |
| <b>3.5</b>                                 | <b>Métodos analíticos</b>   | <b>25</b> |
| 3.5.1                                      | Caracterización de materiales   | 25        |
| 3.5.2                                      | Producción de micropartículas por Spray dryer   | 25        |
| 3.5.3                                      | Eficiencia de encapsulación (EE)  | 26        |
| 3.5.4                                      | Humedad   | 26        |
| 3.5.5                                      | Tamaño de las micropartículas   | 26        |
| 3.5.6                                      | Microestructura   | 27        |
| 3.5.7                                      | Higroscopicidad de las micropartículas  | 27        |
| 3.5.8                                      | Perfil de ácidos grasos   | 27        |
| 3.5.9                                      | Solubilidad de las micropartículas  | 28        |
| 3.5.10                                     | Estabilidad oxidativa   | 28        |
| <b>3.6</b>                                 | <b>Aspectos éticos</b>  | <b>29</b> |
| <b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> |   | <b>30</b> |
| <b>4.1</b>                                 | <b>Caracterización de material encapsulantes</b>  | <b>30</b> |
| <b>4.2</b>                                 | <b>Caracterización del aceite de sachu inchi</b>  | <b>30</b> |
| <b>4.3</b>                                 | <b>Secado por pulverización y procedimiento experimental</b>  | <b>31</b> |
| <b>4.4</b>                                 | <b>Diseño experimental</b>  | <b>31</b> |
| <b>4.5</b>                                 | <b>Selección del modelo apropiado para eficiencia de encapsulación en micropartículas por <i>spray drying</i></b> | <b>35</b> |
| <b>4.6</b>                                 | <b>Optimización de la eficiencia de encapsulación de micropartículas.</b>   | <b>39</b> |

|  |   |           |
|--|---|-----------|
| 4.7  | Eficiencia de encapsulación en micropartículas producidas por <i>spray drying</i>                     | 41        |
| 4.8  | Selección del modelo apropiado para el índice de peróxidos en micropartículas por <i>spray drying</i> | 41        |
| 4.9  | Estabilidad oxidativa del aceite libre y encapsulado  | 45        |
| 4.10   | Contenido de humedad de las micropartículas   | 47        |
| 4.11   | Solubilidad de las micropartículas  | 48        |
| 4.12   | Higroscopicidad de las micropartículas  | 49        |
| 4.13   | Microestructura de micropartículas  | 50        |
| 4.14   | Optimización de los parámetros y análisis del proceso del modelo                                      | 51        |
| <b>CAPITULO VI: CONCLUSIONES</b>             |   | <b>53</b> |
| <b>CAPITULO VII: RECOMENDACIONES</b>         |   | <b>53</b> |
| <b>CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN</b> |   | <b>54</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  | Pág. |
|--|------|
| Tabla 2.1. Operacionalidad de variables  | 20   |
| Tabla 3.1. Variables experimentales utilizadas en el estudio   | 23   |
| Tabla 3.2. Diseño experimental para para producción de micropartículas por <i>spray drying</i> con variación de Temperatura de entrada (°C) y combinación de biopolímeros (GA:INU) | 23   |
| Tabla 4.1. Composición centesimal de materiales encapsulantes  | 30   |
| Tabla 4.2. Composición de ácidos grasos de aceite de sachá inchi   | 30   |
| Tabla 4.3. Condiciones operativas ensayadas y resultados experimentales producidas por <i>spray drying</i>   | 36   |
| Tabla 4.4. Regresión de superficie de respuesta: EE vs. Temp; Bio Análisis de Varianza   | 37   |
| Tabla 4.5. Resumen del modelo de Eficiencia de encapsulación de micropartículas por <i>spray drying</i>  | 38   |
| Tabla 4.6. Análisis de la varianza para la variable de eficiencia de encapsulación de micropartículas por <i>spray drying</i>  | 40   |
| Tabla 4.7. Coeficiente de variación para predecir la eficiencia de encapsulación por <i>spray drying</i>   | 41   |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   | Pág. |
|---|------|
| Figura 4.1. Gráfica de Superficie de Respuesta para la optimización de la eficiencia de encapsulación por <i>spray drying</i> .   | 38   |
| Figura 4.2. Gráfico de contorno de la eficiencia de encapsulación de micropartículas por <i>spray drying</i>  | 39   |
| Figura 4.3. Diagrama de Pareto de las variables   | 40   |
| Figura 4.4. La Superficie de respuesta del valor deseable de la eficiencia de encapsulación de micropartículas por <i>spray drying</i> . B. Gráfico de contorno del valor deseable de la eficiencia de encapsulación de micropartículas por <i>spray drying</i> . | 42   |
| Figura 4.5. Fotos de micropartículas de goma arábica e inulina conteniendo aceite de sacha inchi obtenidas por microscopia electrónica de barrido. Barra de 50 $\mu\text{m}$ y 5 $\mu\text{m}$ .  | 48   |

## ABREVIATURAS

| <b>Abreviatura</b> | <b>Definición</b>                      |
|--------------------|--|
| AGP                | Ácidos grasos poliinsaturados          |
| ALA                | Ácido alfa-Linolénico                  |
| AP                 | Aceite de pescado                      |
| ASI                | Aceite de sachá inchi                  |
| EE                 | Eficiencia de encapsulación            |
| INU                | Inulina                                |
| DHA                | Ácido docosahexaenoico                 |
| EPA                | Ácido eicosapentaenoico                |
| Hu                 | Humedad                                |
| So                 | Solubilidad                            |
| Hi                 | Higroscopicidad                        |
| MO                 | Microscopia óptica                     |
| MSR                | Microscopia de Superficie de Respuesta |
| ND                 | No determinado                         |
| OMS                | Organización Mundial de la Salud       |
| PP                 | Producción de peróxidos                |
| DBB                | Diseño Box-Bhenken                     |

## RESUMEN

La microencapsulación se presenta como una alternativa para retardar la oxidación de los ácidos grasos poliinsaturados y así aumentar la vida útil. La literatura indica al secado por pulverización como el método más utilizado para encapsular aceites. Sin embargo, presenta algunas desventajas, como el uso de altas temperaturas aumenta la oxidación de los ácidos grasos poliinsaturados. En este contexto, el secado por pulverización permite convertir un alimento líquido en sólido. El objetivo de este estudio fue optimizar las condiciones de secado por pulverización para el aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis L.*) utilizando la metodología de superficie de respuesta. Los resultados indicaron que la respuesta correspondiente al modelo de superficie de respuesta fue suficiente para describir y predecir la eficiencia de encapsulación (EE). Se evaluó el efecto de la temperatura del aire de entrada (160-180 °C) y la combinación de GA:INU. Las micropartículas obtenidas bajo condiciones óptimas fueron caracterizadas, evaluando los parámetros de EE producción de peróxidos, humedad, higroscopicidad y solubilidad. La EE (83.30±0.01%), fue significativamente mayor y la protección frente a la oxidación lipídica después de la producción (6.44±0.19 meq O<sub>2</sub>/kg de aceite) y después de 4 semanas (151.13±1.26 meq O<sub>2</sub>/kg de aceite) fue para el sistema GA(0.854):INU(0.146) a 162.90 °C. El sistema GA(0.854):INU(0.146) a 177.10 °C muestra el menor contenido de humedad (2.13 ±0.64%) y el sistema GA(1):INU(0) a 170.00 °C la menor higroscopicidad.

Palabras claves: *Spray drying*, goma arábica, inulina, aceite de sachá inchi

## ABSTRACT

Microencapsulation is presented as an alternative to delay the oxidation of polyunsaturated fatty acids and thus increase the shelf life. The literature indicates spray drying as the most widely used method for encapsulating oils. However, it has some disadvantages, such as the use of high temperatures increases the oxidation of polyunsaturated fatty acids. In this context, spray drying makes it possible to convert a liquid food into a solid. The objective of this study was to optimize the spray drying conditions for sachu inchi oil (*Plukenetia volubilis* L.) using the response surface methodology. The results indicated that the response corresponding to the response surface model was sufficient to describe and predict the encapsulation efficiency (EE). The effect of the inlet air temperature (160-180 °C) and the combination of GA:INU was evaluated. The microparticles obtained under optimal conditions were characterized, evaluating the parameters of EE, peroxide production, humidity, hygroscopicity and solubility. The EE ( $83.30 \pm 0.01\%$ ) was significantly higher and the protection against lipid oxidation after production ( $6.44 \pm 0.19$  meq O<sub>2</sub> / kg of oil) and after 4 weeks ( $151.13 \pm 1.26$  meq O<sub>2</sub> / kg of oil) was for the GA(0.854):INU(0.146) system at 162.90 °C. The GA(0.854):INU (0.146) system at 177.10 °C shows the lowest moisture content ( $2.13 \pm 0.64\%$ ) and the GA(1):INU(0) system at 170.00 °C the lowest hygroscopicity.

Keywords: Spray drying, gum arabic, inulin, sachu inchi oil

## INTRODUCCIÓN

Los ácidos grasos poliinsaturados, como el  $\omega$ -3, han ganado especial interés en la industria alimentaria, farmacéutica y nutracéutica por sus múltiples beneficios, que incluye la prevención de enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas, cáncer, entre otros (Arab-Tehrany et al., 2012; Vicente et al., 2017).

Debido a esto, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y las autoridades sanitarias de muchos países han promovido la ingesta de alimentos que contienen altas cantidades de ácidos grasos  $\omega$ -3 y una proporción óptima de  $\omega$ -6/ $\omega$ -3. No obstante, generalmente las dietas occidentales modernas no solo son deficientes en ácidos grasos  $\omega$ -3, sino también ricos en ácidos grasos  $\omega$ -6 proantiinflamatorios (Spector y Kim 2019).

Las principales fuentes de PUFAs,  $\omega$ -3 de cadena larga como el EPA y el DHA son los organismos marinos (pescados, mariscos, algas), los cuales se alimentan directa o indirectamente, del fitoplancton marino, principal productor de  $\omega$ -3 en la cadena trófica (Rubio-Rodríguez et al. 2010). Siendo, el aceite de pescado la fuente ideal para la obtención de estos nutrientes, sin embargo su consumo es limitado debido a diversos factores como cultura, hábitos alimentarios, disponibilidad y por el desagradable olor y sabor que posee (Lytle et al. 2009). Por lo que, en los últimos años las fuentes vegetales de PUFAs han recibido verdadero interés, entre ellos se encuentran los aceites de semillas vegetales como el sacha inchi, linaza, chia, etc. Además, estos contienen ingredientes bioactivos que no están presentes en aceites de origen animal y tienen propiedades organolépticas y gastronómicas deseables, son antimicrobianos, y poseen efectos anticancerígenos, lo que los convierte en una alternativa ideal de consumo (Jurić et al. 2020).

Particularmente, el aceite extraído de semillas de *Plukenetia volubilis* Lineo., es excepcionalmente rico en ácidos grasos poliinsaturados (87.00%) y en tocoferoles (> 2540 mg/kg) (Rodríguez et al. 2021). Además, presenta una proporción ideal entre  $\omega$  -3 y  $\omega$ -6, siendo considerado como un potencial alimento funcional (Garmendia, Pando y Ronceros 2011). Es por esto, que en el presente estudio se resolvió hacer uso de este aceite.

Sin embargo, estos aceites son susceptibles a la oxidación e inestabilidad debido a la hidrofobicidad y baja estabilidad oxidativa, que conduce a la formación de productos de oxidación (como cetonas volátiles y alcoholes) que implican olores y sabores desagradables. Por lo que, el uso de este aceite para la fortificación de productos alimenticios es un gran desafío (Comunian y Favaro-Trindade 2016).

Ante esto, la microencapsulación se presenta como una alternativa efectiva, esta herramienta tecnológica permite proteger compuestos sensibles como los aceites, debido a que reduce su exposición a la luz, humedad, oxígeno y calor, todo lo cual disminuye la calidad del aceite a través del deterioro oxidativo, la formación de compuestos de sabor indeseables y la producción de radicales libres (Sagiri et al. 2014). El proceso de microencapsulación hace posible transformar un ingrediente líquido en sólido, donde las pequeñas gotas del ingrediente están rodeadas por una capa de biopolímero (material de pared) que dan como resultado pequeñas micropartículas secas (Wan et al. 2011).

Hasta la fecha, el *Spray drying* es una de las técnicas más utilizadas para la protección de ácidos grasos poliinsaturados por su bajo costo de operación, lo que hace posible tener producción a gran escala y obtener polvo seco como producto final (Dordevic et al., 2014; Rajabi et al., 2015; da Rosa et al., 2019). El *spray drying* tiene varias ventajas sobre otros métodos que incluye a la coacervación compleja, como la capacidad de manipular ingredientes sensibles al calor, velocidad de secado rápida, alto rendimiento, buenas cualidades de conservación de las micropartículas y la posibilidad de utilizar una amplia gama de formulaciones y materiales de pared (Ray, Raychaudhuri y Chakraborty 2016).

Los diferentes tipos de materiales de pared incluyen polisacáridos (almidones, maltodextrinas y goma arábiga), lípidos (ácido esteárico, mono y diglicéridos) y proteínas (gelatina, caseína, suero de leche, soja y trigo); la estructura y las características de cada material de recubrimiento imparten diferentes propiedades fisicoquímicas al activo (Mahdavi et al. 2016). La inulina es un polisacárido obtenido de la raíz de achicoria (*Cichorium intybus*), conocida por sus efectos prebióticos, es dietética y promueve la biodisponibilidad del calcio (Šturm et al. 2019). Adicionalmente, la inulina no aumenta el índice glucémico,

lo que hace que sea utilizado un ingrediente potencial en alimentos para diabéticos (Fernandes et al. 2014).

Por otro lado, los procesos de producción requieren ser optimizados con la finalidad de hacer uso eficiente de los insumos, una de las herramientas para este fin es la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) que es un conjunto de técnicas matemáticas utilizadas en el tratamiento de problemas en los que una respuesta de interés está influenciada por varios factores de carácter cuantitativo (Witek-Krowiak et al. 2014). El propósito de estas técnicas es diseñar un experimento que proporcione valores razonables de la variable respuesta y, a continuación, determinar el modelo matemático que mejor se ajusta a los datos obtenidos y establecer los valores de los factores que optimizan el valor de la variable respuesta (Jacyna, Kordalewska y Markuszewski 2019). Por esta razón, MSR es una herramienta ampliamente utilizada en la investigación que incluye el área de alimentos y la más adecuada para optimizar las condiciones de secado por pulverización (Chan, Tan y Chin 2019; Ikrang y Umani 2019).

En el presente trabajo de investigación se propuso optimizar la producción de micropartículas por *Spray drying* utilizando goma arábica e inulina por MSR con la finalidad de hacer uso razonable de los materiales, para llegar a ese objetivo fue necesario plantearse dos hipótesis que sirvieron de base para la ejecución de la investigación. Una primera hipótesis, fue que el uso de combinaciones de biopolímeros optimizaría la eficiencia de encapsulación. La segunda hipótesis fue que el aceite microencapsulado tendría baja producción de peróxidos.

Para probar la **primera hipótesis** de investigación planteada fue utilizado el diseño Box-Bhenken (BBD) combinado con la metodología de superficie de respuesta para optimizar la eficiencia de encapsulación, variando la temperatura de entrada y la combinación de biopolímeros, considerando que influyen en el proceso de microencapsulación, proporcionando un protocolo para otras aplicaciones en investigaciones relacionadas con polisacáridos. Y para probar la **segunda hipótesis**, micropartículas producidas por *Spray drying* fueron sometidos a condiciones de temperatura para evaluar estabilidad oxidativa.

## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

### 1.1 Antecedentes

La microencapsulación es útil para formar una barrera contra pérdidas nutricionales o de sabor, aumentar la vida de útil o para alterar propiedades fisicoquímicas como la higroscopicidad. En el procesamiento se puede usar para generar mayor estabilidad, evitando por ejemplo la pérdida de agentes activos volátiles o reactivos por degradación o reacción con otros componentes de los productos alimenticios tales como oxígeno y agua (Murugesan y Orsat 2012).

En estudio de Carneiro et al. (2013) utilizaron aceite de linaza para evaluar la eficiencia de encapsulación de la maltodextrina con almidón modificado y proteínas de suero de leche por *spray drying*, obteniendo alta eficiencia de encapsulación cuando fue utilizado la combinación de maltodextrina y almidón modificado cuando comparado con la combinación maltodextrina y proteínas de suero de leche.

La microencapsulación de aceites mediante la técnica de *spray drying* fue propuesto desde años anteriores, como una estrategia efectiva, para retrasar la autooxidación de lípidos, y mejorar la estabilidad de los aceites (Encina et al. 2016). Debido a esto, el interés de la industria por esta técnica es creciente, habiéndose desarrollado hasta la fecha, diversos trabajos de investigación en el área.

Aceite de sachá inchi encapsulado por *spray drying* fue utilizado para evaluar la estabilidad oxidativa, al realizar análisis termogravimétrico fue comprobado que los AGP resistieron los procesos de secado, característica requerida en la industria alimentaria (Gutiérrez et al. 2017). En estudio reciente encapsularon aceite de pescado con alto contenido de contenido de omega-3 utilizando un secador por pulverización, el propósito de este estudio fue evaluar la protección utilizando una combinación de materiales de pared para facilitar su manejo en la incorporación de productos alimenticios (Aprilia, Pujiastuti y Klaypradit 2021).

## 1.2. Bases teóricas

### 1.2.1 Ácidos grasos poliinsaturados: Panorama del consumo mundial

Hoy en día, existe demanda creciente por alimentos saludables que, además de proveer energía al cuerpo, al mismo tiempo sean capaces de aportar beneficio a la salud humana y generar bienestar. Por este motivo, la industria alimentaria en su esfuerzo por responder a esta demanda, inició el desarrollo de alimentos funcionales (Mao et al. 2019; Fang y Bhandari 2010).

Hasta la fecha, uno de los compuestos que más ha llamado la atención de la población mundial por los diversos efectos beneficiosos que ofrecen son los ácidos grasos poliinsaturados (AGP). Las cuales incluyen, la reducción del riesgo de enfermedad coronaria, hipertensión, trombosis, síntomas de alergias, y algunos tipos de cáncer (Orsavova et al. 2015). Además de esto, diversos estudios han demostrado que ciertos AGP, como es el caso del omega-3, son esenciales para el desarrollo y crecimiento normal de infantes. Y a su vez, poseen efectos positivos en el cerebro, ojos, articulaciones, piel, estado de ánimo y el comportamiento. Por todos los beneficios anteriormente mencionados, son muchos los estudios que fomentan a mujeres embarazadas y lactantes, el consumo adecuado de omega-3, para beneficiar la salud general del feto, y promover un desarrollo saludable de la retina y el cerebro (Koletzko 2008).

#### 1.2.1.1 Aceite de pescado

El aceite de pescado se caracteriza por su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados (omega-3) de cadena larga, siendo los más importantes el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA). Estos ácidos son altamente valorados por sus efectos benéficos a la salud y nutrición, por esta razón son considerados ingredientes funcionales (Czerniak et al. 2015). Su consumo se asocia principalmente a la protección de la salud cardiovascular, reducción del riesgo de enfermedades neurodegenerativas y buen desarrollo cerebral y visual infantil. Sin embargo, para aprovechar estos beneficios, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) recomiendan la ingesta diaria de 0.3 a 0.5 g de EPA y DHA (Kris-Etherton, Harris y Appel 2002). No obstante, la ingesta recomendada es deficiente, presentando un creciente interés en la industria alimentaria por

desarrollar productos alimentarios enriquecidos con EPA y DHA que suplan la demanda del consumidor (Yang y Ciftci 2017).

El aceite de pescado se ha aplicado ampliamente en productos alimenticios enriquecidos debido a sus beneficios especiales para la salud, especialmente por su contenido de ácidos grasos insaturados, principalmente ácido docosahexaenoico (DHA) y ácido eicosapentaenoico (EPA). El principal desafío de la fortificación de los productos alimenticios con aceite de pescado es la susceptibilidad a la oxidación y su influencia en el atributo sensorial durante el almacenamiento. Los métodos de fortificación, como la adición directa a través de aceite de pescado a granel, emulsión o microencapsulación, podrían mejorar eficazmente la estabilidad oxidativa del aceite de pescado y enmascarar el desagradable sabor a fuego en productos enriquecidos (Jamshidi et al. 2020).

#### **1.2.1.2 Aceite de sacha inchi**

El sacha inchi es una planta nativa de la región amazónica de América del Sur (específicamente Perú y Brasil), cuyo nombre científico es *Plukenetia volubilis* Linneo, y pertenece a la familia Euphorbiaceae, aunque también, es conocida como maní sacha, maní de montaña, nuez inca o maní inca (Wang, Zhu y Kakuda 2018). La planta de sacha inchi produce frutos verdes en forma de estrella, que, a su vez, producen semillas comestibles con coloración marrón oscura, que son ligeramente agrandadas en el centro y aplastadas hacia los bordes. Estas semillas son ricas en aceite (35–60%) y proteínas (27%) y contienen sustancias termolábiles de sabor amargo. Y desde tiempos antiguos, los indios chancas y otros grupos nativos de la Amazonía extraen aceite de las semillas, las cuales, lo utilizan para la preparación de diversas comidas (Fanali et al. 2011).

En la actualidad, el aceite de sacha inchi es reconocido como el aceite de mayor contenido de ácidos grasos insaturados (90% aproximadamente), aportando en promedio, 48 – 50% de ácido linolénico  $\omega$ -3, (32 – 37% de ácido linoleico  $\omega$ -6, y 9 – 12% de ácido oleico  $\omega$ -9 (Follegatti-Romero et al. 2009; Guillén y Ruiz 2004; Vicente, de Carvalho y Garcia-Rojas 2015). Esta composición significativa de ácidos grasos ofrece importantes beneficios para la salud y nutrición, tales como, reducir el riesgo de enfermedades inflamatorias, ciertos tipos de cáncer, además de favorecer el desarrollo cerebral (Vicente,

Cezarino, Taylana, et al. 2017). Además de esto, el aceite de sachá inchi es ampliamente utilizado en la industria farmacéutica, alimentaria y cosmética (Gutiérrez et al. 2017).

### 1.2.2 Metodología de Superficie de Respuesta

La metodología de superficie respuesta (MSR) es un conjunto de técnicas estadísticas y matemáticas útil para desarrollar, y mejorar procesos en los que una respuesta de interés, que se quiere optimizar, está influenciada por diversas variables independientes. La MSR tiene una aplicación importante en el diseño, el desarrollo y la formulación de nuevos productos, así como en el mejoramiento del diseño de un producto existente. Además de analizar los efectos de las variables independientes, esta metodología experimental genera un modelo matemático que describe el proceso global (Bas y Boyaci 2007). Es importante tener en cuenta el número de ensayos que genera la matriz de diseño escogido. Para el caso de procesos de encapsulación por secado por aspersion en los cuales cada experimento puede emplear horas, se requiere el menor número de ensayos posible que genere una superficie de respuesta significativa y minimice los costos de operación (Witek-Krowiak et al. 2014).

### 1.2.3 Microencapsulación

La microencapsulación promueve la protección y liberación controlada y sostenible de principios activos, obteniendo productos con mejores características sensoriales y nutricionales (Paulo y Santos 2017). La microencapsulación consiste en el recubrimiento de pequeñas micropartículas (sustancias sólidas, líquidas o gaseosas) dentro de una matriz homogénea o heterogénea, dando lugar a microcápsulas (Gharsallaoui et al. 2007 , Calvo et al. 2012). La estructura de la micropartícula comprende un material encapsulado que se denomina núcleo, fase interna o relleno, mientras que la cobertura se denomina material de pared, cáscara o membrana (Jyothi et al. 2010).

La técnica de microencapsulación ha sido de gran utilidad para la industria alimentaria, estableciendo control en el uso de saborizantes y aditivos, potenciando sabores y aromas específicos, enmascarando olores y sabores indeseables o incluso aumentando el grado de bioactividad de los ingredientes. (Favaro-Trindade et al. 2010).

## 1.2.4 Tecnologías de microencapsulación

### 1.2.4.1 Secado por pulverización (*spray drying*)

Entre las múltiples técnicas de microencapsulación, el *spray drying* se distingue por ser un proceso rápido, económico, flexible y manejable (Desai y Jin Park 2005) y es considerada la técnica más apropiada para la microencapsulación de aceites en la industria alimentaria (Wang, Shi y Han 2018).

La tecnología de *spray drying* se caracteriza por la producción de polvos, a partir de fluidos atomizados que generan pequeñas gotas que entran en contacto en una corriente de gas caliente, y son pulverizadas (Himmetagaoglu y Erbay 2019). Las propiedades físico-químicas del producto seco dependen principalmente de la velocidad de alimentación, la viscosidad de la materia prima, las temperaturas de entrada y de salida del aire de secado, la presión y el tipo de atomizador.

La eficiencia del producto dependerá de condiciones establecidas como: La tasa de flujo de alimentación, la entrada y las temperaturas del aire de salida, la velocidad del atomizador, la concentración de alimentación, la temperatura de alimentación, entre otros (Chegini y Ghobadian 2005). De esta forma, dicha tecnología, nos permite obtener productos de alta calidad, y que conservan sus características organolépticas y nutricionales.

### 1.2.4.2 Coacervación compleja

La coacervación compleja viene siendo utilizada ampliamente en la industria alimentaria por su alta eficiencia de encapsulación y las condiciones moderadas de procesamiento. Se produce con la interacción electrostática entre dos biopolímeros de carga opuesta en medios acuosos, donde alcanza equilibrio electrostático (Eghbal y Choudhary 2018).

### 1.2.4.3 Gelificación iónica

La gelificación iónica conocida como gelificación ionotrópica, utilizadas para producir micropartículas del tamaño de 1–1000µm dentro de un proceso continuo. El proceso de obtención de micropartículas tiene la capacidad de producir micropartículas mediante interacción entre biopolímeros cargadas negativamente que, en presencia de iones con carga opuesta como el calcio,

debido al reordenamiento de la cadena polimérica entre las moléculas del ácido gulurónico y los iones de calcio para promover la interacción (Comunian y Favaro-Trindade 2016).

#### 1.2.5 Emulsión

La emulsión comúnmente conocida, es la de aceite en agua, en donde la fase lipídica se dispersa en fase acuosa. Por lo tanto, las emulsiones se definen como mezclas inmiscibles de dos líquidos, las gotas diminutas están dispersas en fase líquida continua. Estas a su vez se clasifican de acuerdo con la fase continua en dos tipos: aceite en agua (AC/AG), y agua en aceite (AG/AC) (Genot, Meynier y Riaublanc 2003). Por otro lado, las gotas dispersas en las emulsiones pueden ser de varias formas y tamaños, clasificándolas en: micro (10-100 nm), mini (100-1000 nm) y macroemulsiones (0.5-100  $\mu\text{m}$ ) (Gómez-Cruz y Jiménez-Munguía 2014).

#### 1.2.6 Parámetros de las emulsiones

##### 1.2.6.1 Propiedades de la emulsión

Las propiedades de la emulsión se reflejan directamente en la eficiencia de encapsulación del aceite. La emulsión debe prepararse con una mínima cantidad de aceite en la superficie de la micropartícula y la máxima retención del material activo. Los parámetros significativos a ser considerados son: concentración de sólidos totales, viscosidad, estabilidad y tamaño de la gota de la emulsión (Jafari et al. 2008).

Una mayor concentración de sólidos en la alimentación reduce la movilidad de los compuestos activos dentro del material de pared debido al aumento de la viscosidad, y tiene un tiempo menor para formar una capa protectora alrededor de ellos durante el secado. La inestabilidad física resulta en una alteración de la distribución espacial o de la organización estructural de las moléculas, y la inestabilidad química resulta en una alteración de las moléculas presentes. Para la formación de una emulsión cinéticamente estable por un período de tiempo razonable, se debe prevenir la coalescencia de las gotas después de su formación. Esto se consigue normalmente teniendo una concentración suficientemente alta de emulsificante durante el proceso de homogeneización (McClements 2015).

#### 1.2.6.2 Propiedades de las micropartículas

Las propiedades de un polvo se clasifican como propiedades físicas o químicas. Las propiedades físicas incluyen la forma de la partícula, densidad, porosidad, características superficiales, dureza, diámetro y tamaño de partícula. Las propiedades químicas de los polvos están relacionadas con la composición y la interacción con otras sustancias, tales como disolventes o algún otro componente dentro de la estructura de la micropartícula (McClements 2015).

La distribución del tamaño de las micropartículas se expresa con la frecuencia de la cantidad de micropartículas sólidas en cada rango de tamaño, que normalmente se da en fracción másica o volumétrica, en función de los diferentes diámetros de micropartículas encontradas en una muestra. La descripción de la distribución del tamaño de las micropartículas se utiliza para caracterizar las propiedades de materiales particulados como polvos, suspensiones, emulsiones y gotas, pues puede ser asociado a su abrasividad, aglomeración, grado de dispersión, deposición, fluidez, granulación, permeabilidad, sedimentación y sedimentación turbidez, entre otras características (Sato 2005).

#### 1.2.7 Materiales de pared

La elección del material de pared es fundamental debido a la influencia en diferentes parámetros como la eficiencia de encapsulación y la estabilidad de la micropartícula. Estas funciones demandan características físico-químicas como solubilidad, peso molecular, cristalinidad, propiedades de difusión, formación de película y emulsión, que son las que determinan el material de pared ideal (Gharsallaoui et al. 2007).

Varios materiales comúnmente llamados membranas protectoras son utilizados que incluyen hidrocoloides, proteínas, almidones, dextrinas, lípidos, varios emulsionantes y fibras, solas o asociadas con otros compuestos. Las técnicas de encapsulación son diversas y la elección de la técnica más apropiada depende del material a encapsular, el propósito de uso y la disponibilidad del equipo. En el caso del material activo, varios estudios se han centrado en la encapsulación de aceites, debido a la creciente demanda del mercado de este tipo de alimento (Ribeiro y Veloso 2021). Del mismo modo de manera convencional el material encapsulante ideal aplicado para *spray drying* debe

tener propiedades emulsionantes, alta solubilidad en agua, baja viscosidad y propiedades de secado. Aun así ningún material de pared cumple con todas las propiedades antes mencionadas, por lo que en la práctica es necesario una utilizar combinación (Zhou et al. 2019).

#### 1.2.7.1 Inulina

Debido a sus propiedades técnicas y nutritivas, la inulina es utilizada como material encapsulante. Es un polisacárido no tóxico y degradable obtenido de las plantas, como la raíz de achicoria, y ya se ha establecido como un ingrediente alimentario debido a sus efectos prebióticos, no causa un aumento del índice glucémico, lo que lo convierte en un ingrediente potencial para alimentos de personas con diabetes, también mejora la biodisponibilidad del calcio (Turchiuli et al. 2014).

#### 1.2.7.2 Goma arábica

Es un polisacárido que se produce a través de la exudación natural de los árboles de acacia. Tiene configuración ramificada de azúcares simples que incluyen galactosa, ramnosa, arabinosa y ácidos glucurónico. La goma arábica está compuesta por aproximadamente 2% (p/p) de un componente proteico conectado a la estructura molecular a través de enlaces covalentes. Gelatina y goma arábica son comúnmente utilizados como material de pared debido a su alta retención de compuestos volátiles, formación de emulsión estable, alta solubilidad en agua, baja viscosidad en comparación con otros hidrocoloides, y su desempeño como un emulsionante de aceite en agua (McNamee, O’Riordan y O’Sullivan 1998).

#### 1.2.8 Oxidación de lípidos

La oxidación de lípidos es uno de los factores que limitan la vida útil de un producto alimenticio, sus efectos generan enranciamiento, pérdida de nutrientes, y la formación de sustancias potencialmente nocivas. Estas a su vez tienen repercusiones en la economía de la industria alimentaria (Chaiyasit et al. 2007).

El proceso de oxidación de lípidos se debe a la alta concentración de ácidos grasos insaturados expuestos al oxígeno que generan una reacción en cadena de radicales libres generando hidroperóxidos, este mecanismo es denominado autooxidación, que a su vez se describe en tres procesos de

iniciación (formación de radicales libres), propagación (reacciones en cadena de radicales libres) y terminación (formación de productos no radicales (Cheng 2016; Chaiyasit et al. 2007). Estas reacciones en cadena generan compuestos volátiles y no volátiles de bajo peso molecular, respecto al grado de insaturación de lípidos, responsables del deterioro de los productos alimenticios (Tian, Decker y Goddard 2013).

### 1.3 Definición de términos básicos

#### 1.3.1 Microencapsulación

La microencapsulación es un proceso tecnológico en el que sustancias bioactivas son envueltas por un revestimiento formando micropartículas con la finalidad de protegerlas del ambiente externo y conservar su propiedades, prolongando su vida útil (Chang, Stone y Nickerson 2018).

#### 1.3.2 *Spray drying*

Es la técnica de microencapsulación más utilizada en la industria alimentaria, para la producción de micropartículas en polvo a partir de un fluido, ha sido considerada ideal para la microencapsulación de aceites por su corto tiempo de secado, y se caracteriza por su baja actividad de agua lo que garantiza estabilidad microbiológica (Encina et al. 2016).

#### 1.3.3 Estabilidad oxidativa

Para la industria alimentaria la estabilidad oxidativa es un indicador característico de la resistencia de lípidos al deterioro, debido a la exposición al oxígeno y altas temperaturas, determinando la vida útil de un alimento o producto alimenticio (Kerrihard et al. 2015; Li et al. 2018).

#### 1.3.4 Metodología de superficie de respuesta (MSR)

La metodología de superficie de respuesta (MSR) es un conjunto de métodos estadísticos y matemáticos utilizados para establecer condiciones operativas optimas, donde una variable de interés es influenciada por otras (Tilahun y Chun 2016).

### 1.3.5 Optimización

La optimización en los procesos de microencapsulación se definen como la aplicación de técnicas cuyo objetivo es evaluar los procedimientos para mejorar el rendimiento de las sustancias bioactivos (Pham et al. 2017).

## CAPITULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

### 2.1 Formulación de la hipótesis

Los aceites de *sacha inchi* son muy demandados en la industria de alimentos debido a su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados con beneficios para la salud. Sin embargo, el aceite de *sacha inchi* es susceptible a la oxidación. Como alternativa para minimizar el problema se utilizan técnicas de microencapsulación para prevenir la oxidación, enmascarar las propiedades sensoriales desfavorables y extender la vida útil.

La producción de micropartículas conteniendo aceite producidas por *spray drying*, utilizando goma arábica e inulina mediante la metodología de respuesta permitiría obtener alta eficiencia de encapsulación y protección del aceite frente a la degradación oxidativa.

### 2.2 Variables y su operacionalización

#### 2.2.1 Variables independientes

##### 2.2.1.1 Estudio para la optimización de micropartículas conteniendo aceite por *spray drying*

Temperatura de entrada (°C)

Relación de biopolímeros (GA:INU)

#### 2.2.2 Variables dependientes

##### 2.2.2.1 Estudio para la optimización de la producción micropartículas conteniendo aceite por *spray drying*.

Eficiencia de encapsulación

Producción de peróxidos (índice de peróxidos)

Humedad

Solubilidad

Higroscopicidad

## 2.2.2 Operacionalidad de variables

Tabla 2.1. Operacionalidad de variables

| Variables                   | Definición   | Tipo por su naturaleza | Indicador                                     | Escala de medición | Categorías             | Valores de las categorías               | Medio de verificación |
|-----------------------------|--|------------------------|---|--------------------|------------------------|---|-----------------------|
| <b>Independientes</b>       |  |                        |   |                    |                        |   |                       |
| Relación de Biopolímeros    | Los biopolímeros son biomoléculas formadas por la unión de una gran cantidad de monosacáridos              | Cuantitativa           | Relación IN:GA                                | Razón              | Goma arábica           | 0.146<br>0.854<br>0.500<br>0.00<br>1.00 | Cuaderno de apuntes   |
|                             |  |                        |   |                    | Inulina                |   |                       |
| Temperatura de Entrada      | Magnitud referida a la noción de calor medible mediante un termómetro                                      | Cuantitativa           | °C  | Razón              | Temperatura de entrada | 160 °C                                  | Cuaderno de apuntes   |
|                             |  |                        |   |                    |                        | 162.9 °C                                |                       |
|                             |  |                        |   |                    |                        | 170 °C                                  |                       |
|                             |  |                        |   |                    |                        | 177.1 °C                                |                       |
|                             |  |                        |   |                    |                        | 180 °C                                  |                       |
| <b>Dependientes</b>         |  |                        |   |                    |                        |   |                       |
| Eficiencia de encapsulación | La cantidad del compuesto que fue cargado, relacionada con la cantidad inicial utilizada                   | Cuantitativa           | Porcentaje                                    | Razón              | %EE                    | >80.00%                                 | Reporte de análisis   |
| Estabilidad oxidativa       | Cantidad de sustancia oxidada por efecto de la temperatura, luz u oxígeno                                  | Cuantitativa           | meq peróxidos de O <sub>2</sub> /kg de aceite | Razón              | Índice de peróxidos    | >1.00%                                  | Reporte de análisis   |
| Humedad                     | Indicador de estabilidad del producto.   | Cuantitativa           | Porcentaje                                    | Razón              | Humedad                | >1.00%                                  | Reporte de análisis   |
| Solubilidad                 | Capacidad de una sustancia de disolverse en un medio determinado.  | Cuantitativa           | Porcentaje                                    | Razón              | Solubilidad            | >80.00%                                 | Reporte de análisis   |
| Higroscopicidad             | Se define como la habilidad de un material de absorber la humedad en un ambiente de alta humedad relativa. | Cuantitativa           | Porcentaje                                    | Razón              | Higroscopicidad        | >1.00%                                  | Reporte de análisis   |

### **CAPITULO III: METODOLOGÍA**

La producción de micropartículas se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Ingeniería de Alimentos de la FIA-UNAP (Planta Piloto), ubicado en el distrito de Iquitos, provincia de Maynas, Región Loreto. Los análisis y ensayos experimentales fueron realizados en las instalaciones del Laboratorio de Control de Calidad Pabellón 05 – CIRNA, ubicado en el distrito de San Juan, provincia de Maynas, región Loreto.

#### **Material y equipos**

##### **Material**

Fue utilizado como material activo: Aceite de sachá inchi (lote: 06189, Laboratorio Arefon, Tarapoto, Perú). Los materiales de cobertura utilizados fueron: inulina (lote: 19-08296, Frutarom Perú S.A., Lima, Perú) y Goma arábica (lote: YAPJZ8AJZ8, Frutarom Perú S.A., Lima, Perú). Polisorbato 80 (lote: 0018523278, INSUQUIMICA.SAC, Lima, Perú), n-Hexano (lote: K52748067 039, Merck Peruana S.A., Lima, Perú), Ácido clorhídrico (lote: K47688817 611, Merck Peruana S.A., Lima, Perú), Cloroformo (lote: K51260745 911, Merck Peruana S.A., Lima, Perú), Metanol (lote: I809707 550, Merck Peruana S.A., Lima, Perú), isooctano (lote: I1058227 948, Merck Peruana S.A., Lima, Perú), Propanol-2 (lote: K51766134 939, Merck Peruana S.A., Lima, Perú), Tiocianato de amonio (lote: # MKCJ5457, Merck Peruana S.A., Lima, Perú), Sulfato de hierro (II) (lote: # MKCJ9113, Merck Peruana S.A., Lima, Perú), Cloruro de bario dihidrato (lote: # MKCJ8225, Merck Peruana S.A., Lima, Perú), Cloruro de hierro (III) (lote: S7924445 013, Merck Peruana S.A., Lima, Perú), Cloruro de sodio (lote: K50000204 912, Merck Peruana S.A., Lima, Perú), Peróxido de hidrógeno 30% (lote: K52021409 003, Merck Peruana S.A., Lima, Perú). Agua destilada y los demás reactivos utilizados fueron de grado analítico.

## Equipos

- **Spray drying** (LabPlant UK Ltd, Modelo: SD-Basic, #SDB1117158, Voltage 230V/50Hz/60HZ 13A)
- **Agitador magnético** (ISOLAB, Modelo: 613.01.001, Serial No: MR1 6CAE 0000003).  
Descripción: Construida en aleación de aluminio y revestida con una protección espacial. Velocidad: de 10 hasta 1500 rpm, temperatura: 280 °C, Potencia: 515 W, Voltaje: 200 V o 240 V / 50 -60 Hz.
- **Homogenizador Ultra Turrax** (ISOLAB, 621.12.001, Ser. No.: 500120036).  
Descripción: Voltaje: 220-240V, velocidad: 10000 - 30000 rpm, potencia: 2,4A 500W,).
- **Balanza Analítica** (OHUAS, MOD. AX324, CODIGO: B734566620, USA).  
Condiciones: controles de ajuste para el medio ambiente: tres filtros y seguimiento de cero. Capacidad: 210 g, sensibilidad: 0.1 mg, calibración: Digital externa, peso neto: 4.5 Kg.
- **Estufa** (MEMMERT, LOADING MODELS 30-750, CODIGO: E24 899).
- **Vortex (Mini Shake)** (VWR ANALOG VORTEX MIXER 230V, Model: 9453VWALEU, USA).
- **Centrífuga** (HETTICH MOD. 320R, CODIGO: 0004500-02, HOLANDA).
- **Baño María** (MARCONI, MOD. MA184, CODIGO: 91510539, ITALY).
- **Espectrofotómetro** (Thermo Scientific GENESYS 150, Model: GENESYS1XX, Serial No: 9A5X009001, Madison, USA).
- **Cámara climática** (Clima cell, Modelo: Incucen, Serie: B090772).
- **Centrífuga** (HETTICH MOD. 320R, CODIGO: 0004500-02, HOLANDA)

### 3.1 Tipo y diseño de estudio

El presente trabajo fue de tipo experimental. El trabajo ha sido realizado en dos partes:

#### 3.1.1 Optimización de la producción micropartículas por *spray drying*

El diseño del estudio, se abordó la optimización conjunta de la variable de mayor influencia utilizando diseño Box-Bhenken (DBB) combinado con la

metodología de superficie de respuesta (MSR). Para la cual se utilizó el procedimiento comúnmente denominado diseño compuesto central (DCCR), para evaluar la relevancia de dos factores: temperatura de entrada ( $X_1$ ), relación de biopolímeros ( $X_2$ ), sobre las respuestas: eficiencia de encapsulación (EE), producción de peróxidos (PP), humedad (Hu), higroscopicidad (Hi) y Solubilidad (So). El DCCR consistió en 4 experimentos factoriales, así como, 4 puntos axiales y 5 repeticiones en los puntos centrales, para ajustarse a un modelo polinomial de segundo orden. Manteniendo fijo la cantidad de aceite. Los cálculos muestran que se requieren 13 experimentos para este procedimiento. Los puntos axiales proporcionaran para estimar la curvatura del modelo. Cuatro réplicas en el centro del diseño serán usadas para estimar la suma de cuadrados de "error puro". Los valores codificados de las variables independientes y el diseño experimental esta resumido en la Tabla 3.1. La ecuación polinomial de segundo orden será:

$$Y_i = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_{11}X_1^2 + a_{22}X_2^2 + a_{12}X_1X_2$$

**Donde:**

$Y_i$  ( $i = 1-2$ ) es la respuesta prevista para la eficiencia de encapsulación, producción de peróxidos, humedad, higroscopicidad y solubilidad. El  $a_0$  es la respuesta ajustada en el punto central;  $a_1$  y  $a_2$  son términos lineales;  $a_{12}$  es el efecto de interacción,  $a_{11}$  y  $a_{22}$  son efectos cuadrados.  $X_1$  y  $X_2$  son las variables independientes.

**Tabla 3.1** Variables experimentales utilizadas en el estudio

| <b>Variables</b> | <b>Definición y unidades</b>                       | <b>Nomenclatura</b> | <b>Valor o rango</b> |
|------------------|--|---------------------|----------------------|
| Fijas            | Aceite (sacha inchi)                               | ASI                 | 30%                  |
| Independiente    | Temperatura de entrada (°C)                        | $T_E$               | 160 - 180 °C         |
|                  | Relación de biopolimeros (GA:INU)                  | R(GA : INU)         | 0 - 100 %            |
| Dependiente      | Eficiencia de encapsulación (%)                    | EE o $y_1$          |                      |
|                  | Producción de peróxidos (meq $O_2$ / kg de aceite) | PP o $y_2$          |                      |
|                  | Humedad (%)  | H o $y_3$           |                      |
|                  | Solubilidad  | So o $y_4$          |                      |
|                  | Higroscopicidad                                    | Hi o $y_5$          |                      |

La Tabla 3.2 muestra los valores codificados de las variables independientes (temperatura del aire de entrada y relación de biopolímeros) y sus rangos de variación de las variables independientes. En este trabajo se escogió goma arábica e inulina como materiales de pared debido a sus características como seguro para consumo humano y alto contenido de fibra de la inulina.

Tabla 3.2 Diseño experimental para para producción de micropartículas por *spray drying* con variación de temperatura del aire de entrada (°C) y relación de biopolímeros R (GA: INU).

| Experimentos | Variables independientes |                |
|--------------|--------------------------|----------------|
|              | $T_E$ o $x_1$            | GA:INU o $x_2$ |
| 1            | 162.90 (-1)              | 0.146 (-1)     |
| 2            | 177.10 (1)               | 0.146 (-1)     |
| 3            | 162.90 (-1)              | 0.854(1)       |
| 4            | 177.10 (1)               | 0.854(1)       |
| 5            | 160.00 (-1.41)           | 0.500 (0)      |
| 6            | 180.00 (1.41)            | 0.500 (0)      |
| 7            | 170.00 (0)               | 0.00 (-1.41)   |
| 8            | 170.00 (0)               | 1.00 (1.41)    |
| 9            | 170.00 (0)               | 0.500 (0)      |
| 10           | 170.00 (0)               | 0.500 (0)      |
| 11           | 170.00 (0)               | 0.500 (0)      |
| 12           | 170.00 (0)               | 0.500 (0)      |
| 13           | 170.00 (0)               | 0.500 (0)      |

Las variables independientes corresponden a los valores reales. Los valores entre paréntesis corresponden a los valores codificados.  $T_E$  (temperatura del aire de entrada (°C); GA: INU (relación de biopolímeros).

### 3.2 Diseño muestral

Se considera como población a los biopolímeros (goma arábica y goma arábica) y el aceite (sacha inchi) comercializados por proveedores nacionales.

### 3.3 Procedimientos de recolección de datos

Las diferencias entre los promedios de las respuestas de la producción de micropartículas fueron evaluadas utilizando Análisis de Varianza (ANOVA) y de encontrarse diferencias estadísticas entre los tratamientos a un  $p < 0.05$  será

aplicada la prueba del Test Tukey con ayuda del programa estadístico SAS versión 9.0.

### 3.4 Procesamiento y análisis de los datos

Para los diseños experimentales, fue realizado análisis de la varianza (ANOVA) para comprobar las posibles variaciones y las interacciones entre los factores. Para las diferencias entre los promedios fue realizado el test de comparación múltiple (Tukey) con auxilio del programa SAS, en nivel de 5% de significancia.

### 3.5 Métodos analíticos

Todas las mediciones analíticas fueron realizadas por triplicado.

#### 3.5.1 Caracterización de materiales

Los biopolímeros fueron analizadas con relación al contenido de proteína, humedad y cenizas según metodología de la *Association of Official Analytical Chemistry* (AOAC, 2012) y con relación al contenido de lípidos, según la metodología de (Bligh y Dyer 1959).

#### 3.5.2 Producción de micropartículas por *Spray dryer*

El secado por aspersión fue realizado en un secador de laboratorio con sistema de secado en boquillas - mini spray dryer - LabPlant, modelo SD-Basic, con boquilla inyector de 1.0 mm de diámetro, flujo de aire de 73 m<sup>3</sup>/h, presión del aire de 0.6 bar y caudal másico de 12 g/min, determinado en pruebas preliminares, siendo el máximo caudal en que no ocurrió goteo de la muestra en la cámara de atomización. La alimentación del secador fue realizada a través de una bomba peristáltica, con velocidad de rotación ajustada en función de la velocidad máxima, la temperatura de entrada del aire de 160 °C - 180 °C.

Inicialmente se preparó la solución utilizando 100 g de la mezcla (GA: INU) en 1000 mL de agua destilada, mantenido en agitación constante durante 12 horas. Para preparar la emulsión fue adicionado 30 g aceite de sachá inchi, más 1.5 g de polisorbato como agente emulsificante, la emulsión fue preparada en Homogenizador ULTRA TURRAX (Marca Borg, Modelo WT-500; Wertheim, Alemania) durante 3 minutos a 18000 rpm. Finalmente, la emulsión de los sistemas se alimentó al equipo Mini *Spray-dryer* B-290 (SD-Basic, Inglaterra),

con alimentación y flujo de aire de secado en paralelo. Al finalizar el secado por aspersión, las micropartículas resultantes se almacenaron en refrigeración (5-7°C), en láminas de aluminio con sellado al vacío, hasta su análisis.

### 3.5.3 Eficiencia de encapsulación (EE)

La cantidad de aceite no encapsulado presente en la superficie de las micropartículas está directamente relacionada a la eficiencia de encapsulación que se determinó de acuerdo con la metodología descrita por Bae y Lee (2008). Añadir 15 mililitros de n-hexano a 1.5 g de micropartículas en un frasco de vidrio con tapa, para ser agitado manualmente para extracción del aceite libre, por dos minutos a temperatura ambiente. La mezcla del solvente se filtró a través de un filtro de papel Whatman N° 1. Las micropartículas recogidas en el filtro fueron "lavado" dos veces con 20 mL de hexano. Posteriormente, se realizó la evaporación del solvente a 25 °C, después a 60 °C hasta peso constante. La cantidad de aceite no encapsulado se determinó por la diferencia de masa antes y después de la extracción con hexano y la eficiencia de microencapsulación fue calculada a partir de la ecuación.

$$EE = \left( \frac{TO - SO}{TO} \right) \times 100$$

Donde:

TO = es la cantidad de aceite total

SO = es la cantidad de aceite no encapsulado presente en la superficie de las micropartículas.

### 3.5.4 Humedad

La humedad de las muestras fue determinada por gravimetría, en estufa con circulación de aire a 105 °C, por 24 horas (AOAC 2012). La actividad de agua fue medida en un higrómetro digital Aqualab 3TE (Decagon, Pullman, EUA) a 25 °C.

### 3.5.5 Tamaño de las micropartículas

La distribución del tamaño de las micropartículas se determinó a través de un aparato determinante de distribución de tamaño de micropartículas, basado en la dispersión de luz (Laser Scattering Spectrometer Mastersizer S, modelo

MAM 5005 - Malvern Instruments Ltd., Malvern, UK). El diámetro medio fue determinado considerando el diámetro medio de una micropartícula del mismo volumen. Para este análisis, una pequeña cantidad del producto en polvo fue dispersada en etanol 99.5% y sometida a 3 lecturas de distribución de tamaño de micropartículas.

### 3.5.6 Microestructura

El análisis de microestructura de las muestras fue realizado a través de microscopía electrónica de barrido (MEB), las muestras se pulverizaron con una capa de oro de 30 nm y se absorbieron en un microscopio electrónico de barrido (LEO 435 VP, Leo Electron Microscopy Ltd., Cambridge, Inglaterra), a un voltaje de aceleración de 20 kV. Las muestras se fotografiaron con un aumento de 1500 X.

### 3.5.7 Higroscopicidad de las micropartículas

La higroscopicidad fue determinada según la metodología propuesta por Cai y Corke (2000), con algunas modificaciones. Aproximadamente 1 g de cada muestra de polvo se colocó en un recipiente hermético a 25°C, con una solución saturada de NaCl, para crear una atmósfera de humedad relativa del 75.7%. Las muestras fueron pesadas, por triplicado, después de siete días para determinar la higroscopicidad que fue expresada en g de agua adsorbida por 100 g de sólido seco ( $100 \text{ g g}^{-1}$ ).

### 3.5.8 Perfil de ácidos grasos

El perfil de ácidos grasos fue determinado por la metilación previa del aceite según el método de Hartman y Lago (1973) basado en la saponificación y esterificación, con adaptaciones basadas en el método Ce 1b-89 (AOCS, 2003). En la mayoría de los casos, los ésteres metílicos pasarán a la etapa de análisis por cromatografía gaseosa de alta resolución, utilizando un cromatógrafo de Gases Perkin Elmer GC-2010 Clarus 690 con detector Fid, equipado con una columna RTX-Wax (30 m, 0.32 mm, 0.25,  $\mu\text{m}$ ) - Crossbond Carbowax de polietilenglicol, a un detector de ionización de llama, con auto inyector e inyección Split. Una solución de patrón interno de 0.1 mg / ml de concentración fue reparada en hexano, y 100  $\mu\text{l}$  de esta solución se añadió directamente a 1 mL de la muestra metilada en tubo de Eppendorf. El volumen de inyección será de 1

μL. Las temperaturas del inyector y el detector se fijarán a 250 °C. El gas de arrastre será el nitrógeno con velocidad lineal promedio de 1.2 mL / min. La muestra se inyectará a una razón de 1:20 en el modo Split. El horno de la columna se ha programó de la siguiente manera: 60 °C (mantenido por 0 minutos), 20 °C/minuto hasta 210 °C (mantenido por 7 minutos), 30 °C/minuto hasta 240 °C (mantenido durante 15 minutos). Los ésteres metílicos saturados e insaturados producidos serán identificados por comparación del tiempo de retención con el de los ésteres metílicos de ácidos grasos estándares.

### 3.5.9 Solubilidad de las micropartículas

La solubilidad en agua de las micropartículas se determinó de acuerdo con la metodología de Pieczykolan y Kurek (2019), se colocaron en un vaso de precipitado aproximadamente 1 g de micropartículas y 100 mL de agua destilada. El vaso de precipitado se colocó en agitador magnético y se mezcló durante 5 min. Después, la solución se centrifugó (3000 g, 15 min) en una centrífuga Hettich MOD. 320R. Posteriormente, se transfirieron 25 mL del sobrenadante a un vaso de precipitado de 50 mL y se secaron a 105 °C durante 24 h en estufa. La solubilidad (%) se calculó a partir de la diferencia de peso antes y después del secado usando la ecuación:

$$\text{Solubilidad} = \frac{P_a - P_b}{0.25} \times 100$$

Donde:  $P_a$  (gr) = masa del vaso de precipitados y las muestras después del secado,  $P_b$  (gr) = peso inicial del vaso de precipitados pesado.

### 3.5.10 Estabilidad oxidativa

Para los ensayos de estabilidad, las micropartículas serán almacenadas bajo una temperatura de 45°C a lo largo de cuatro semanas, siendo que el aceite puro será utilizado como control. Las muestras serán analizadas con relación a la producción de peróxidos. La determinación del valor de peróxidos será realizada espectrofotométricamente de acuerdo con el método estándar IDF 74A: 1991. Una porción de aceite de 0.1 a 0.3 g se pesará, en el caso del polvo, a una alícuota de 200 μl del medio de extracción serán añadidos a 9.6 mL de una mezcla de cloroformo / metanol (7: 3). Para la formación de color, se

añadirán 50 µL de soluciones de cloruro de hierro (II) y 50 µL de tiocianato de amonio. La muestra será agitada, y mantenida en reposo, en la oscuridad, durante 5 minutos y para medirse la absorbancia a 500 nm en un espectrofotómetro. Las medidas serán realizadas en triplicada. Se construirá una curva estándar de concentración de Fe<sup>+3</sup> frente a la absorbancia (Shantha y Decker 1994). Seguidamente se preparará una solución de cloruro de hierro. Se pesará 0.5 g de hierro en polvo, para ser disuelto en 50 ml de HCl 10N. A la solución obtenida se añadirá 1-2 ml de peróxido de hidrógeno, el exceso deberá ser removido por la ebullición de esta mezcla durante aproximadamente 5 minutos. Al enfriarse, el preparado será transferido a un matraz de 500 ml y su volumen se completará con agua destilada. Una alícuota de 1 ml será retirada y diluida en 100 ml de solución de cloroformo / metanol (7:3). Preparando diluciones de 1 a 20 µg de Fe<sup>+3</sup> y por el método IDF se construirá la curva estándar. El valor de peróxido, expresado en miliequivalente de peróxido por kg de aceite, será calculado utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Índice Peróxido} = ((A_s - A_b) \times m) / (55.84 \times m_o \times 2)$$

Donde:

A<sub>s</sub> = absorbancia de las muestras;

A<sub>b</sub> = absorbancia del blanco;

m = coeficiente angular de la curva estándar construida;

m<sub>o</sub> = masa en gramos de la muestra;

55.84 = masa atómica del hierro;

2 = factor 2, es necesario para que el valor de peróxido se exprese en miliequivalente de peróxido en lugar de miliequivalente de oxígeno, según lo mencionado por el método IDF.

### 3.6 Aspectos éticos

La información recolectada y generada en el presente proyecto de investigación se obtuvo directamente de fuentes científicas, siendo procesadas de manera responsable, seria y honesta con el objetivo de salvaguardar la integridad y confiabilidad de la misma.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Caracterización de material encapsulantes

Los materiales utilizados para encapsulación han sido caracterizados con relación a humedad y proteína, los resultados se muestran en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Composición centesimal de materiales encapsulantes

| Material     | Composición centesimal (%) |           |        |                 |
|--------------|----------------------------|-----------|--------|-----------------|
|              | Humedad                    | Proteína  | Lípido | Carbohidrato(*) |
| Goma Arábica | 8.35±3.18                  | 2.23±0.32 | ND     | 89.42           |
| Inulina      | 5.89±0.38                  | ND        | ND     | 94.11           |

Promedio ± desvío estadístico (n=3); (\*) por diferencia; ND: No determinado

La composición centesimal de la goma arábica se encuentra próximos de lo encontrado en la literatura, el contenido proteico de este polisacárido le confiere propiedad emulsificante que puede combinarse con otros polisacáridos, como la pectina e inulina (Pieczykolan y Kurek 2019), maltodextrina (Arepally y Goswami 2019 ; Khazaei et al. 2014) para aplicaciones de microencapsulación utilizando la tecnología de *spray drying*.

La inulina proporcionó micropartículas con propiedades fisicoquímicas similares a la maltodextrina, comúnmente utilizada por la industria. Una característica de la inulina, además de su baja carga glucémica y la consiguiente idoneidad como ingrediente funcional, fue que aumenta la higroscopicidad. Reportes anteriores indican la importancia de combinar la inulina con otros biopolímeros bajos en calorías (como maltodextrina, almidón modificado, quitosano, proteína o goma arábica) para mejorar las características funcionales prebióticas y la capacidad de atrapamiento (Dima et al. 2016).

### 4.2 Caracterización del aceite de sachá inchi

La determinación del perfil de ácidos grasos es importante, para evidenciar la calidad del aceite utilizado en este estudio.

Tabla 4.2. Composición de ácidos grasos de aceite de sachá inchi

| Aceite      | Ácidos grasos (%) |            |            |              |              |
|-------------|-------------------|------------|------------|--------------|--------------|
|             | Palmítico         | Estearico  | Oleico     | Linoleico    | Linolénico   |
| Sachá inchi | 4.06 ± 0.09       | 3.4 ± 0.67 | 9.09 ± 0.4 | 36.03 ± 0.52 | 46.68 ± 0.68 |

Promedio ± desvío estadístico (n=3)

La Tabla 4.2 muestra que el 82.71% de los ácidos grasos del perfil corresponde a ácidos grasos poliinsaturados, resultados semejantes a los encontrados (82%) por Chirinos et al. (2015) y Cisneros et al. (2014).

El perfil de ácidos grasos del aceite utilizado en el presente estudio está en concordancia con lo de descrito por la literatura, siendo el ácido  $\alpha$ -linolénico (C18:3  $\omega$ -3) y el ácido linoleico (C18:2  $\omega$ -3), los principales componentes (Liu et al. 2014, Rodríguez et al. 2021, Zanqui et al. 2016).

#### 4.3 Secado por pulverización y procedimiento experimental

La finalidad de la encapsulación es proteger el material del núcleo de condiciones ambientales adversas, como los efectos de la luz, la humedad y el oxígeno, contribuyendo así a aumentar la vida útil del producto y promoviendo liberación controlada del material encapsulado.

Fueron producidas micropartículas a base de goma arábica e inulina por *spray drying*. Metodología de superficie de respuesta (MSR) con diferentes valores de temperatura y relación de los biopolímeros como variables independientes optimizar la eficiencia de la microencapsulación y las propiedades físicas de las micropartículas. Las características físicas de las micropartículas, como el contenido de humedad, higroscopicidad, estabilidad oxidativa y microestructura.

El proceso de secado por pulverización se realizó en un equipo *Spray dryer* a escala de laboratorio, Lab Plant SD-05 (Huddersfield, Inglaterra), con un sistema de atomización de boquilla de 1.0 mm de diámetro. Las emulsiones fueron alimentadas a las principales cámaras a través de una bomba peristáltica y el caudal de alimentación fue controlado por la velocidad de rotación de la bomba. El flujo de aire de secado fue 73 m<sup>3</sup> / h y la presión de aire del compresor fue de 0.06 MPa. La entrada y salida de la temperatura del aire fue de 160 a 180° C y 100°C, respectivamente, y la velocidad de flujo de alimentación fue de 12  $\pm$  2 g / min.

#### 4.4 Diseño experimental

Los resultados experimentales se muestran en la Tabla 3.2, en la que se observa las variables independientes (Temperatura del aire entrada y relación de biopolímeros) y las variables dependientes. Los ensayos experimentales

fueron realizados siguiendo un diseño experimental utilizando como variables independientes la temperatura de entrada al atomizador y la relación de biopolímeros. Un diseño compuesto central incluyendo 4 factoriales, 4 experimentos en condiciones axiales y 5 puntos centrales de repeticiones, totalizando 13 experimentos. La Tabla 4.3, muestra los experimentos, para estudiar los efectos de la temperatura del aire de entrada al secador (160-180°C) y relación de biopolímeros (GA: INU). Las variables respuesta consideradas fueron la eficiencia de investigación (EE), producción de peróxidos (PP), higroscopicidad (Hi), humedad (Hu) y solubilidad (So). Para determinar la superficie de respuesta entre estas dos variables se utilizó la metodología de superficie de respuesta (MSR) utilizando el diseño Box-Behnken y el programa Statistica Software Versión 6.0. Se realizó el ANOVA para la evaluación de las posibles interacciones entre los factores y se determinaron los valores óptimos de los factores por el análisis de superficie de respuesta que maximicen las respuestas.

Se utilizan varias técnicas para producir micropartículas, siendo el *spray drying* la técnica más utilizada. La mayoría de los métodos de secado implican eliminación del solvente por sublimación como liofilización o evaporación tal como secado por aspersion y lecho fluidizado, así como la tecnología de fluidos supercríticos. Entre estos métodos, el secado por aspersion y la liofilización son los métodos industriales de secado más utilizados de soluciones biopoliméricas (Abdul-fattah, Kalonia y Pikal 2007). El secado por aspersion es el proceso industrial más utilizado, en la que una sustancia líquida se transforma en materia sólida (Ameri y Maa 2006).

Tabla 4.3: Condiciones operativas ensayadas y resultados experimentales producidos por *spray drying*

| Experimentos             | 1                         | 2                         | 3                         | 4                         | 5                        | 6                         | 7                          | 8                         | 9                         | 10                         | 11                        | 12                        | 13                        |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Variables independientes |                           |                           |                           |                           |                          |                           |                            |                           |                           |                            |                           |                           |                           |
| T <sub>E</sub> (°C)      | 162.90 (-1)               | 177.10 (1)                | 162.90 (-1)               | 177.10 (1)                | 160.00 (-1.41)           | 180.00 (1.41)             | 170.00 (0)                 | 170.00 (0)                | 170.00 (0)                | 170.00 (0)                 | 170.00 (0)                | 170.00 (0)                | 170.00 (0)                |
| R(GA : INU)              | 0.146 (-1)                | 0.146 (-1)                | 0.854(1)                  | 0.854(1)                  | 0.500 (0)                | 0.500 (0)                 | 0.00 (-1.41)               | 1.00 (1.41)               | 0.500 (0)                 | 0.500 (0)                  | 0.500 (0)                 | 0.500 (0)                 | 0.500 (0)                 |
| Variables dependientes   |                           |                           |                           |                           |                          |                           |                            |                           |                           |                            |                           |                           |                           |
| EE o y <sub>1</sub> (%)  | 78.70±3.23 <sup>abc</sup> | 74.96±1.60 <sup>bc</sup>  | 80.96±0.01 <sup>ab</sup>  | 83.30±0.01 <sup>a</sup>   | 80.18±0.02 <sup>ab</sup> | 80.73±0.02 <sup>ab</sup>  | 73.57±0.04 <sup>ab</sup>   | 80.65±0.01 <sup>abc</sup> | 79.02±0.01 <sup>abc</sup> | 79.76±0.05 <sup>ab</sup>   | 79.02±0.03 <sup>abc</sup> | 80.50±0.10 <sup>ab</sup>  | 78.39±0.07 <sup>abc</sup> |
| PP o y <sub>2</sub>      |                           |                           |                           |                           |                          |                           |                            |                           |                           |                            |                           |                           |                           |
| T <sub>0</sub>           | 6.72±0.73 <sup>bc</sup>   | 8.83±0.52 <sup>a</sup>    | 6.44±0.19 <sup>c</sup>    | 8.59±0.52 <sup>abc</sup>  | 8.21±0.11 <sup>a</sup>   | 8.93±0.55 <sup>a</sup>    | 7.69±0.20 <sup>abc</sup>   | 8.56±0.32 <sup>abc</sup>  | 8.58±0.63 <sup>abc</sup>  | 8.54±0.23 <sup>abc</sup>   | 8.61±0.31 <sup>abc</sup>  | 8.83±0.48 <sup>ab</sup>   | 8.65±0.98 <sup>ab</sup>   |
| T <sub>1</sub>           | 21.32±1.56 <sup>cd</sup>  | 22.63±1.14 <sup>b</sup>   | 13.50±1.04 <sup>g</sup>   | 18.77±0.93 <sup>de</sup>  | 17.04±1.24 <sup>ef</sup> | 24.59±0.63 <sup>ab</sup>  | 16.47±0.83 <sup>efg</sup>  | 27.43±1.50 <sup>a</sup>   | 16.05±0.52 <sup>efg</sup> | 16.12±0.52 <sup>efg</sup>  | 15.22±0.83 <sup>fg</sup>  | 14.95±1.36 <sup>fg</sup>  | 15.78±0.41 <sup>efg</sup> |
| T <sub>2</sub>           | 62.09±1.15 <sup>e</sup>   | 79.25±1.76 <sup>c</sup>   | 56.20±1.79 <sup>f</sup>   | 74.75±1.29 <sup>d</sup>   | 75.17±1.36 <sup>cd</sup> | 93.93±1.66 <sup>ab</sup>  | 89.85±1.26 <sup>b</sup>    | 96.14±1.29 <sup>a</sup>   | 92.34±1.45 <sup>ab</sup>  | 93.31±1.02 <sup>ab</sup>   | 92.20±1.09 <sup>ab</sup>  | 93.72±1.18 <sup>ab</sup>  | 92.89±0.83 <sup>ab</sup>  |
| T <sub>3</sub>           | 101.61±1.06 <sup>f</sup>  | 121.83±1.72 <sup>e</sup>  | 90.26±0.86 <sup>g</sup>   | 120.16±0.98 <sup>e</sup>  | 126.05±1.69 <sup>d</sup> | 130.41±0.41 <sup>bc</sup> | 132.14±1.38 <sup>abc</sup> | 134.84±0.11 <sup>a</sup>  | 129.51±0.72 <sup>c</sup>  | 133.04±0.52 <sup>ab</sup>  | 131.45±1.29 <sup>bc</sup> | 129.44±1.18 <sup>c</sup>  | 129.09±1.14 <sup>cd</sup> |
| T <sub>4</sub>           | 160.80±1.25 <sup>ab</sup> | 160.45±1.41 <sup>ab</sup> | 151.13±1.26 <sup>ab</sup> | 159.69±0.54 <sup>ab</sup> | 151.52±1.14 <sup>c</sup> | 162.46±0.98 <sup>a</sup>  | 152.10±0.41 <sup>c</sup>   | 158.44±1.45 <sup>b</sup>  | 161.70±0.83 <sup>ab</sup> | 160.17±2.08 <sup>b</sup>   | 162.46±1.50 <sup>a</sup>  | 160.87±0.93 <sup>ab</sup> | 161.21±0.43 <sup>ab</sup> |
| Hu o y <sub>3</sub>      | 2.76±0.31 <sup>gh</sup>   | 6.70±0.27 <sup>gh</sup>   | 3.64±0.17 <sup>cde</sup>  | 2.13±0.64 <sup>h</sup>    | 3.02±0.32 <sup>efg</sup> | 4.50±0.09 <sup>ab</sup>   | 5.10±0.15 <sup>a</sup>     | 3.91±0.29 <sup>bcd</sup>  | 3.30±0.39 <sup>defg</sup> | 3.85±0.10 <sup>bcdde</sup> | 2.70±0.15 <sup>gh</sup>   | 4.29±0.12 <sup>abc</sup>  | 3.58±0.36 <sup>cdef</sup> |
| So o y <sub>4</sub>      | 89.84±0.84 <sup>ab</sup>  | 93.52±0.89 <sup>a</sup>   | 91.39±1.20 <sup>ab</sup>  | 88.11±0.67 <sup>b</sup>   | 90.88±1.62 <sup>ab</sup> | 91.79±1.57 <sup>ab</sup>  | 90.77±1.57 <sup>ab</sup>   | 92.40±1.56 <sup>a</sup>   | 91.47±1.80 <sup>ab</sup>  | 90.67±1.13 <sup>ab</sup>   | 91.47±1.33 <sup>ab</sup>  | 90.75±1.20 <sup>ab</sup>  | 91.47±1.04 <sup>ab</sup>  |
| Hi o y <sub>5</sub>      | 6.67±0.96 <sup>ab</sup>   | 6.89±0.34 <sup>ab</sup>   | 8.33±0.49 <sup>a</sup>    | 5.66±0.35 <sup>ab</sup>   | 9.09±0.37 <sup>a</sup>   | 8.07±0.65 <sup>a</sup>    | 5.42±0.65 <sup>b</sup>     | 5.35±0.59 <sup>b</sup>    | 6.22±0.98 <sup>ab</sup>   | 6.21±1.09 <sup>ab</sup>    | 6.54±1.06 <sup>ab</sup>   | 5.66±0.11 <sup>b</sup>    | 6.58±0.94 <sup>ab</sup>   |

Promedio ± desvío estadístico (n = 3). Letras diferentes en la misma línea indican diferencia entre los tratamientos (p<0.05), obtenido a través de la prueba de Tukey.

#### 4.5 Selección del modelo apropiado para eficiencia de encapsulación en micropartículas por *spray drying*

La Tabla 4.3, muestra los resultados de los experimentos realizados del BBD, asimismo, muestra los resultados determinados para las variables dependientes, las cuales fueron sometidas a diferentes condiciones de temperatura del aire entrada ( $T_E$ ) y relación de biopolímeros R (GA:INU). La eficiencia de encapsulación de los tratamientos sometidos a diferentes condiciones de temperatura de entrada y combinaciones de biopolímeros, utilizando Statistica 12 y con los datos de la Tabla 3.2, se encontró los valores de  $R^2$  y, suma de cuadrados del error que permitieron elegir

el modelo adecuado para predecir la eficiencia de encapsulación. Los modelos estudiados fueron: 1) sólo términos lineales; y 2) términos cuadráticos. Determinando que el modelo que correlaciona mejor los datos experimentales para la eficiencia de encapsulación de micropartículas por *spray drying* fue el modelo de segundo orden “Modelos de términos lineales y cuadráticos de los efectos principales y las interacciones de segundo orden”.

Tabla 4.4. Regresión de superficie de respuesta: EE vs.  $T_e$ ; R (GA: INU). Análisis de Varianza

| Fuente                    | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|---------------------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Modelo                    | 5  | 73.7333   | 14.7467   | 24.43   | 0.000   |
| Lineal                    | 2  | 53.1610   | 26.5805   | 44.03   | 0.000   |
| $T_e$ (°C)                | 1  | 0.0491    | 0.0491    | 0.08    | 0.784   |
| R(GA:INU)                 | 1  | 53.1120   | 53.1120   | 87.98   | 0.000   |
| Cuadrado                  | 2  | 11.3307   | 5.6653    | 9.39    | 0.010   |
| $T_e$ (°C)* $T_e$ (°C)    | 1  | 3.7605    | 3.7605    | 6.23    | 0.041   |
| R(GA:INU)*R(GA:INU)       | 1  | 6.1555    | 6.1555    | 10.20   | 0.015   |
| Interacción de 2 factores | 1  | 9.2416    | 9.2416    | 15.31   | 0.006   |
| $T_E$ (°C)*R(GA:INU)      | 1  | 9.2416    | 9.2416    | 15.31   | 0.006   |
| Error                     | 7  | 4.2256    | 0.6037    |         |         |
| Falta de ajuste           | 3  | 1.5963    | 0.5321    | 0.81    | 0.551   |
| Error puro                | 4  | 2.6293    | 0.6573    |         |         |
| Total                     | 12 | 77.9589   |           |         |         |

Fuente: Statistica 12

Tabla 4.5. Resumen del modelo de Eficiencia de Encapsulación de micropartículas por *spray drying*.

| <b>S</b>        | <b>R-cuad.</b> | <b>R-cuad. (ajustado)</b> | <b>R-cuad. (pred)</b> |
|-----------------|----------------|---------------------------|-----------------------|
| <b>0.776953</b> | 94.58%         | 90.71%                    | 80.18%                |

Fuente: Statistica 12

Los elevados valores de coeficiente de determinación ( $R^2$ ) del modelo seleccionado para predecir la eficiencia de encapsulación, permite interpretar los resultados mediante gráficos de superficie de respuesta (Figura 4.1) y contorno (Figura 4.2), indicando que el modelo obtenido es bueno para predicción. Se observa en la gráfica de contorno que en la región más oscura se encuentra la mayor eficiencia de encapsulación de la combinación de biopolímeros y temperatura de entrada del aire para obtener la mayor eficiencia de encapsulación por *spray drying*.

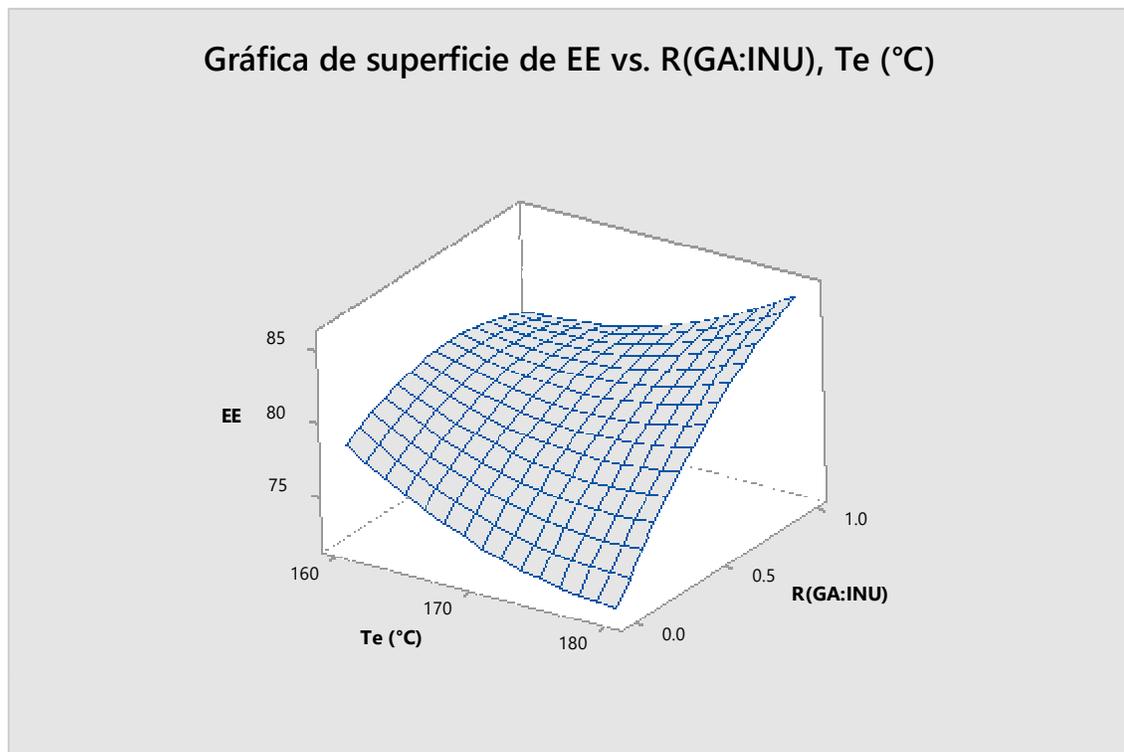


Figura 4.1. Gráfica de Superficie de Respuesta para la optimización de la eficiencia de encapsulación por *spray drying*.

Los estudios de encapsulación de aceite de sacha inchi producido por el método de secado por aspersión, donde se apliquen diseños experimentales para obtener las

condiciones óptimas de encapsulación, son escasos. En algunos estudios, se ha optimizado la preparación de la emulsión (Shamaei et al. 2017) y en sólo unos pocos trabajos se ha optimizado la formulación de la solución de alimentación y las condiciones del proceso de secado (Encina et al. 2016). La eficiencia de encapsulación representa las gotas de aceite contenidas en la emulsión retenida dentro de las micropartículas, y usualmente, se evalúa indirectamente considerando el aceite de superficial y total (Encina et al. 2016).

Los valores de EE de aceite de sachá inchi varían en el rango de  $73.57 \pm 0.04$  a  $83.30 \pm 0.01\%$ , para sistemas estudiados, valores son próximos reportados en la literatura, cuando se utilizan biopolímeros

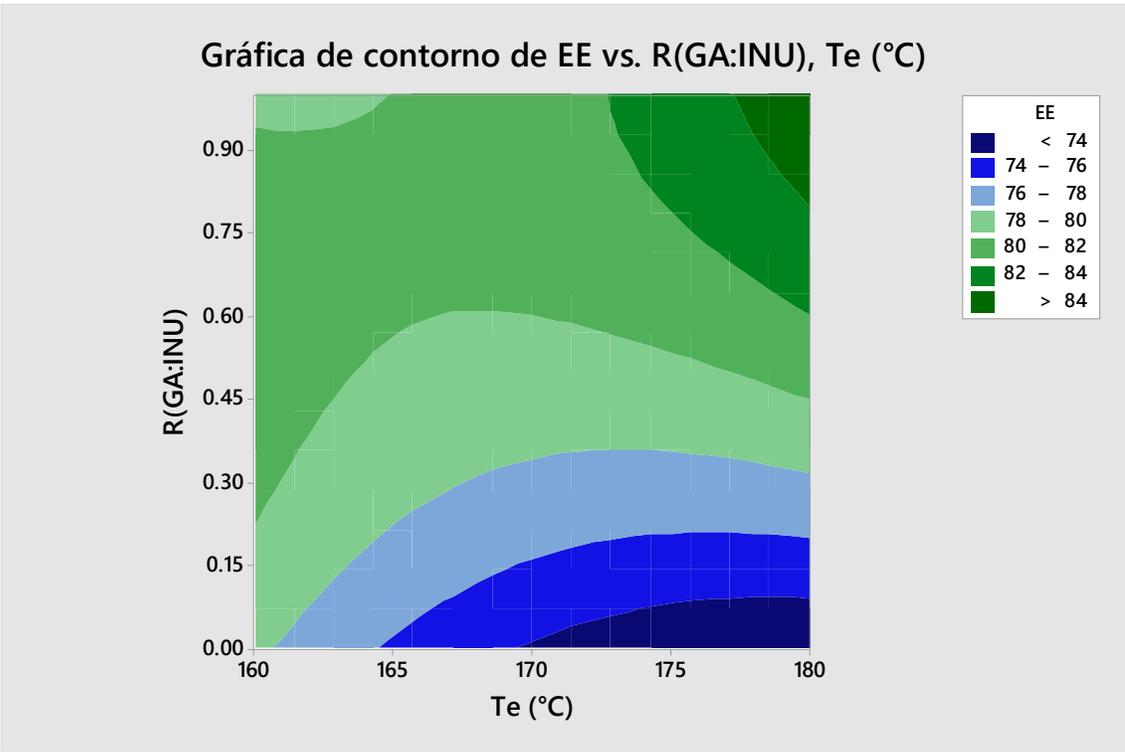


Figura 4.2. Gráfico de contorno de la eficiencia de encapsulación de micropartículas por *spray drying*.

Realizando el análisis de la varianza para la variable temperatura y aplicando el modelo seleccionado (Tabla 4.6), se obtuvo que los efectos principales: Velocidad cuadrática, Temperatura lineal y Temperatura cuadrática fueron significativos ( $p \leq 0.05$ ), esto se puede constatar en el diagrama de Pareto, el cual se muestra en la Figura 4.3.

Donde observamos que la temperatura y la combinación de biopolímeros influyen significativamente el proceso.

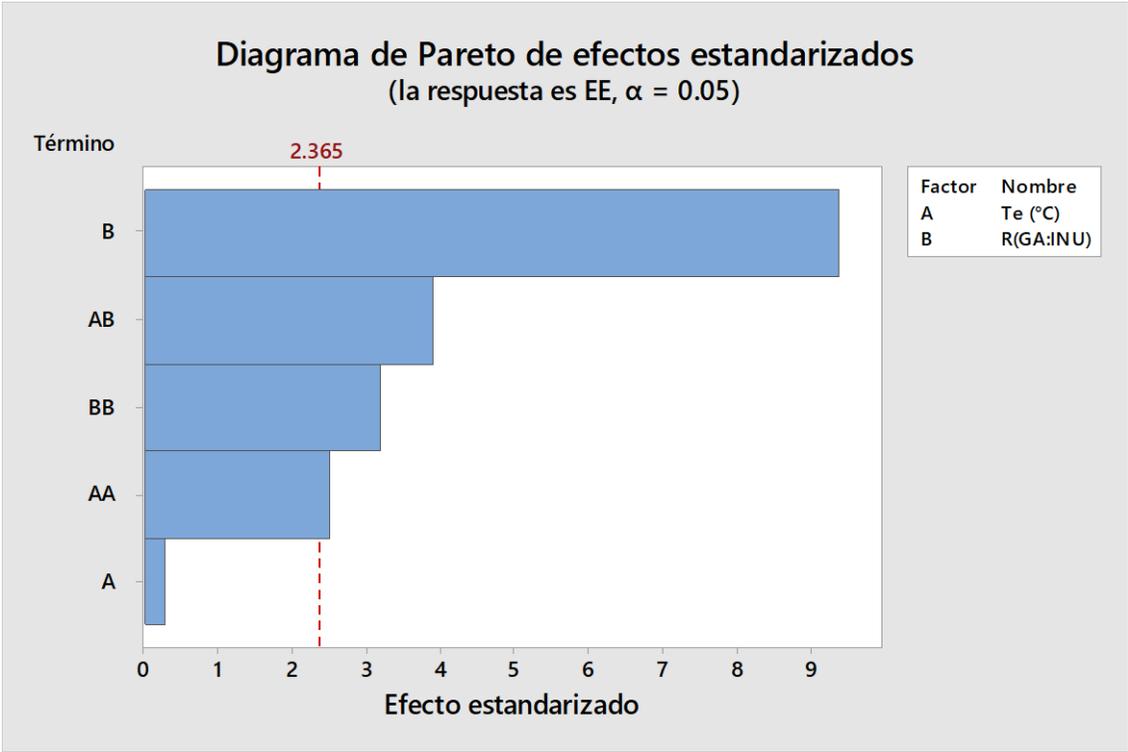


Figura 4. 3. Diagrama de Pareto de las variables

El factor B (GA: INU) muestra el mayor efecto sobre la EE (altamente significativo) a diferencia de la temperatura en la que el efecto no hay definición específica, por lo que la variación de temperatura no es significativa, pudiendo estar entre los valores de 177 °C a 180°C.

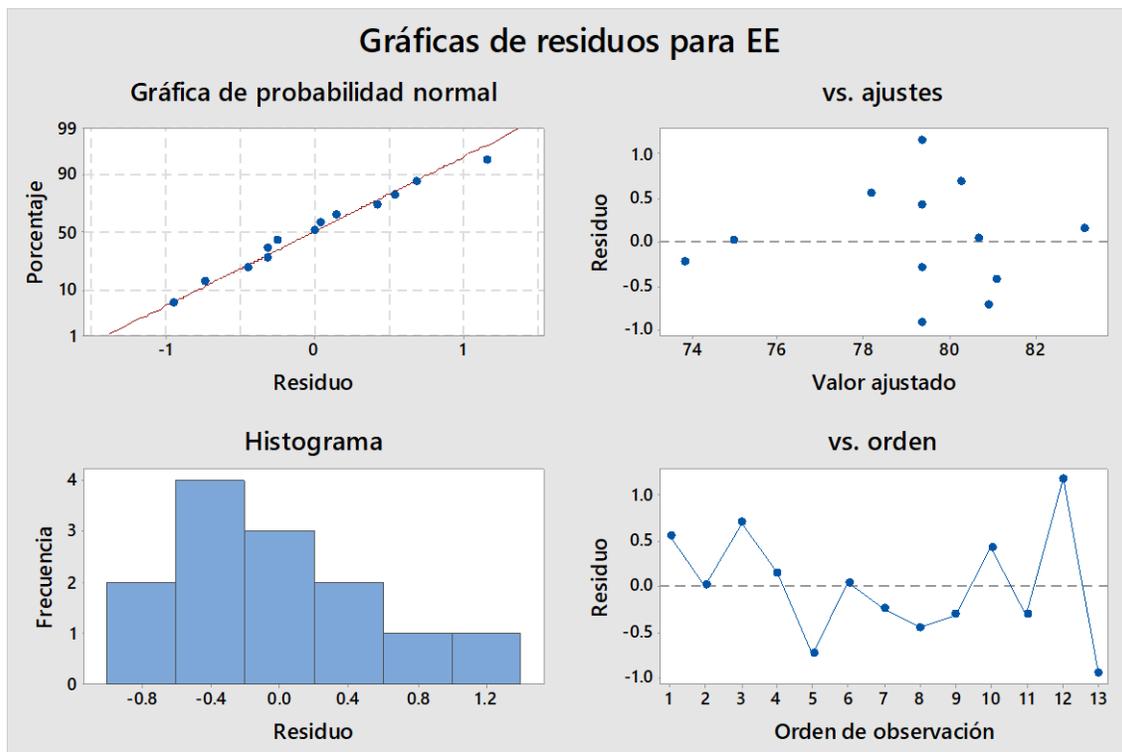


Figura 4. 4. Gráfico de residuos de la eficiencia de encapsulación

Es posible observar que los residuos se aproximen a una distribución normal, también se observa que la variante es constante y los residuos son independientes.

#### 4.6 Optimización de la eficiencia de encapsulación de micropartículas.

Tabla 4.6. Coeficiente de variación para predecir la eficiencia de encapsulación por *spray drying*.

| Término             | Coef   | EE del coef. | Valor T | Valor p | FIV  |
|---------------------|--------|--------------|---------|---------|------|
| Constante           | 79.337 | 0.347        | 228.33  | 0.000   |      |
| Te (°C)             | -0.078 | 0.275        | -0.29   | 0.784   | 1.00 |
| R(GA:INU)           | 2.578  | 0.275        | 9.38    | 0.000   | 1.00 |
| Te (°C)*Te (°C)     | 0.740  | 0.296        | 2.50    | 0.041   | 1.02 |
| R(GA:INU)*R(GA:INU) | -0.942 | 0.295        | -3.19   | 0.015   | 1.02 |
| Te (°C)*R(GA:INU)   | 1.520  | 0.388        | 3.91    | 0.006   | 1.00 |

Fuente: Statistica 12

La ecuación matemática que puede predecir la eficiencia de encapsulación para cualquier combinación de temperatura y relación de biopolímeros se muestra a seguir:  

$$EE = 551 - 5.30 (Te) (\text{°C}) - 88.0 R(\text{GA:INU}) + 0.0146 Te (\text{°C}) * Te (\text{°C}) - 7.52 R(\text{GA:INU}) * R(\text{GA:INU}) + 0.605 Te (\text{°C}) * R(\text{GA:INU})$$
 Los cuales son los coeficientes de regresión según el modelo seleccionado.

Optimización de respuesta: EE

Parámetros

| Respuesta | Meta   | Inferior | Objetivo | Superior | Ponderación | Importancia |
|-----------|--------|----------|----------|----------|-------------|-------------|
| EE        | Máximo | 73.57    | 83.3     |          | 1           | 1           |

Solución

| Solución | Te (°C) | R(GA:INU) | EE Ajuste | Deseabilidad compuesta |
|----------|---------|-----------|-----------|------------------------|
| 1        | 180     | 1         | 85.4790   | 1                      |

Predicción de respuesta múltiple

| Variable  | Valor de configuración |
|-----------|------------------------|
| Te (°C)   | 180                    |
| R(GA:INU) | 1                      |

Para determinar los valores óptimos de temperatura de entrada del aire y relación de biopolímeros se procedió a transformar la variable respuesta en una variable llamada “deseable”, para lo cual, se requieren determinar cuál es la combinación de temperatura y la relación de biopolímeros (GA: INU) para obtener la mayor EE de encapsulación por *Spray drying*. Como se puede apreciar en la Figura 4.2 del gráfico de contorno, donde el máximo valor se encuentra localizado en la región de color verde y azul, por lo tanto, el modelo encontrado establece la mayor eficiencia de encapsulación se encuentra en el rango de temperatura de entrada entre 177 °C y 180 °C y una relación de biopolímeros de entre 0.8 a 1.00 correspondiente a goma arábica R (GA: INU).

#### 4.7 Eficiencia de encapsulación en micropartículas producidas por *spray drying*

De acuerdo con la Tabla 4.3, la eficiencia de encapsulación de las micropartículas se vio significativamente influenciada por los biomateriales utilizados en las combinaciones, ya que los sistemas preparados con mayor cantidad de inulina dieron como resultado micropartículas con menor EE cuando comparado con las micropartículas producidas con mayor cantidad de goma arábica. Los valores de EE variaron de  $73.57 \pm 0.06$  a  $83.30 \pm 0.01$  para las combinaciones GA: INU, obteniéndose el valor más bajo cuando fue utilizado solo inulina como material de pared.

También las emulsiones de las combinaciones con mayores cantidades de goma arábica fueron más estables, lo que puede haber influido en la eficiencia de encapsulación del aceite, que indica menor cantidad de aceite no encapsulado. De acuerdo con Shamaei et al. (2017), cuanto más baja es la cantidad de aceite no encapsulado en la superficie de la micropartícula, más estable es la emulsión. Similar observación indicaron Charve y Reineccius (2009) que obtuvieron resultado similar al estudiar la retención de volátiles en micropartículas preparadas por pulverización, utilizando goma arábica, almidón modificado y proteínas de suero de leche.

En estudio de Mahdavi et al. (2016) utilizando goma arábica y maltodextrina encapsularon extracto de *Berberis vulgaris* con alto contenido de antocianinas, obtuvieron alta eficiencia de encapsulación próximo de 92.86%.

#### 4.8 Selección del modelo apropiado para el índice de peróxidos en micropartículas por *spray drying*

La Tabla 4.3, muestra los resultados de los experimentos realizados del BBD, asimismo, muestra los resultados determinados para las variables dependientes, las cuales fueron sometidas a diferentes condiciones de temperatura del aire entrada ( $T_E$ ) y la relación de biopolímeros. Utilizando los datos de la Tabla 3.2, se encontró los valores de  $R^2$  y, suma de cuadrados del error que permitieron elegir el modelo adecuado para predecir la producción de peróxidos.

Tabla 4.7 Regresión de superficie de respuesta: IP vs. Te (°C), R (GA: INU). Análisis de Varianza

| Fuente                    | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|---------------------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Modelo                    | 5  | 2.24636   | 0.44927   | 13.93   | 0.002   |
| Lineal                    | 2  | 1.22682   | 0.61341   | 19.02   | 0.001   |
| Te (°C)                   | 1  | 1.20539   | 1.20539   | 37.37   | 0.000   |
| R(GA:INU)                 | 1  | 0.02144   | 0.02144   | 0.66    | 0.442   |
| Cuadrado                  | 2  | 0.88631   | 0.44315   | 13.74   | 0.004   |
| Te (°C)*Te (°C)           | 1  | 0.02621   | 0.02621   | 0.81    | 0.397   |
| R(GA:INU)*R(GA:INU)       | 1  | 0.88454   | 0.88454   | 27.43   | 0.001   |
| Interacción de 2 factores | 1  | 0.13323   | 0.13323   | 4.13    | 0.082   |
| Te (°C)*R(GA:INU)         | 1  | 0.13323   | 0.13323   | 4.13    | 0.082   |
| Error                     | 7  | 0.22577   | 0.03225   |         |         |
| Falta de ajuste           | 3  | 0.17509   | 0.05836   | 4.61    | 0.087   |
| Error puro                | 4  | 0.05068   | 0.01267   |         |         |
| Total                     | 12 | 2.47212   |           |         |         |

Tabla 4.8 Resumen del modelo de Índice de Peróxidos de micropartículas por *spray drying*.

| S               | R-cuad. | R-cuad. (ajustado) | R-cuad. (pred) |
|-----------------|---------|--------------------|----------------|
| <b>0.179589</b> | 90.87%  | 84.34%             | 46.40%         |

Fuente: Statistica 12

Los elevados valores de coeficiente de determinación ( $R^2$ ) del modelo seleccionado para predecir el índice de peróxidos, permite interpretar los resultados mediante gráficos de superficie de respuesta (Figura 4.1) y contorno (Figura 4.2), indicando que el modelo obtenido es bueno para predicción. Se observa en la gráfica de contorno que en la región más oscura se encuentra la mayor eficiencia de encapsulación de la combinación de biopolímeros y temperatura de entrada del aire para obtener la mayor eficiencia de encapsulación por *spray drying*.

Gráfica de superficie de IP vs. R(GA:INU), Te (°C)

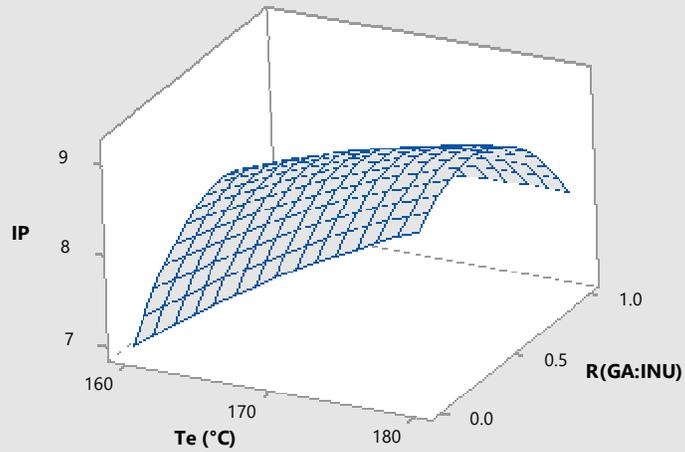


Figura 4.5. Gráfica de Superficie de Respuesta para el índice de peróxidos del aceite microencapsulado por *spray drying*.

Los valores del índice de peróxidos varían en el rango de  $6.72 \pm 0.73\%$  a  $9.83 \pm 0.52\%$ , para los sistemas estudiados, valores son próximos reportados en la literatura, cuando se utilizan biopolímeros GA: INU.

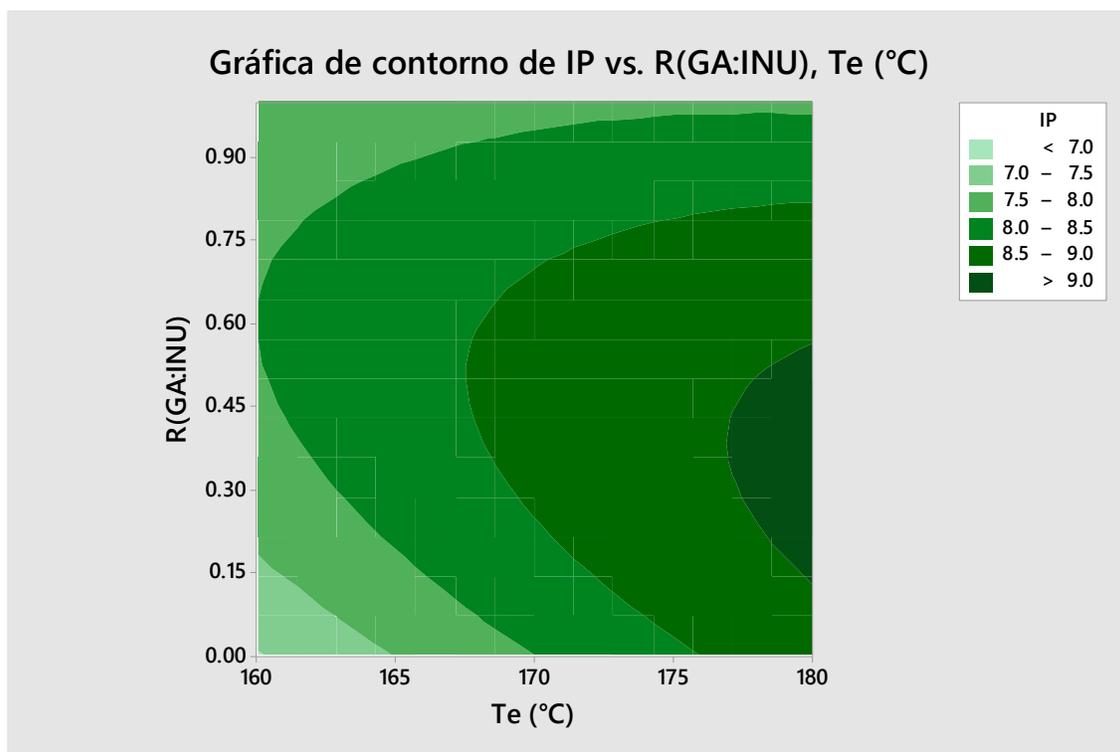


Figura 4.6. Gráfico de contorno del índice de peróxidos de aceite contenido en micropartículas por *spray drying*

La ecuación matemática que puede predecir el índice de peróxidos del aceite microencapsulado para cualquier combinación de temperatura y relación de biopolímeros se muestra a seguir:

$$IP = -42.90 + 0.508 (Te) (°C) + 15.05 R(GA:INU) - 0.0123 Te (°C) * Te (°C) - 2.850 R(GA:INU) * R(GA:INU) - 0.0726 Te (°C) * R(GA:INU).$$

Los cuales son los coeficientes de regresión según el modelo seleccionado en unidades no codificadas.

Optimización de respuesta: IP  
Parámetros

| Respuesta | Meta   | Inferior | Objetivo | Superior | Ponderación | Importancia |
|-----------|--------|----------|----------|----------|-------------|-------------|
| IP        | Mínimo |          | 7.5      | 8.93     | 1           | 1           |

| Solución | Te (°C) | R(GA:INU) | IP Ajuste | Deseabilidad compuesta |
|----------|---------|-----------|-----------|------------------------|
| 1        | 160     | 0         | 6.96922   | 1                      |

## Predicción de respuesta múltiple

| Variable  | Valor de configuración |              |                |                |
|-----------|------------------------|--------------|----------------|----------------|
| Te (°C)   | 160                    |              |                |                |
| R(GA:INU) | 0                      |              |                |                |
| Respuesta | Ajuste                 | EE de ajuste | IC de 95%      | IP de 95%      |
| IP        | 6.969                  | 0.265        | (6.342, 7.597) | (6.212, 7.727) |

### 4.9 Estabilidad oxidativa del aceite libre y encapsulado

Micropartículas de goma arábica e inulina conteniendo aceite de sachá inchi después de la producción por *spray drying*, fueron evaluados de acuerdo a la producción de índice de peróxidos, también fue evaluado la estabilidad oxidativa del aceite libre por el índice de peróxidos, durante cuatro semanas a 45 °C. La temperatura de almacenamiento fue utilizada para promover el proceso de oxidación, debido al poco tiempo de almacenamiento. Los índices de peróxido del aceite libre y encapsulado en las micropartículas se muestran la Tabla 4.3.

Los efectos de la temperatura del aire de entrada y la combinación de los biopolímeros de las micropartículas conteniendo aceite de sachá inchi fueron estudiados incluyendo el contenido de humedad, tamaño de micropartícula y peróxido. Los resultados indican que el aumento de la temperatura del aire de entrada incrementa la eficiencia de encapsulación e índice de peróxido, pero disminuyó el contenido de humedad de las micropartículas.

En trabajo reciente utilizando compuestos bioactivos de cáscara de la fruta de *Momordica cochinchinensis Spreng*, fueron encapsulados con una mezcla de concentrado de proteínas de suero de leche y goma arábica utilizando un secador por pulverización, utilizaron el diseño de Box-Behnken mediante el uso de la metodología de superficie de respuesta para investigar los efectos de la relación de aceite con el material de la pared y la temperatura de entrada (Chuyen et al. 2019).

Inicialmente, de acuerdo con la Tabla 4.3, en el tiempo cero, el aceite libre presentó el menor nivel de oxidación, 1.2 meq de peróxido O<sub>2</sub>/ kg de aceite. Los aceites contenidos en las micropartículas presentaron nivel bajo de oxidación,

variando de  $6.72 \pm 0.73$  a  $9.83 \pm 0.55$  meq de peróxido  $O_2$ / kg de aceite, probablemente debido a la manipulación durante la producción de las micropartículas.

Después de una semana de almacenamiento, a  $45\text{ }^\circ\text{C}$ , el aceite libre presento el mayor nivel de oxidación de  $83.47 \pm 6.74$  y para los sistemas estudiados el menor valor equivalente a  $13.50 \pm 1.04$  meq de peróxido  $O_2$  / kg de aceite, para el sistema IN(0.146):GA(0.854) a  $162.90\text{ }^\circ\text{C}$ . Todos los aceites contenidos en las micropartículas presentaron diferencias significativas entre los promedios ( $p > 0.05$ ) cuando comparado entre los mismos (Tabla 4.3).

En la segunda y tercera semana de almacenamiento, la tendencia del nivel de oxidación fue semejante, siendo el mayor índice de oxidación observado para el aceite libre, seguido del aceite encapsulado en matriz de inulina equivalente a  $134.84 \pm 0.11$ . El aceite contenido en micropartículas 0.146:0.854 (GA: INU) nuevamente presentaron el menor índice de oxidación después de la tercera semana de almacenamiento ( $90.26 \pm 0.86$  meq de peróxido  $O_2$ / kg de aceite).

En la cuarta semana de almacenamiento, el aceite de contenido en micropartículas a base de 0.50:0.50 (GA:INU) a  $180\text{ }^\circ\text{C}$  presenta índice de oxidación de  $162.46 \pm 1.5$  meq de peróxido  $O_2$  / kg de aceite, superiores a micropartículas 0.146:0.854 (GA:INU) equivalente a  $121.13 \pm 1.81$  meq de peróxido / kg de aceite.

Micropartículas constituidas de 0.146:0.854 (GA:INU) producidas utilizando temperatura de  $162.90\text{ }^\circ\text{C}$ , se presenta como más efectiva para protección del aceite, considerando el menor índice de peróxidos observado al final del periodo de almacenamiento.

El índice de peróxido de aceite encapsulado posterior a la producción varió entre  $6.44 \pm 1.62$  y  $8.93 \pm 0.55$  meq  $O_2$ /kg de aceite (Tabla 4.3). El valor del peróxido del aceite de libre fue de  $2.28 \pm 0.76$  meq  $O_2$ /kg de aceite. Ante el aumento de la temperatura del aire de secado aumento el índice de peróxido, mostrando diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). De acuerdo con Frascareli et al. (2012), aplicando temperaturas del aire de entrada más altas proporcionaron más energía disponible para desarrollar la reacciones de oxidación lipídica, que se produjeron con mayor intensidad, favoreciendo la formación de peróxidos. Se argumenta que la menor eficiencia de encapsulación probablemente podría jugar un papel significativo en la producción de micropartículas con mayor índice

de peróxido. Cuanto menor es la eficiencia de encapsulación, mayor es la cantidad de aceite superficial expuesto directamente al contacto con oxígeno. Esto a su vez provocó reacciones de oxidación, y por lo tanto, el índice de peróxido fue aumentado. El aumento en la temperatura del aire de pulverización aumento el índice de peróxido posiblemente debido a menor eficiencia de encapsulación del aceite redujo el contacto directo del oxígeno con aceite encapsulado.

#### 4.10 Contenido de humedad de las micropartículas

Como se explicó anteriormente, se produjeron micropartículas en diferentes condiciones de secado y fueron sometidos a análisis. El análisis de las micropartículas proporciona un conocimiento completo y profundo de cómo las condiciones de secado influyen en las características de las micropartículas incluida la humedad, la eficiencia de encapsulación, tamaño, así como valor de peróxido del aceite.

Los valores de humedad (Tabla 4.3) obtenidos en los sistemas IN(0.146):GA(0.854) a 177.10 °C ( $2.13 \pm 0.64\%$ ) y IN(1.0):GA(0.0) a 170 °C ( $5.10 \pm 0.15\%$ ), presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). La baja humedad del sistema IN(0.146):GA(0.854) se atribuye a la alta temperatura del aire de entrada al secador y a la mayor concentración de goma arábica, mientras que para el sistema IN(1.0):GA(0.0) se le atribuye a que el sistema está compuesto por Inulina y menor temperatura (170 °C). Los valores de humedad reportados en la literatura están sobre el valor obtenido en este estudio para el secado por atomización, lo cual se puede atribuir a la naturaleza de los agentes encapsulantes y a la temperatura del aire de entrada al secador.

En estudio de Shamaei et al. (2017) encapsularon aceite de pescado utilizando proteínas de leche descremada en polvo, la humedad determinada varió entre 2.1% y 5.7%. Por otro lado, al encapsular aceite de pescado con goma arábica y carboximetil celulosa sódica, el contenido de humedad fue de  $4.8 \pm 1.6\%$  y  $6.0 \pm 1.9\%$ . Es adecuado que la humedad de las micropartículas sean bajas, para minimizar el desarrollo de microorganismos (Gharsallaoui et al. 2007).

Los efectos de los factores lineales, cuadráticos y de interacción para las respuestas producción de peróxidos, humedad e higroscopicidad no fueron significativos al intervalo de confianza del 95% ( $p > 0.05$ ). Debido a que estos factores no fueron

significativos, no fue posible construir un modelo matemático predictivo para el comportamiento de las respuestas en función de las variables de estudio.

Sin embargo, la Tabla 4.3 muestra que los sistemas estudiados presentaron valores de contenido de humedad inferiores al 6.7%. Ferrari, Germer y de Aguirre (2012) obtuvieron aproximadamente un 3% de contenido de tura para el jugo de mora en polvo producido por secado por pulverización utilizando temperatura del aire de entrada de 160 °C y un 5% de maltodextrina como agente encapsulante (p/p). El contenido de humedad de los polvos de extracto de zumaque varió entre 2.94% y 4.22% (base húmeda) (Caliskan y Dirim 2016) y 0.9–7.0% para polvos de lulo (Igual et al. 2014).

Para los productos en polvo, el contenido de humedad fue excelente, el impacto en la fluidez, la adherencia y la estabilidad de almacenamiento por sus efectos plastificantes y comportamiento de cristalización (Islam et al. 2015). Dado que el agua actúa como plastificante, solo se requiere una pequeña cantidad para cambiar la temperatura de transición vítrea, lo que aumenta la movilidad de la matriz del alimento durante el almacenamiento y provoca alteraciones en la micropartícula (Goula y Adamopoulos 2010). Por lo tanto, el bajo contenido de agua es deseable para las micropartículas. Cualquier ejecución experimental dentro del rango estudiado para la temperatura del aire de entrada y la concentración de sólidos (10%) da como resultado la producción de micropartículas con contenido medio de humedad por debajo del 5.2%, es decir deseable para mantenerlo microbiológicamente estable.

En estudio reciente de Fadini et al. (2018), encontraron los valores de 1.10-7.92 g/100 g de micropartículas por *spray drying*, este resultado puede atribuirse a la alta higroscopicidad de las micropartículas. Ixtaina et al. (2015) reporta valores de contenido de humedad de 1.48 a 3.52% conteniendo aceite e de chia microencapsulado por *spray drying*, los autores consideran que el contenido de humedad podría estar en el rango de 3 a 4 g/100 g. La temperatura de salida del aire tiene una moderada influencia en el contenido de humedad del producto final y alto contenido de sólidos o alta viscosidad de alimentación decrece este parámetro (Patel et al. 2015).

#### 4.11 Solubilidad de las micropartículas

La solubilidad es el último paso de disolución de las micropartículas y es un factor decisivo para la calidad de estos productos (Jayasundera et al. 2011). La solubilidad de

las micropartículas conteniendo aceite varía de  $88.11 \pm 0.67$  a  $93.52 \pm 0.89$  (Tabla 4.3), mayores a los reportados por (Nogueira et al. 2018), obteniendo un rango de  $58.39 \pm 0.99$  a  $79.37 \pm 5.25\%$ , en sus estudios sobre la obtención de polvo de pulpa de mora mediante secado por aspersión; en otro estudio de microencapsulación por secado por atomización de aceite esencial de romero (Fernandes, Borges y Botrel 2014), reportó resultados que iban del 41.85% al 47.72% identificando que el tipo de encapsulante utilizado no afectó esta propiedad. Las diferencias en la solubilidad se pueden explicar por la estructura química de cada agente portador. La ocurrencia de adsorción de agua por un carbohidrato se atribuye a los enlaces entre el hidrógeno presente en las moléculas de agua y los grupos hidroxilo disponibles en las regiones amorfas del sustrato, así como en las regiones que tienen una superficie cristalina (Negrão-Murakami et al. 2017).

#### 4.12 Higroscopicidad de las micropartículas

Las micropartículas secadas por pulverización pueden absorberse fácilmente agua del entorno circundante, desarrollando pegajosidad y apelmazamiento durante el almacenamiento, a menos que se tomen las precauciones necesarias. Entre los sistemas microencapsulados, GA(1.0):IN(0.0): mostró un menor valor de higroscopicidad ( $5.35 \pm 0.59$  g/100g) en comparación con  $8.33 \pm 0.49$  g/100g del sistema GA(0.854) :IN(0.146): a  $162.9$  °C (Tabla 4.3). El mayor valor puede deberse al alto contenido de aceite superficial debido a que el sistema tiene una menor eficiencia de encapsulación ( $73.57 \pm 0.04\%$ ). La presencia de aceite no encapsulado en la superficie de la micropartícula forma una capa hidrofóbica reduciendo así la absorción de agua por la micropartícula.

Los valores de higroscopicidad obtenidos en los sistemas estudiados presentaron diferencias significativas y son menores a los reportados por (Fernandes et al. 2014) en micropartículas de proteína de suero de leche e inulina producidas por *spray drying* conteniendo aceite de rosmery ( $14.90$  y  $17.20$  g/100g), respectivamente. Su valor se ve influenciado por la humedad relativa, ya que la higroscopicidad aumenta con el incremento de la humedad (Cai y Corke 2000). Una alta higroscopicidad de las micropartículas es muy importante en aquellos compuestos activos que se degradan en presencia de agua, como en éste caso donde el agua puede hidrolizar los triglicéridos del AP y aumentar la acidez libre.

En trabajo de Rezende, Nogueira y Narain (2018) los valores de higroscopicidad variaron de 9.24% a 12.46%, indicando baja higroscopicidad de las micropartículas, facilitando así su conservación y la preservación del color y compuestos bioactivos. Los valores cercanos a este rango se informaron en las publicaciones para productos encapsulados similares

#### 4.13 Microestructura de micropartículas

Microscopia electrónica de barradura de las micropartículas de goma arábica e inulina producidas por *spray drying* conteniendo aceite de sachá inchi (*Plukenetia voluabilis L. f.*) se muestra en la Figura 4.5.

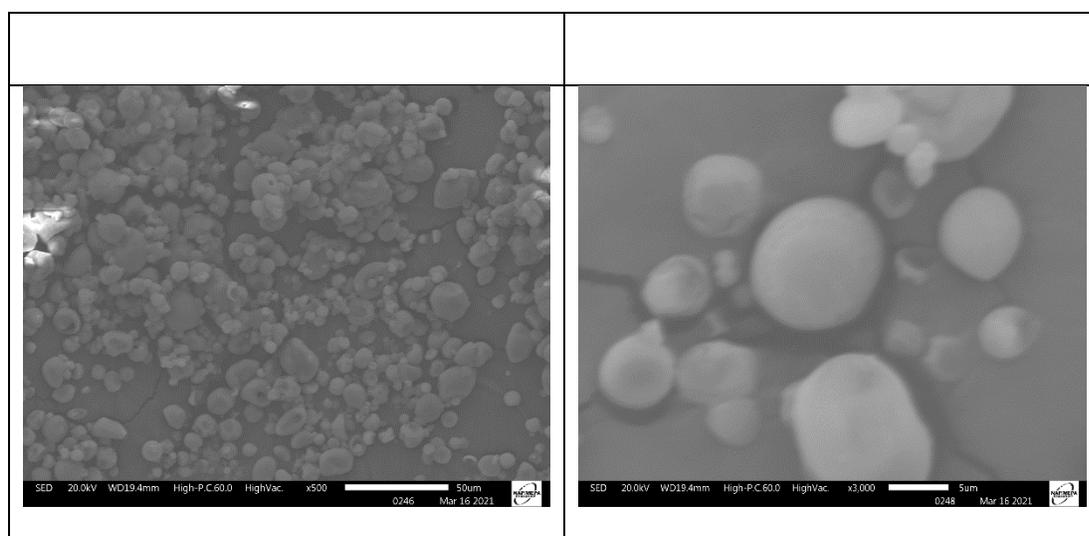


Figura 4.5. Fotos de micropartículas de goma arábica e inulina conteniendo aceite de sachá inchi obtenidas por microscopia electrónica de barrido. Barra de 50  $\mu\text{m}$  y 5  $\mu\text{m}$ .

En la Figura 4.5, podemos ver que las micropartículas, que se obtuvieron mediante secado por pulverización, tienen forma esférica, con algunas grietas o fisuras en la superficie, lo observado en el presente estudio es semejante a lo observado en el estudio de Tavares, Pelayo y Noreña (2019). Probablemente, debido a la alta tasa de generación de vapor, la pared de la micropartícula se expandió rápidamente, lo que también puede causar daño a la superficie, produciendo grietas, roturas o contracciones en las micropartículas (Koç y Kaymak-Ertekin 2014). Por lo tanto, debido a la alta temperatura

de entrada en el proceso de secado y debido a la excesiva evaporación del agua, se pueden formar grietas en la superficie de las micropartículas (Shen y Quek 2014), y este hecho no se apreció en las micropartículas obtenidas en las formulaciones en nuestro estudio. Sin embargo, la irregularidad en la superficie de las micropartículas puede ser deseable en términos de su dispersabilidad y mejora la rehidratación de las micropartículas (Guadarrama-Lezama et al. 2012).

#### 4.14 Optimización de los parámetros y análisis del proceso del modelo

Las condiciones óptimas de secado por pulverización para las micropartículas se determinaron por metodología superficie de respuesta con el fin de obtener un mayor rendimiento de proceso y micropartículas solubles en agua con bajo nivel higroscópico. Porque la variación en el tamaño de micropartícula que causa la aglomeración, no fue posible generar un modelo matemático predictivo para el comportamiento del tamaño medio de las micropartículas en función de variables independientes, esta variable de respuesta no se consideró para elegir condiciones óptimas de secado.

El contenido de humedad fue bajo en todos los sistemas estudiados (contenido de humedad <5.2%). Por lo tanto, las micropartículas producidas con cualquier temperatura del aire de entrada y la relación de biopolímeros (GA:INU) dentro del rango estudiado presentaría una buena estabilidad microbiológica, por lo tanto, estas variables respuesta no se consideraron para elegir las condiciones óptimas de secado.

Por lo tanto, se sugiere la temperatura de 162.90 °C como condición optimizada, ya que, a temperaturas más altas, la humedad de las micropartículas disminuye y el rendimiento del proceso se reduce a temperaturas superiores a 162.90 °C. Para la producción y mejor rendimiento y solubilidad de las micropartículas, la mejor relación de biopolímeros es aquella donde está presente un mayor contenido GA, donde se utilizaron sólidos de 1: 1.78 como condición óptima. Cuando el sistema fue producido con GA las micropartículas mostraron baja higroscopicidad (5.35 0.59 g de agua adsorbida / 100 g de micropartículas), buena solubilidad en agua (74,47%) y satisfactorio rendimiento del proceso histórico (50,06%), como se muestra en la Tabla 4.3.

Las condiciones optimizadas para el secado por aspersión de micropartículas reprodujeron experimentalmente y el rendimiento del proceso, la higroscopicidad y la

solubilidad se determinaron por triplicado, como se muestra en la Tabla 4.3, con valores medios y experimentales predichos de acuerdo con el modelo.

También con el incremento de la temperatura del aire de entrada de secador fue capaz de hacer que la emulsión sea más estable para encapsulación, aumentando la eficiencia de encapsulación, con valores más bajos de higroscopicidad y más altos de solubilidad en agua. Temperatura de 162.90 °C y la combinación GA (0.854):IN(0.146) fueron las condiciones ideales para obtener micropartículas conteniendo aceite de sachá inchi, solubles en agua y menos higroscópicos. En trabajo futuro, la estabilidad de las micropartículas durante largos periodos debe ser evaluado.

## **CAPITULO VI: CONCLUSIONES**

El estudio se realizó a cinco niveles de temperatura de entrada del aire de secado y cinco combinaciones de biopolímeros, utilizando la metodología de superficie de respuesta para encontrar un conjunto óptimo de formulación y condiciones operativas obteniendo el **83.30±0.01%** en términos de mayor eficiencia de encapsulación.

La aplicación del diseño experimental compuesto central más punto axial para la encapsulación de aceite de sacha inchi por secado por aspersión, permitió determinar las condiciones óptimas para maximizar la eficiencia de encapsulación. La temperatura del aire de entrada al secador óptima para el sistema GA(0.854): INU(0.146) fue de 177.10 °C.

En el estudio de oxidación del aceite microencapsulado, el aceite contenido en el sistema GA(0.854) :INU(0.146) a 162.90 °C, muestra el menor índice de peróxidos después de la producción y se mantiene en el menor índice de peróxidos después de las cuatro semanas de almacenamiento.

Los sistemas estudiados conteniendo mayor concentración de GA muestran menor humedad y menor higroscopicidad.

## **CAPITULO VII: RECOMENDACIONES**

Caracterizar polisacáridos como almidón de yuca, torta de sachá inchi, gelatina de piel de especies hidrobiológicas amazónicas como el paiche, para aplicaciones como material encapsulante.

Optimizar la producción de micropartículas por *spray drying* utilizando otros materiales de pared como pectina con diferentes concentraciones de sólidos.

Desarrollar investigaciones utilizando otras técnicas de deshidratación como la liofilización.

## CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN

- ABDUL-FATTAH, A.M., KALONIA, D.S. y PIKAL, M.J., 2007. The Challenge of Drying Method Selection for Protein Pharmaceuticals: Product Quality Implications. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 96, no. 8, pp. 1886-1916. DOI 10.1002/jps.
- AMERI, M. y MAA, Y.F., 2006. Spray drying of biopharmaceuticals: Stability and process considerations. *Drying Technology*, vol. 24, no. 6, pp. 763-768. ISSN 07373937. DOI 10.1080/03602550600685275.
- AOAC, 2012. *Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analytical Chemists of Association Chemistry*. 19th Ed. S.l.: s.n.
- APRILIA, I., PUJIASTUTI, D.Y. y KLAYPRADIT, W., 2021. Microencapsulated fish oil powder by spray drying using combination of wall materials in Kasetsart University, Bangkok. *The 1st International Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 679, no. 1, pp. 1-6. ISSN 17551315. DOI 10.1088/1755-1315/679/1/012031.
- ARAB-TEHRANY, E., JACQUOT, M., GAIANI, C., IMRAN, M., DESOBRY, S. y LINDER, M., 2012. *Beneficial effects and oxidative stability of omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids*. 2012. S.l.: s.n. ISBN 0924-2244.
- AREPALLY, D. y GOSWAMI, T.K., 2019. Effect of inlet air temperature and gum Arabic concentration on encapsulation of probiotics by spray drying. *LWT - Food Science and Technology*, vol. 99, pp. 583-593. ISSN 00236438. DOI 10.1016/j.lwt.2018.10.022.
- BAE, E.K. y LEE, S.J., 2008. Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin. *Journal of Microencapsulation*, vol. 25, no. 8, pp. 549-560. ISSN 02652048. DOI 10.1080/02652040802075682.
- BAS, D. y BOYACI, I.H., 2007. Modeling and optimization i: Usability of response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, vol. 78, no. 3, pp. 836-845. ISSN 02608774. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2005.11.024.
- CAI, Y.Z. y CORKE, H., 2000. Production and Properties of Spray-dried *Amaranthus* Betacyanin Pigments. *JFS: Sensory and Nutritive Qualities of Food*, vol. 65, no. 3600, pp. 1248-1252.

- CALISKAN, G. y DIRIM, S.N., 2016. The effect of different drying processes and the amounts of maltodextrin addition on the powder properties of sumac extract powders. *Powder Technology*, vol. 287, pp. 308-314. ISSN 1873328X. DOI 10.1016/j.powtec.2015.10.019.
- CALVO, P., CASTAÑO, Á.L., LOZANO, M. y GONZÁLEZ-GÓMEZ, D., 2012. Influence of the microencapsulation on the quality parameters and shelf-life of extra-virgin olive oil encapsulated in the presence of BHT and different capsule wall components. *Food Research International* [en línea], vol. 45, no. 1, pp. 256-261. ISSN 09639969. DOI 10.1016/j.foodres.2011.10.036. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.10.036>.
- CARNEIRO, H.C.F., TONON, R. V., GROSSO, C.R.F. y HUBINGER, M.D., 2013. Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. *Journal of Food Engineering* [en línea], vol. 115, no. 4, pp. 443-451. ISSN 02608774. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2012.03.033. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.03.033>.
- CHAIYASIT, W., ELIAS, R.J., MCCLEMENTS, D.J. y DECKER, E.A., 2007. Role of physical structures in bulk oils on lipid oxidation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 47, no. 3, pp. 299-317. ISSN 10408398. DOI 10.1080/10408390600754248.
- CHAN, Y. Ten, TAN, M.C. y CHIN, N.L., 2019. Application of Box-Behnken design in optimization of ultrasound effect on apple pectin as sugar replacer. *Lwt*, vol. 115, no. June, pp. 108449. ISSN 00236438. DOI 10.1016/j.lwt.2019.108449.
- CHANG, C., STONE, A.K. y NICKERSON, M.T., 2018. Microencapsulated Food Ingredients. , pp. 1-5.
- CHARVE, J. y REINECCIUS, G., 2009. Encapsulation Performance of Proteins and Traditional Materials for Spray Dried Flavors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 57, pp. 2486-2492.
- CHEGINI, G.R. y GHOBADIAN, B., 2005. Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. *Drying Technology*, vol. 23, no. 3, pp. 657-668. ISSN 07373937. DOI 10.1081/DRT-200054161.

- CHENG, J.H., 2016. Lipid Oxidation in Meat. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, vol. 06, no. 03, pp. 12-14. DOI 10.4172/2155-9600.1000494.
- CHIRINOS, R., PEDRESCHI, R., DOMÍNGUEZ, G. y CAMPOS, D., 2015. Comparison of the physico-chemical and phytochemical characteristics of the oil of two *Plukenetia* species. *Food Chemistry*, vol. 173, pp. 1203-1206. ISSN 18737072. DOI 10.1016/j.foodchem.2014.10.120.
- CHUYEN, H. V., ROACH, P.D., GOLDING, J.B., PARKS, S.E. y NGUYEN, M.H., 2019. Encapsulation of carotenoid-rich oil from Gac peel: Optimisation of the encapsulating process using a spray drier and the storage stability of encapsulated powder. *Powder Technology*, vol. 344, pp. 373-379. ISSN 1873328X. DOI 10.1016/j.powtec.2018.12.012.
- CISNEROS, F.H., PAREDES, D., ARANA, A. y CISNEROS-ZEVALLOS, L., 2014. Chemical composition, oxidative stability and antioxidant capacity of oil extracted from roasted seeds of Sacha-inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 62, no. 22, pp. 5191-5197. ISSN 15205118. DOI 10.1021/jf500936j.
- COMUNIAN, T.A. y FAVARO-TRINDADE, C.S., 2016. Microencapsulation using biopolymers as an alternative to produce food enhanced with phytosterols and omega-3 fatty acids: A review. *Food Hydrocolloids* [en línea], vol. 61, pp. 442-457. ISSN 0268005X. DOI 10.1016/j.foodhyd.2016.06.003. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.06.003>.
- CZERNIAK, A., KUBIAK, P., BIAŁAS, W. y JANKOWSKI, T., 2015. Improvement of oxidative stability of menhaden fish oil by microencapsulation within biocapsules formed of yeast cells. *Journal of Food Engineering*,
- DA ROSA, J., NUNES, G.L., MOTTA, M.H., FORTES, J.P., WEIS, G.C., RYCHECKI HECKTHEUER, L.H., MULLER, E.I., DE MENEZES, C. y DA ROSA, C., 2019. Microencapsulation of anthocyanin compounds extracted from blueberry (*Vaccinium* spp.) by spray drying: Characterization, stability and simulated gastrointestinal conditions. *Food Hydrocolloids*, vol. 89, no. October 2018, pp. 742-748. ISSN 0268005X. DOI 10.1016/j.foodhyd.2018.11.042.
- DESAI, K.G.H. y JIN PARK, H., 2005. *Recent Developments in*

*Microencapsulation of Food Ingredients* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 8229535892. Disponible en:

<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/DRT-200063478>.

DIMA, C., PƏTRAŞCU, L., CANTARAGIU, A., ALEXE, P. y DIMA, Ş., 2016. The kinetics of the swelling process and the release mechanisms of *Coriandrum sativum* L. essential oil from chitosan/alginate/inulin microcapsules. *Food Chemistry*, vol. 195, pp. 39-48. ISSN 18737072. DOI 10.1016/j.foodchem.2015.05.044.

DORDEVIC, V., BALANC, B., BELSCAK-CVITANOVIC, A., LEVIC, S., TRIFKOVIC, K., KALUSEVIC, A., KOSTIC, I., KOMES, D., BUGARSKI, B. y NEDOVIC, V., 2014. Trends in Encapsulation Technologies for Delivery of Food Bioactive Compounds. *Food Eng Rev*, DOI 10.1007/s12393-014-9106-7.

EGHBAL, N. y CHOUDHARY, R., 2018. Complex coacervation : Encapsulation and controlled release of active agents in food systems. *LWT - Food Science and Technology* [en línea], vol. 90, no. May 2017, pp. 254-264. ISSN 0023-6438. DOI 10.1016/j.lwt.2017.12.036. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.036>.

ENCINA, C., VERGARA, C., GIMÉNEZ, B., OYARZÚN-AMPUERO, F. y ROBERT, P., 2016. Conventional spray-drying and future trends for the microencapsulation of fish oil. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 56, pp. 46-60. DOI 10.1016/j.tifs.2016.07.014.

FADINI, A., ALVIM, I., RIBEIRO, I., RUZENE, L., DA SILVA, L., QUEIROZ, M., DE OLIVEIRA MIGUEL, A.M., CHAVES, F. y RODRIGUES, R.A.F., 2018. Innovative strategy based on combined microencapsulation technologies for food application and the influence of wall material composition. *LWT - Food Science and Technology*, vol. 91, no. January, pp. 345-352.

FANALI, C., DUGO, L., CACCIOLA, F., BECCARIA, M., GRASSO, S., DACHÀ, M., DUGO, P. y MONDELLO, L., 2011. Chemical characterization of Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 59, no. 24, pp. 13043-13049. ISSN 00218561. DOI 10.1021/jf203184y.

FANG, Z. y BHANDARI, B., 2010. Encapsulation of polyphenols - A review.

*Trends in Food Science and Technology* [en línea], vol. 21, no. 10, pp. 510-523. ISSN 09242244. DOI 10.1016/j.tifs.2010.08.003. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2010.08.003>.

FAVARO-TRINDADE, C.S., SANTANA, A.S., MONTERREY-QUINTERO, E.S., TRINDADE, M.A. y NETTO, F.M., 2010. The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate. *Food Hydrocolloids* [en línea], vol. 24, no. 4, pp. 336-340. ISSN 0268005X. DOI 10.1016/j.foodhyd.2009.10.012. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.10.012>.

FERNANDES, R.V. de B., BORGES, S.V., BOTREL, D.A. y DE OLIVEIRA, C., 2014. Physical and chemical properties of encapsulated rosemary essential oil by spray drying using whey protein – inulin blends as carriers. *International Journal of Food Technology*, vol. 49, pp. 1522-1529. DOI 10.1111/ijfs.12449.

FERNANDES, R.V.D.B., BORGES, S.V. y BOTREL, D.A., 2014. Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. *Carbohydrate Polymers* [en línea], vol. 101, no. 1, pp. 524-532. ISSN 01448617. DOI 10.1016/j.carbpol.2013.09.083. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.09.083>.

FERRARI, C.C., GERMER, S.P.M. y DE AGUIRRE, J.M., 2012. Effects of Spray-Drying Conditions on the Physicochemical Properties of Blackberry Powder. *Drying Technology*, vol. 30, no. 2, pp. 154-163. ISSN 07373937. DOI 10.1080/07373937.2011.628429.

FOLLEGATTI-ROMERO, L.A., PIANTINO, C.R., GRIMALDI, R. y CABRAL, F.A., 2009. Supercritical CO<sub>2</sub> extraction of omega-3 rich oil from Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds. *Journal of Supercritical Fluids*, vol. 49, no. 3, pp. 323-329. ISSN 08968446. DOI 10.1016/j.supflu.2009.03.010.

FRASCARELI, E.C., SILVA, V.M., TONON, R. V y HUBINGER, M.D., 2012. Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. *Food and Bioproducts Processing* [en línea], vol. 90, no. 3, pp. 413-424. ISSN 0960-3085. DOI 10.1016/j.fbp.2011.12.002. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2011.12.002>.

- GARMENDIA, F., PANDO, R. y RONCEROS, G., 2011. EFECTO DEL ACEITE DE SACHA INCHI (*Plukenetia volúbilis* L) SOBRE EL PERFIL LIPÍDICO EN PACIENTES CON HIPERLIPOPROTEINEMIA. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*, vol. 28, no. 4, pp. 628-632. ISSN 17264642.
- GENOT, C., MEYNIER, A. y RIAUBLANC, A., 2003. Lipid oxidation in emulsions. *Lipid oxidation pathways*, pp. 190-244. DOI 10.1201/9781439822098.ch7.
- GHARSALLAOUI, A., ROUDAUT, G., CHAMBIN, O., VOILLEY, A. y SAUREL, R., 2007. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, vol. 40, no. 9, pp. 1107-1121. ISSN 09639969. DOI 10.1016/j.foodres.2007.07.004.
- GÓMEZ-CRUZ, N.I. y JIMÉNEZ-MUNGUÍA, M.T., 2014. Metodos de secado de emulsiones en alimentarias. *Temas selectos de Ingeniería en alimentos*, vol. 8, pp. 23-33.
- GOULA, A.M. y ADAMOPOULOS, K.G., 2010. A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* [en línea], vol. 11, no. 2, pp. 342-351. ISSN 1466-8564. DOI 10.1016/j.ifset.2009.12.001. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2009.12.001>.
- GUADARRAMA-LEZAMA, A.Y., DORANTES-ALVAREZ, L., JARAMILLO-FLORES, M.E., PÉREZ-ALONSO, C., NIRANJAN, K., GUTIÉRREZ-LÓPEZ, G.F. y ALAMILLA-BELTRÁN, L., 2012. Preparation and characterization of non-aqueous extracts from chilli (*Capsicum annum* L.) and their microencapsulates obtained by spray-drying. *Journal of Food Engineering*, vol. 112, no. 1-2, pp. 29-37. ISSN 02608774. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2012.03.032.
- GUILLÉN, M.D. y RUIZ, A., 2004. Study of the oxidative stability of salted and unsalted salmon fillets by <sup>1</sup>H nuclear magnetic resonance. *Food Chemistry*, vol. 86, no. 2, pp. 297-304. ISSN 03088146. DOI 10.1016/j.foodchem.2003.09.028.
- GUTIÉRREZ, L.F., QUIÑONES-SEGURA, Y., SANCHEZ-REINOSO, Z., DÍAZ, D.L. y ABRIL, J.I., 2017. Physicochemical properties of oils extracted from γ-irradiated Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds. *Food Chemistry*, vol.

- 237, pp. 581-587. ISSN 18737072. DOI 10.1016/j.foodchem.2017.05.148.
- HARTMAN, L. y LAGO, C.A., 1973. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. *Laboratory Practice*, vol. 22, no. 7, pp. 475-476. ISSN 0023-6853.
- HIMMETAGAOGLU, A.B. y ERBAY, Z., 2019. Effects of spray drying process conditions on the quality properties of microencapsulated cream powder. *International Dairy Journal* [en línea], vol. 88, pp. 60-70. ISSN 09586946. DOI 10.1016/j.idairyj.2018.08.004. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.08.004>.
- IGUAL, M., RAMIRES, S., MOSQUERA, L.H. y MARTÍNEZ-NAVARRETE, N., 2014. Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp. *Powder Technology*, vol. 256, pp. 233-238. ISSN 1873328X. DOI 10.1016/j.powtec.2014.02.003.
- IKRANG, E.G. y UMANI, K.C., 2019. Optimization of process conditions for drying of catfish (*Clarias gariepinus*) using Response Surface Methodology (RSM). *Food Science and Human Wellness*, vol. 8, no. 1, pp. 46-52. ISSN 22134530. DOI 10.1016/j.fshw.2019.01.002.
- ISLAM, M.Z., KITAMURA, Y., YAMANO, Y. y KITAMURA, M., 2015. Effect of Vacuum Spray Drying on the Physicochemical Properties, Water Sorption and Glass Transition Phenomenon of Orange Juice Powder. *Journal of Food Engineering*, vol. 169, no. January, pp. 131-140. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2015.08.024.This.
- IXTAINA, V.Y., JULIO, L.M., WAGNER, J.R., NOLASCO, S.M. y TOMÁS, M.C., 2015. Physicochemical characterization and stability of chia oil microencapsulated with sodium caseinate and lactose by spray-drying. *Powder Technology*, vol. 271, pp. 26-34. ISSN 1873328X. DOI 10.1016/j.powtec.2014.11.006.
- JACYNA, J., KORDALEWSKA, M. y MARKUSZEWSKI, M.J., 2019. Design of Experiments in metabolomics-related studies: An overview. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* [en línea], vol. 164, pp. 598-606. ISSN 0731-7085. DOI 10.1016/j.jpba.2018.11.027. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2018.11.027>.
- JAFARI, S.M., ASSADPOOR, E., HE, Y. y BHANDARI, B., 2008. Encapsulation

- efficiency of food flavours and oils during spray drying. *Drying Technology*, vol. 26, no. 7, pp. 816-835. ISSN 07373937. DOI 10.1080/07373930802135972.
- JAMSHIDI, A., CAO, H., XIAO, J. y SIMAL-GANDARA, J., 2020. Advantages of techniques to fortify food products with the benefits of fish oil. *Food Research International*, vol. 137, no. January, pp. 109353.
- JAYASUNDERA, M., ADHIKARI, B., HOWES, T. y ALDRED, P., 2011. Surface protein coverage and its implications on spray-drying of model sugar-rich foods: Solubility, powder production and characterisation. *Food Chemistry*, vol. 128, no. 4, pp. 1003-1016. ISSN 03088146. DOI 10.1016/j.foodchem.2011.04.006.
- JURIĆ, S., JURIĆ, M., SIDDIQUE, A.B. y FATHI, M., 2020. Vegetable Oils Rich in Polyunsaturated Fatty Acids : Nanoencapsulation Methods and Stability Enhancement. *Food Reviews International* [en línea], vol. 00, no. 00, pp. 1-38. ISSN 8755-9129. DOI 10.1080/87559129.2020.1717524. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1717524>.
- JYOTHI, N.V.N., PRASANNA, P.M., SAKARKAR, S.N., PRABHA, K.S., RAMAIAH, P.S. y SRAWAN, G.Y., 2010. Microencapsulation techniques, factors influencing encapsulation efficiency. *Journal of Microencapsulation*, vol. 27, no. 3, pp. 187-197. ISSN 02652048. DOI 10.3109/02652040903131301.
- KERRIHARD, A.L., NAGY, K., CRAFT, B.D., BEGGIO, M. y PEGG, R.B., 2015. Oxidative Stability of Commodity Fats and Oils: Modeling Based on Fatty Acid Composition. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 92, no. 8, pp. 1153-1163. ISSN 0003021X. DOI 10.1007/s11746-015-2686-4.
- KHAZAEI, K.M., JAFARI, S.M., GHORBANI, M. y KAKHKI, A.H., 2014. Application of maltodextrin and gum Arabic in microencapsulation of saffron petal ' s anthocyanins and evaluating their storage stability and color. *Carbohydrate Polymers* [en línea], vol. 105, pp. 57-62. ISSN 0144-8617. DOI 10.1016/j.carbpol.2014.01.042. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.01.042>.

- KOÇ, B. y KAYMAK-ERTEKIN, F., 2014. The Effect of Spray Drying Processing Conditions on Physical Properties of Spray Dried Maltodextrin. *Foodbalt*, pp. 243-247.
- KOLETZKO, B., 2008. Basic concepts in nutrition: Nutritional needs of children and adolescents. *e-SPEN*, vol. 3, no. 4. ISSN 17514991. DOI 10.1016/j.eclnm.2008.04.007.
- KRIS-ETHERTON, P.M., HARRIS, W.S. y APPEL, L.J., 2002. Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease. *Circulation*, vol. 106, no. 21, pp. 2747-2757. ISSN 00097322. DOI 10.1161/01.CIR.0000038493.65177.94.
- LI, J., LIU, J., SUN, X. y LIU, Y., 2018. The mathematical prediction model for the oxidative stability of vegetable oils by the main fatty acids composition and thermogravimetric analysis. *Lwt*, vol. 96, no. April, pp. 51-57. ISSN 00236438. DOI 10.1016/j.lwt.2018.05.003.
- LIU, Q., XU, Y.K., ZHANG, P., NA, Z., TANG, T. y SHI, Y.X., 2014. Chemical composition and oxidative evolution of Sacha Inchi (*Plukentia volubilis* L.) oil from Xishuangbanna (China). *Grasas y Aceites*, vol. 65, no. 1, pp. 1-9. ISSN 00173495. DOI 10.3989/gya.075713.
- LYTLE, J.S., LYTLE, T.F., NEWMARK, H.L. y DESCHNER, E.E., 2009. Stability of a commercially prepared fish oil ( omega - 3 fatty acid ) laboratory rodent diet. , no. January 2015, pp. 37-41. DOI 10.1080/01635589209514186.
- MAHDAVI, S.A., JAFARI, M.S., ASSADPOOR, E. y DEHNAD, D., 2016. Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin , gum Arabic and gelatin. *International Journal of Biological Macromolecules* [en línea], vol. 85, pp. 379-385. ISSN 0141-8130. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2016.01.011. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.01.011>.
- MAO, L., PAN, Q., YUAN, F. y GAO, Y., 2019. Formation of soy protein isolate-carrageenan complex coacervates for improved viability of *Bifidobacterium longum* during pasteurization and in vitro digestion. *Food Chemistry*, vol. 276, no. August 2018, pp. 307-314. ISSN 18737072. DOI 10.1016/j.foodchem.2018.10.026.

- MCCLEMENTS, D.J., 2015. *Food Emulsions: principles, practices, and techniques*. S.l.: s.n. ISBN 9781498726696.
- MCNAMEE, B.F., O'RIORDAN, E.D. y O'SULLIVAN, M., 1998. Emulsification and Microencapsulation Properties of Gum Arabic. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 46, no. 11, pp. 4551-4555. ISSN 00218561. DOI 10.1021/jf9803740.
- MURUGESAN, R. y ORSAT, V., 2012. Spray Drying for the Production of Nutraceutical Ingredients-A Review. *Food and Bioprocess Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 3-14. ISSN 19355130. DOI 10.1007/s11947-011-0638-z.
- NEGRÃO-MURAKAMI, A.N., NUNES, G.L., PINTO, S.S., MURAKAMI, F.S., AMANTE, E.R., PETRUS, J.C.C., PRUDÊNCIO, E.S. y AMBONI, R.D.M.C., 2017. Influence of DE-value of maltodextrin on the physicochemical properties, antioxidant activity, and storage stability of spray dried concentrated mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.). *LWT - Food Science and Technology*, vol. 79, pp. 561-567. ISSN 00236438. DOI 10.1016/j.lwt.2016.11.002.
- NOGUEIRA, G.F., MARTIN, L.G.P., FAKHOURI, F.M. y DE OLIVEIRA, R.A., 2018. Microencapsulation of blackberry pulp with arrowroot starch and gum arabic mixture by spray drying. *Journal of Microencapsulation* [en línea], vol. 35, no. 5, pp. 482-493. ISSN 14645246. DOI 10.1080/02652048.2018.1538264. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/02652048.2018.1538264>.
- ORSAVOVA, J., MISURCOVA, L., VAVRA AMBROZOVA, J., VICHA, R. y MLCEK, J., 2015. Fatty acids composition of vegetable oils and its contribution to dietary energy intake and dependence of cardiovascular mortality on dietary intake of fatty acids. *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 16, no. 6, pp. 12871-12890. ISSN 14220067. DOI 10.3390/ijms160612871.
- PATEL, B.B., PATEL, J.K., CHAKRABORTY, S. y SHUKLA, D., 2015. Revealing facts behind spray dried solid dispersion technology used for solubility enhancement. *Saudi Pharmaceutical Journal*, vol. 23, no. 4, pp. 352-365. ISSN 13190164. DOI 10.1016/j.jsps.2013.12.013.

- PAULO, F. y SANTOS, L., 2017. Design of experiments for microencapsulation applications : A review. *Materials Science and Engineering C* [en línea], vol. 77, pp. 1327-1340. ISSN 0928-4931. DOI 10.1016/j.msec.2017.03.219. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2017.03.219>.
- PHAM, H.N.T., VUONG, Q. Van, BOWYER, M.C. y SCARLETT, C.J., 2017. Optimization of ultrasound-assisted extraction of *Helicteres hirsuta* Lour . for enhanced total phenolic compound and antioxidant yield. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, vol. 7, no. July, pp. 113-123.
- PIECZYKOLAN, E. y KUREK, M.A., 2019. Use of guar gum, gum arabic, pectin, beta-glucan and inulin for microencapsulation of anthocyanins from chokeberry. *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 129, pp. 665-671.
- RAJABI, H., GHORBANI, M., JAFARI, S.M., SADEGHI MAHOONAK, A. y RAJABZADEH, G., 2015. Retention of saffron bioactive components by spray drying encapsulation using maltodextrin, gum Arabic and gelatin as wall materials. *Food Hydrocolloids*, vol. 51, pp. 327-337. ISSN 0268005X. DOI 10.1016/j.foodhyd.2015.05.033.
- RAY, S., RAYCHAUDHURI, U. y CHAKRABORTY, R., 2016. An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology. *Food Bioscience*, vol. 13, pp. 76-83. ISSN 22124306. DOI 10.1016/j.fbio.2015.12.009.
- REZENDE, Y., NOGUEIRA, J. y NARAIN, N., 2018. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* DC) pulp and residue by spray and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization. *Food Chemistry*, vol. 254, no. January, pp. 281-291.
- RIBEIRO, J.S. y VELOSO, C.M., 2021. Microencapsulation of natural dyes with biopolymers for application in food: A review. *Food Hydrocolloids*, vol. 112, no. July 2020, pp. 106374. ISSN 0268005X. DOI 10.1016/j.foodhyd.2020.106374.
- RODRÍGUEZ, G., SQUEO, G., ESTIVI, L., QUEZADA BERRU, S., BULEJE, D., CAPONIO, F., BRANDOLINI, A. y HIDALGO, A., 2021. Changes in stability,

- tocopherols, fatty acids and antioxidant capacity of sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) oil during French fries deep-frying. *Food Chemistry*, vol. 340, no. April 2020. ISSN 18737072. DOI 10.1016/j.foodchem.2020.127942.
- RUBIO-RODRÍGUEZ, N., BELTRÁN, S., JAIME, I., DIEGO, S.M. De, SANZ, M.T. y CARBALLIDO, J.R., 2010. Production of omega-3 polyunsaturated fatty acid concentrates: A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 11, pp. 1-12. DOI 10.1016/j.ifset.2009.10.006.
- SAGIRI, S.S., PAL, K., BASAK, P., RANA, U.A., SHAKIR, I. y ANIS, A., 2014. Encapsulation of sorbitan ester-based organogels in alginate microparticles. *AAPS PharmSciTech*, vol. 15, no. 5, pp. 1197-1208. ISSN 15309932. DOI 10.1208/s12249-014-0147-2.
- SATO, A.C.K., 2005. *Influência do tamanho de partículas no comportamento reológico da polpa de jabuticaba*. S.l.: s.n.
- SHAMAEI, S., SEIILEDLOU, S.S., AGHBASHLO, M., TSOTSAS, E. y KHARAGHANI, A., 2017. Microencapsulation of walnut oil by spray drying: Effects of wall material and drying conditions on physicochemical properties of microcapsules. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 39, pp. 101-112. ISSN 14668564. DOI 10.1016/j.ifset.2016.11.011.
- SHANTHA, N. y DECKER, E.A., 1994. Rapid, Sensitive, Iron-Based Spectrophotometric Methods for Determination of Peroxide Values of Food Lipids. *Journal AOAC International*, vol. 77, no. 2, pp. 421-424.
- SHEN, Q. y QUEK, S.Y., 2014. Microencapsulation of astaxanthin with blends of milk protein and fiber by spray drying. *Journal of Food Engineering* [en línea], vol. 123, pp. 165-171. ISSN 0260-8774. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2013.09.002. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.09.002>.
- SPECTOR, A.A. y KIM, H.-Y., 2019. Emergence of omega-3 fatty acids in biomedical research. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids*, vol. 140, pp. 47-50. DOI 10.1016/j.plefa.2018.11.017.Emergence.
- ŠTURM, L., OSOJNIK ČRNIVEC, I.G., ISTENIČ, K., OTA, A., MEGUŠAR, P., SLUKAN, A., HUMAR, M., LEVIC, S., NEDOVIĆ, V., KOPINČ, R., DEŽELAK, M., PEREYRA GONZALES, A. y POKLAR ULRIH, N., 2019.

- Encapsulation of non-dewaxed propolis by freeze-drying and spray-drying using gum Arabic, maltodextrin and inulin as coating materials. *Food and Bioprocess Processing*, vol. 116, pp. 196-211. ISSN 09603085. DOI 10.1016/j.fbp.2019.05.008.
- TAVARES, L., PELAYO, C. y NOREÑA, Z., 2019. Encapsulation of garlic extract using complex coacervation with whey protein isolate and chitosan as wall materials followed by spray drying. *Food Hydrocolloids*, vol. 89, no. October 2018, pp. 360-369.
- TIAN, F., DECKER, E.A. y GODDARD, J.M., 2013. Controlling lipid oxidation of food by active packaging. *Food & Function*, vol. 4, pp. 669-680. DOI 10.1039/c3fo30360h.
- TILAHUN, A. y CHUN, B., 2016. Optimization of coffee oil flavor encapsulation using response surface methodology. *LWT - Food Science and Technology* [en línea], vol. 70, pp. 126-134. ISSN 0023-6438. DOI 10.1016/j.lwt.2016.02.025. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.025>.
- TURCHIULI, C., JIMENEZ MUNGUÍA, M.T., HERNANDEZ SANCHEZ, M., CORTES FERRE, H. y DUMOULIN, E., 2014. Use of different supports for oil encapsulation in powder by spray drying. *Powder Technology*, vol. 255, pp. 103-108. ISSN 00325910. DOI 10.1016/j.powtec.2013.08.026.
- VICENTE, J., CEZARINO, Taylana, PEREIRA, L.J.B., DA ROCHA, E.P., SÁ, G.R., GAMALLO, O.D., DE CARVALHO, M.G. y GARCIA-ROJAS, E.E., 2017. Microencapsulation of Sacha Inchi oil using emulsion-based delivery systems. *Food Research International*, vol. 99, pp. 612-622. ISSN 18737145. DOI 10.1016/j.foodres.2017.06.039.
- VICENTE, J., CEZARINO, Taylana De Souza, JOSÉ, L., PEREIRA, B., PINTO, E., RAYMUNDO, G., DOMINGUES, O., GERALDO, M., CARVALHO, D. y GARCIA-ROJAS, E.E., 2017. Microencapsulation of Sacha Inchi oil using emulsion-based delivery systems. , vol. 99, no. March, pp. 612-622.
- VICENTE, J., DE CARVALHO, M.G. y GARCIA-ROJAS, E.E., 2015. Fatty acids profile of Sacha Inchi oil and blends by <sup>1</sup>H NMR and GC-FID. *Food Chemistry*, vol. 181, pp. 215-221. ISSN 18737072. DOI

- 10.1016/j.foodchem.2015.02.092.
- VICENTE, J., DE CARVALHO, M.G. y GARCIA-ROJAS, E.E., 2015. Fatty acids profile of Sacha Inchi oil and blends by <sup>1</sup>H NMR and GC-FID. *Food Chemistry* [en línea], vol. 181, pp. 215-221. ISSN 18737072. DOI 10.1016/j.foodchem.2015.02.092. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.092>.
- WAN, Y., DAVID, J., BANKSTON JR, J., BECHTEL, P.J. y SATHIVEL, S., 2011. Microencapsulation of Menhaden Fish Oil Containing Soluble Rice Bran Fiber Using Spray Drying Technology. *Journal of Food Science*, vol. 76, no. 4, pp. E348-E356. DOI 10.1111/j.1750-3841.2011.02111.x.
- WANG, S., SHI, Y. y HAN, L., 2018. Development and evaluation of microencapsulated peony seed oil prepared by spray drying: Oxidative stability and its release behavior during in-vitro digestion. *Journal of Food Engineering*, vol. 231, pp. 1-9. ISSN 02608774. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2018.03.007.
- WANG, S., ZHU, F. y KAKUDA, Y., 2018. Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Nutritional composition, biological activity, and uses. *Food Chemistry*, vol. 265, no. December 2017, pp. 316-328. ISSN 18737072. DOI 10.1016/j.foodchem.2018.05.055.
- WITEK-KROWIAK, A., CHOJNACKA, K., PODSTAWCZYK, D., DAWIEC, A. y POKOMEDA, K., 2014. Application of response surface methodology and artificial neural network methods in modelling and optimization of biosorption process. *Bioresource Technology*, vol. 160, pp. 150-160. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2014.01.021.
- YANG, J. y CIFTCI, O.N., 2017. Encapsulation of fish oil into hollow solid lipid micro- and nanoparticles using carbon dioxide. *Food Chemistry*, vol. 231, pp. 105-113.
- ZANQUI, A.B., DA SILVA, C.M., DE MORAIS, D.R., SANTOS, J.M., RIBEIRO, S.A.O., EBERLIN, M.N., CARDOZO-FILHO, L., VISENTAINER, J.V., GOMES, S.T.M. y MATSUSHITA, M., 2016. Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil composition varies with changes in temperature and pressure in subcritical extraction with n-propane. *Industrial Crops and Products*, vol. 87,

pp. 64-70. ISSN 09266690. DOI 10.1016/j.indcrop.2016.04.029.

ZHOU, D., ZHOU, F., MA, J. y GE, F., 2019. Industrial Crops & Products  
Microcapsulation of Ganoderma Lucidum spores oil : Evaluation of its fatty  
acids composition and enhancement of oxidative stability. , vol. 131, no.  
September 2018, pp. 1-7.