



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA**

“EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EN LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE  
SEMILLAS DE SOJA (*Glycine max* L.) Y GIRASOL (*Helianthus annuus* L.)  
UTILIZANDO COMO PRETRATAMIENTO LA TÉCNICA DE EXPLOSIÓN POR  
VAPOR”

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniera Biotecnóloga

AUTORAS: PAULA GABRIELA BRITO LÓPEZ

XIMENA JAMILETH CAJAMARCA RIVADENEIRA

TUTORA: DRA. MYRIAM XIMENA MANCHENO CÁRDENAS, Mgtr.

Cuenca - Ecuador

2023

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotras, Paula Gabriela Brito López con documento de identificación N° 0106544992 y Ximena Jamileth Cajamarca Rivadeneira con documento de identificación N° 0751035718; manifestamos que:

Somos las autoras y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 16 de agosto del 2023

Atentamente,



---

Paula Gabriela Brito López

0106544992



---

Ximena Jamileth Cajamarca Rivadeneira

0751035718

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotras, Paula Gabriela Brito López con documento de identificación N° 0106544992 y Ximena Jamileth Cajamarca Rivadeneira con documento de identificación N° 0751035718, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del Trabajo experimental: “Evaluación del rendimiento en la extracción de aceite de semillas de soja (*Glycine max* L.) y girasol (*Helianthus annuus* L.) utilizando como pretratamiento la técnica de explosión por vapor”, el cual se ha desarrollado para optar el título de: Ingeniera Biotecnóloga, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 16 de agosto del 2023

Atentamente,

---

Paula Gabriela Brito López

0106544992

---

Ximena Jamileth Cajamarca Rivadeneira

0751035718

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Myriam Ximena Mancheno Cárdenas con documento de identificación N° 0602018160, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EN LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLAS DE SOJA (*Glycine max* L.) Y GIRASOL (*Helianthus annuus* L.) UTILIZANDO COMO PRETRATAMIENTO LA TÉCNICA DE EXPLOSIÓN POR VAPOR”, realizado por Paula Gabriela Brito López con documento de identificación N° 0106544992 y por Ximena Jamileth Cajamarca Rivadeneira con documento de identificación N° 0751035718, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 16 de agosto del 2023

Atentamente,



---

Dra. Myriam Ximena Mancheno Cárdenas, Mgtr.

0602018160

## **DEDICATORIA**

A la luz de mi vida, mi madre Haydee, por ser mi ejemplo de mujer, estar siempre a mi lado,  
ser tan dulce e inspirarme cada día a cumplir mis metas y recordarme mi valor.

A mi apoyo constante, mi padre Pablo, por inspirarme seguridad, ofrecerme sabiduría,  
guiarme en cada paso y por recordarme todos los días que el esfuerzo y la perseverancia  
valen la pena.

A quienes me brindan amor incondicional, Luis y Samanta, por ser luz cuando mi mundo se  
oscurece.

Al pequeño de la casa, Joaquín, por sacarme sonrisas cada día.

Paula Brito

## **AGRADECIMIENTO**

A mi tutora, Dra. Myriam, por su acompañamiento, paciencia y cariño durante este proceso. Además de haber sido pilar en mi trayectoria universitaria, me ha brindado confianza y una amistad invaluable.

A mis estimados docentes, su sabiduría y paciencia me han ayudado a crecer no solo académica sino personalmente. Especialmente agradezco al Dr. Pablo por sus enseñanzas y acompañamiento. A la Dra. Inés, además de haber sido una excelente maestra, sus consejos y orientación han hecho de mí una mejor persona. Me ha brindado una sólida amistad y ha depositado su confianza en mí; durante estos años he podido aprender de ella y se ha vuelto un ejemplo que me gustaría seguir.

A Ximena, quien además de pasar por altos y bajos durante este proceso, me ha acompañado como amiga. Gracias por tu determinación y compromiso, por creer en mí e invitarme a sacar mi mejor versión.

A mi familia, por ser mi apoyo constante y estar siempre a mi lado, soy quien soy gracias a ustedes. Su amor y comprensión han sido esenciales para alcanzar este logro.

A mis amigos, por permitirme tenerlos en mi vida y aprender de ustedes; han sido mis más grandes aliados y mi pañuelo de lágrimas. Gracias especialmente a Odalis, Michelle y Samantha por hacer de la universidad una experiencia inolvidable, han dejado una huella imborrable en mi memoria; y a Fernando, por ser mi lugar seguro.

A todos quienes dejaron una marca en mi vida para hacerme quien soy hoy, quienes me apoyaron y me acompañaron en este camino, quienes me enseñaron lecciones y me han permitido ser parte de sus vidas. Gracias por ser parte de mí.

Paula Brito

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo de titulación con mucho amor a mis queridos abuelitos, quienes partieron antes de verme cumplir este sueño. Sé que, desde algún lugar del cielo, me han estado acompañando con orgullo en cada paso de esta etapa universitaria.

A mis amados padres Enrique y Rosita, quienes han sido mi pilar incondicional a lo largo de mi vida. Su apoyo, sacrificio y sabios consejos fueron fundamentales para llegar hasta aquí, impulsándome a superar obstáculos y alcanzar mis metas con determinación.

A mis queridos hermanos Ronald y Michelle. Su apoyo ha sido mi motivación para dar lo mejor de mí en cada desafío que me ha presentado la vida.

Ximena Cajamarca

## AGRADECIMIENTO

Agradezco, en primer lugar, a Dios, quien ha sido mi guía inquebrantable. Su luz ha iluminado mi camino llenándome de fortaleza para alcanzar este objetivo con perseverancia.

A mi familia, les agradezco profundamente por todo su amor, apoyo y motivación incondicional. Sin duda cada paso que he dado en este camino académico y personal es un reflejo de la fuerza que me han brindado.

A mi tutora de tesis, Dra. Myriam Mancheno, por su invaluable orientación y paciencia en el desarrollo de este trabajo de titulación. Además, agradezco su presencia constante tanto en los aspectos académicos como personales, convirtiéndose en una amiga cercana y de confianza que quiero para toda la vida.

A mi compañera de tesis y amiga, Paula Brito, por su apoyo en la realización de este trabajo de titulación y con quien siempre ha sido una experiencia enriquecedora trabajar juntas superando cada obstáculo que se nos presentaba.

A todos los docentes de la carrera de Biotecnología, en especial a la Dra. Inés Malo y el Dr. Pablo Arévalo, a quienes además de agradecerles por mi formación académica, agradezco su apoyo y sus consejos, que me han ayudado a perseverar y seguir luchando en los momentos difíciles.

Agradezco a mis amigas incondicionales, Mary, Gaby, Liz, Sofi, Dome, Majo, Ali y Naty quienes nunca me dejaron sola y estuvieron siempre a mi lado compartiendo risas, lágrimas y momentos inolvidables. Su compañía y apoyo fueron fundamentales para culminar esta bonita etapa.

Ximena Cajamarca

## INDICE

|   |    |
|---|----|
| <b>CAPÍTULO 1</b> .....   | 3  |
| <b>1.1 INTRODUCCIÓN</b> .....   | 3  |
| <b>1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....                                     | 4  |
| <b>1.3 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....                                      | 4  |
| <b>1.4 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN</b> .....                                      | 5  |
| <b>1.5 JUSTIFICACIÓN</b> .....  | 5  |
| <b>1.6 OBJETIVOS</b> .....  | 6  |
| <b>1.6.1 GENERAL</b> .....  | 6  |
| <b>1.6.2 ESPECÍFICOS</b> .....  | 6  |
| <b>1.7 HIPÓTESIS</b> .....  | 6  |
| <b>1.7.1 HIPÓTESIS ALTERNATIVA</b> .....  | 6  |
| <b>1.7.2 HIPÓTESIS NULA</b> .....   | 7  |
| <b>CAPÍTULO 2</b> .....   | 8  |
| <b>MARCO TEÓRICO</b> .....  | 8  |
| <b>2.1 ESTADO DEL ARTE</b> .....  | 8  |
| <b>2.2 BASES TEÓRICAS</b> .....   | 9  |
| <b>2.2.1 SOJA (<i>Glycine max L.</i>)</b> .....                                 | 9  |
| <b>2.2.2 GIRASOL (<i>Helianthus annuus L.</i>)</b> .....                        | 14 |
| <b>2.2.3 ACEITES VEGETALES</b> .....  | 19 |
| <b>2.2.4 ACEITE DE SOJA ( <i>Glycine max L.</i>)</b> .....                      | 21 |
| <b>2.2.5 ACEITE DE GIRASOL ( <i>Helianthus annuus L.</i>)</b> .....             | 23 |
| <b>2.2.6 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE VEGETAL</b> .....                      | 25 |
| <b>2.2.7 PRETRATAMIENTO DE EXPLOSIÓN POR VAPOR (STEAM EXPLOSION)</b><br>29      |    |
| <b>2.2.8 ESPECTROSCOPIA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER - FTIR</b><br>30 |    |
| <b>CAPÍTULO 3</b> .....   | 32 |
| <b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....   | 32 |
| <b>3.1 NIVEL DE INVESTIGACIÓN</b> .....   | 32 |
| <b>3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b> .....  | 32 |
| <b>3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA</b> .....  | 32 |
| <b>3.3.1 POBLACIÓN</b> .....  | 32 |
| <b>3.3.2 MUESTRA</b> .....  | 32 |
| <b>3.4 VARIABLES</b> .....  | 32 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.4.1 VARIABLE INDEPENDIENTE .....   | 33  |
| 3.4.2 VARIABLE DEPENDIENTE.....  | 33  |
| 3.5    TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA RECOLECCIÓN DE DATOS .....  | 33  |
| 3.6    TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS.....  | 33  |
| 3.7    PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES.....  | 33  |
| 3.7.1 OBTENCIÓN DE LA MATERIA PRIMA .....  | 34  |
| 3.7.2 EXPLOSIÓN POR VAPOR (STEAM EXPLOSION) .....  | 34  |
| 3.7.4 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD.....  | 37  |
| 3.7.5 EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE LAS SEMILLAS DE SOJA ( <i>Glycine max L.</i> ) y<br>GIRASOL ( <i>Helianthus annuus L.</i> ).....      | 37  |
| 3.7.5 CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE SOJA ( <i>Glycine max L.</i> ) Y GIRASOL<br>( <i>Helianthus annuus L.</i> ).....                 | 40  |
| 3.7.6 ESPECTROS INFRARROJOS POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR) ....  | 48  |
| CAPÍTULO 4 .....   | 50  |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....   | 50  |
| 4.1    PRETRATAMIENTO DE EXPLOSIÓN POR VAPOR .....   | 50  |
| 4.2    DETERMINACION DE NORMALIDAD Y DIFERENCIA SIGNIFICATIVA DE<br>DATOS.....   | 53  |
| 4.3    CARACTERIZACIÓN DE LOS ACEITES DE SEMILLA DE SOJA ( <i>Glycine max L.</i> )<br>y GIRASOL ( <i>Helianthus annuus L.</i> )..... | 65  |
| 4.3.1 ÍNDICE DE REFRACCIÓN.....  | 65  |
| 4.3.2 INDICE DE ACIDEZ .....   | 68  |
| 4.3.3 INDICE DE SAPONIFICACIÓN .....   | 71  |
| 4.3.4 INDICE DE YODO.....  | 75  |
| 4.3.5 INDICE DE PERÓXIDOS .....  | 78  |
| 4.3.6 DENSIDAD RELATIVA.....   | 81  |
| 4.4    ESPECTROS INFRARROJOS POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR) ....   | 84  |
| CAPÍTULO 5 .....   | 88  |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....  | 88  |
| 5.1 CONCLUSIONES.....  | 88  |
| 5.2 RECOMENDACIONES.....   | 89  |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....   | 91  |
| ANEXOS.....  | 103 |

## INDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1</b> Clasificación taxonómica de soja ( <i>Glycine max L</i> .....  | 11 |
| <b>Tabla 2</b> Clasificación taxonómica del girasol ( <i>Helianthus annuus L.</i> ).....  | 15 |
| <b>Tabla 3</b> Composición de ácidos grasos [AGs] de aceite de soja ( <i>Glycine Max L.</i> ) .....   | 23 |
| <b>Tabla 4</b> Composición de ácidos grasos [AGs] de aceite de girasol ( <i>Helianthus annuus L.</i> ).....   | 25 |
| <b>Tabla 5</b> Condiciones iniciales del diseño experimental para el pretratamiento de explosión por vapor.<br>.....                                    | 36 |
| <b>Tabla 6</b> Condiciones iniciales del diseño experimental para la extracción de aceites vegetales de soja<br>y girasol.....                          | 39 |
| <b>Tabla 7</b> Rendimiento de la extracción de aceite de semilla de soja ( <i>Glycine max L.</i> ) con y sin<br>pretratamiento. ....                    | 51 |
| <b>Tabla 8</b> Rendimiento de la extracción de aceite de semilla de girasol ( <i>Helianthus annuus L.</i> ) con y sin<br>pretratamiento. ....           | 52 |
| <b>Tabla 9</b> Resumen de los rendimientos de extracción de semilla de soja ( <i>Glycine max L.</i> ) y girasol<br>( <i>Helianthus annuus L.</i> )..... | 53 |
| <b>Tabla 10</b> Resultados de la prueba estadística de Shapiro Wilks para aceite de semilla de soja.....  | 54 |
| <b>Tabla 11</b> Resultados de la prueba estadística ANOVA para aceite de semilla de soja.....   | 55 |
| <b>Tabla 12</b> Resultados de la prueba estadística de Tukey para aceite de semilla de soja. ....   | 55 |
| <b>Tabla 13</b> Resultados de la prueba estadística de Shapiro Wilks para aceite de semilla de soja (100g).<br>.....                                    | 57 |
| <b>Tabla 14</b> Resultados de la prueba estadística ANOVA para aceite de semilla de soja (100g). ....   | 57 |
| <b>Tabla 15</b> Resultados de la prueba estadística de Tukey para aceite de semilla de soja (100g).....   | 58 |
| <b>Tabla 16</b> Resultados de la prueba estadística de Shapiro Wilks para aceite de semilla de girasol. ....  | 59 |
| <b>Tabla 17</b> Resultados de la prueba estadística ANOVA para aceite de semilla de girasol.....  | 60 |
| <b>Tabla 18</b> Resultados de la prueba estadística de Tukey para aceite de semilla girasol.....  | 61 |
| <b>Tabla 19</b> Resultados de la prueba estadística de Shapiro Wilks para aceite de semilla de girasol<br>(100g).....                                   | 62 |
| <b>Tabla 20</b> Resultados de la prueba estadística ANOVA para aceite de semilla de girasol (100g).....   | 63 |
| <b>Tabla 21</b> Resultados de la prueba estadística de Tukey para aceite de semilla de girasol (100g). ....   | 64 |
| <b>Tabla 22</b> Índice de refracción del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento .....   | 66 |
| <b>Tabla 23</b> Índice de refracción del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento .....  | 67 |
| <b>Tabla 24</b> Índice de acidez del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento .....   | 69 |
| <b>Tabla 25</b> Índice de acidez del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento .....  | 70 |
| <b>Tabla 26</b> Índice de saponificación del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento. ....   | 72 |
| <b>Tabla 27</b> Índice de saponificación del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento .....  | 73 |
| <b>Tabla 28</b> Índice de yodo del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento.....  | 75 |
| <b>Tabla 29</b> Índice de yodo del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento .....  | 76 |
| <b>Tabla 30</b> Índice de peróxidos del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento. ....  | 78 |
| <b>Tabla 31</b> Índice de peróxidos del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento. ....   | 80 |
| <b>Tabla 32</b> Densidad relativa del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento. ....  | 81 |
| <b>Tabla 33</b> Densidad relativa del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento. ....   | 83 |
| <b>Tabla 34</b> Cálculos de coeficiente de correlación ( $R^2$ ) .....  | 86 |

## INDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> Equipo de extracción soxhlet.....  | 26 |
| <b>Figura 2</b> Muestras de semillas de soja ( <i>Glycine max L.</i> ) y girasol ( <i>Helianthus annuus L.</i> ) .....                 | 34 |
| <b>Figura 3</b> Equipo de explosión por vapor (Steam Explosión) .....  | 35 |
| <b>Figura 4</b> Muestras de semillas de soja ( <i>Glycine max L.</i> ) y girasol ( <i>Helianthus annuus L.</i> ) pretratadas.<br>..... | 36 |
| <b>Figura 5</b> Equipo Analizador de Humedad Halógeno (HB43-S) .....   | 37 |
| <b>Figura 6</b> Equipo de extracción con solvente (Soxhlet) .....  | 38 |
| <b>Figura 7</b> Aceite obtenido de soja ( <i>Glycine max L.</i> ) y girasol ( <i>Helianthus annuus L.</i> ) .....                      | 40 |
| <b>Figura 8</b> Índice de refracción del aceite de soja ( <i>Glycine max L.</i> ) .....  | 41 |
| <b>Figura 9</b> Índice de refracción del aceite de girasol ( <i>Helianthus Annus L.</i> ).....   | 41 |
| <b>Figura 10</b> Índice de acidez determinado .....  | 42 |
| <b>Figura 11</b> Determinación de índice de saponificación.....  | 44 |
| <b>Figura 12</b> Determinación de índice de yodo .....   | 45 |
| <b>Figura 13</b> Determinación de la densidad relativa de los aceites. ....  | 48 |
| <b>Figura 14</b> Equipo de espectrofotometría infrarroja (FTIR) .....  | 49 |
| <b>Figura 15</b> Espectros de los aceites obtenidos y su comparación con la base de datos.....   | 85 |
| <b>Figura 16</b> Espectros de las diluciones de aceite puro y DMSO. ....   | 87 |

## INDICE DE GRAFICAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Gráfica 1</b> Diagrama de cajas- Aceite de soja .....  | 56 |
| <b>Gráfica 2</b> Diagrama de cajas- Aceite de soja (100g) .....   | 59 |
| <b>Gráfica 3</b> Diagrama de cajas- Aceite de girasol.....  | 61 |
| <b>Gráfica 4</b> Diagrama de cajas- Aceite de girasol (100g) .....  | 64 |
| <b>Gráfica 5</b> Índice de refracción del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento .....        | 66 |
| <b>Gráfica 6</b> Índice de refracción del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento.....      | 68 |
| <b>Gráfica 7</b> Índice de acidez del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento. ....            | 69 |
| <b>Gráfica 8</b> Índice de acidez del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento. ....         | 71 |
| <b>Gráfica 9</b> Índice de saponificación del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento .....    | 72 |
| <b>Gráfica 10</b> Índice de saponificación del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento..... | 74 |
| <b>Gráfica 11</b> Índice de yodo del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento. ....             | 75 |
| <b>Gráfica 12</b> Índice de yodo del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento .....          | 77 |
| <b>Gráfica 13</b> Índice de peróxidos del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento.....         | 79 |
| <b>Gráfica 14</b> Índice de peróxidos del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento. ....     | 80 |
| <b>Gráfica 15</b> Densidad relativa del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento. ....          | 82 |
| <b>Gráfica 16</b> Densidad relativa del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento.....        | 83 |

## INDICE DE ECUACIONES

|  |    |
|--|----|
| <b>Ecuación 1</b> Porcentaje % de rendimiento..... | 38 |
| <b>Ecuación 2</b> Índice de acidez .....           | 42 |
| <b>Ecuación 3</b> Índice de saponificación.....    | 43 |
| <b>Ecuación 4</b> Índice de yodo .....             | 45 |
| <b>Ecuación 5</b> Índice de peróxidos .....        | 46 |
| <b>Ecuación 6</b> Densidad relativa.....           | 47 |

## RESUMEN

El presente estudio tiene como propósito evaluar el rendimiento de la obtención de aceite de las semillas de soja (*Glycine max* L.) y girasol (*Helianthus annuus* L.) por Soxhlet mediante la utilización de un pretratamiento de explosión por vapor. Los resultados obtenidos indicaron que el pretratamiento aumenta la cantidad de la extracción de aceite de soja, lo que podría tener implicaciones positivas en la industria de procesamiento de aceites vegetales. Sin embargo, en el caso de las semillas de girasol, los resultados fueron diferentes ya que el pretratamiento no mostró mejoras significativas en el rendimiento de extracción. Esto sugiere que esta técnica puede no ser la adecuada en términos de optimización del rendimiento del aceite. Un aspecto relevante a tener en cuenta es que, durante el pretratamiento del material vegetal, aproximadamente el 60% del mismo se perdió. Esta pérdida podría incidir en la viabilidad económica y sostenibilidad del proceso de extracción, por lo que es importante proponer métodos de recuperación de materia pretratada. En cuanto a la evaluación estadística realizada, se emplearon pruebas como Shapiro-Wilks, ANOVA y Tukey; estas técnicas permitieron analizar los datos obtenidos y proporcionar una base sólida para las conclusiones del estudio. Además, se llevaron a cabo diferentes pruebas fisicoquímicas e instrumentales para determinar las características del aceite, la calidad y su pureza; las mismas que reportaron resultados positivos.

**Palabras clave:** Soja, girasol, steam explosion, Soxhlet, rendimiento.

## **ABSTRACT**

The purpose of this study is to evaluate the yield of oil Soxhlet extraction from soybean (*Glycine max* L.) and sunflower seeds (*Helianthus annuus* L.) by using a steam explosion pretreatment. The results obtained indicate that steam explosion technique increases the amount of oil extraction from soybeans, which could have positive implications in the vegetable oil processing industry. However, in the case of sunflower seeds, the results were different since the pretreatment did not show significant improvements in the extraction yield. This suggests that this technique may not be adequate in terms of optimizing oil performance. A relevant aspect to consider is that during the pretreatment of plant material, approximately 60% of it was lost. This loss could affect the economic viability and sustainability of the process, so it is important to propose recovery methods for pre-treated material. Regarding the statistical evaluation carried out, tests such as Shapiro-Wilks, ANOVA and Tukey were used; These tools made it possible to analyze the data obtained and provided a solid basis for the conclusions of the study. In addition, different physicochemical and instrumental tests were implemented to determine the quality, purity and the characteristics of the oil; the same ones that reported positive results.

**Key words:** Soybean, Sunflower, steam explosion, Soxhlet, yield.

# CAPÍTULO 1

## 1.1 INTRODUCCIÓN

Las semillas oleaginosas representan una valiosa fuente que, si se tratan adecuadamente, pueden emplearse de manera sostenible para obtener sustancias químicas tanto a nivel industrial como en el laboratorio. Un paso crucial en el procesamiento de aceite de semilla es la extracción de aceite, ya que esto influye directamente en la cantidad y calidad del aceite obtenido. Al mejorar las condiciones de extracción, se logra un mayor rendimiento y calidad, lo que a su vez conlleva a una reducción de los costos en todo el proceso (Divine & Foncha, 2020).

En ese contexto, se considera necesario estudiar y aprovechar las oportunidades que brinda la biotecnología para mejorar los indicadores de producción de diversos productos en distintas industrias. La aplicación de técnicas biotecnológicas para brindar un buen tratamiento de los materiales en todos los procesos de producción ha resultado ser fundamental para lograr este objetivo

La presente investigación tiene como finalidad evaluar el rendimiento de la extracción de aceite de semillas de soja (*Glycine max L.*) y girasol (*Helianthus Annuus L.*). Para lograr esto, se empleará un método biotecnológico conocido como pretratamiento con explosión por vapor para optimizar el proceso. El objetivo principal es analizar y comparar los resultados de la obtención de aceite con y sin pretratamiento de explosión por vapor, con el fin de determinar la efectividad de este método en términos de rendimiento y calidad del aceite obtenido. Además, se busca reducir la dependencia de las importaciones de aceite vegetal y aprovechar los recursos nacionales a través de la aplicación de la biotecnología.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Actualmente, Ecuador es dependiente en gran medida de las importaciones de aceite de soja (*Glycine max L.*) y aceite de girasol (*Helianthus Annuus L.*), llegando a 34.000 y 115.000 toneladas respectivamente en el año 2021 (Orozco 2022). Esta situación no solo representa una producción significativa de recursos económicos, sino que también coloca al país en una posición vulnerable en términos de suministro de materias primas para el consumo directo y la producción de diversos procesos industriales, como el endurecimiento de biopolímeros, fabricación de pinturas, producción de biodiesel, entre otros.

Esta situación plantea la necesidad de aumentar el rendimiento en la obtención de aceites fomentando la biotecnología, cuyo principio se basa en el aprovechamiento de fuentes naturales y en la optimización de procesos. Mediante la investigación y aplicación de estrategias se busca aumentar la producción de aceites a nivel nacional para que Ecuador disminuya su nivel de importaciones en cuanto a aceites.

## **1.3 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

El presente trabajo ha sido ejecutado en los Laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Ecuador; además, tuvo una duración de aproximadamente tres meses. Tomando esto en consideración, se presentaron algunas limitaciones que pudieron influir en el desarrollo del estudio, las principales fueron:

1. Restricciones en el tiempo para la recolección y análisis de datos.
2. Disponibilidad de hexano para realizar la extracción de aceites.
3. Acceso limitado a reactivos para realizar las pruebas fisicoquímicas.
4. Acceso a los laboratorios de Ciencias de la Vida.

## **1.4 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿El pretratamiento con explosión por vapor influye en el rendimiento de extracción de aceites de soja (*Glycine max L.*) y girasol (*Helianthus annuus L.*)?

## **1.5 JUSTIFICACIÓN**

El creciente aumento de las importaciones de aceite de girasol y soja para satisfacer la demanda nacional ofrece al país la oportunidad de aprovechar sus condiciones propicias para el cultivo de especies oleaginosas y su rica biodiversidad. Esto abre la posibilidad de expandir las áreas de cultivo y producción de estos aceites en el país, permitiendo obtener la materia prima de forma local y asegurando la calidad en la producción final. Por esta razón, el enfoque de esta investigación es extraer aceite de semillas de girasol y soja, las cuales son sometidas a un pretratamiento de explosión por vapor. El objetivo principal es evaluar la eficiencia de este método en función del rendimiento obtenido en el producto final con cada tipo de semilla.

El aceite de girasol es altamente recomendable gracias a sus destacadas propiedades, especialmente por su contenido de ácidos grasos insaturados, como el ácido oleico y linoleico. Estas características hacen que sea considerado uno de los aceites más valiosos y de alta calidad para diversas aplicaciones (García, 2019).

El aceite de soja se sitúa como el mayor aceite producido a nivel mundial y se destaca por su abundante contenido de ácidos grasos poliinsaturados, superando a los aceites de colza, palma y girasol en este aspecto. Su importancia en la industria química radica en su alto grado de insaturación, lo que permite que se utilice como efecto secante en la elaboración de resinas alquídicas, que posteriormente se emplean en la fabricación de pinturas (Montenegro & Perneth, 2019).

Tanto el aceite de girasol como el de soja son considerados fuentes vitales para la producción de biopolímeros, ya que están compuestos por triglicéridos que se caracterizan por

ser moléculas altamente funcionales. Estas moléculas presentan grupos como dobles enlaces internos, alcoholes y epóxidos, los cuales pueden ser aprovechados para llevar a cabo procesos de polimerización mediante diversos métodos (Reyna, 2018).

## **1.6 OBJETIVOS**

### **1.6.1 GENERAL**

Evaluar el proceso de extracción de aceite de las semillas de soja (*Glycine max L.*) y girasol (*Helianthus annuus L.*) utilizando la técnica de explosión de vapor para su posterior aplicación en la industria.

### **1.6.2 ESPECÍFICOS**

1. Determinar las condiciones óptimas de la técnica de explosión por vapor mediante el método ensayo y error para la obtención del aceite de las semillas de soja (*Glycine max L.*) y girasol (*Helianthus annuus L.*).
2. Caracterizar el aceite obtenido a partir de las semillas de soja (*Glycine max L.*) y girasol (*Helianthus annuus L.*) por medio de técnicas fisicoquímicas e instrumentales identificando la calidad del producto.
3. Comparar los resultados obtenidos de los aceites con y sin pretratamiento de explosión por vapor a través de modelos estadísticos para la verificación de su eficiencia.

## **1.7 HIPÓTESIS**

### **1.7.1 HIPÓTESIS ALTERNATIVA**

El pretratamiento con la técnica de explosión por vapor que se le da a las semillas influye en el rendimiento y propiedades de los aceites de soja (*Glycine max L.*) y girasol (*Helianthus annuus L.*).

### **1.7.2 HIPÓTESIS NULA**

El pretratamiento con la técnica de explosión por vapor que se le da a las semillas no influye en el rendimiento y propiedades de los aceites de soja (*Glycine max L.*) y girasol (*Helianthus annuus L.*).

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

En este capítulo, profundizamos el marco teórico para mejorar nuestra comprensión de la investigación actual. La investigación científica se centra en el proceso de extracción de aceite vegetal de semillas de soja y girasol mediante el método Soxhlet, con una etapa inicial de pretratamiento mediante explosión de vapor. Para lograr esto, es crucial obtener una comprensión integral de las características específicas de estas semillas y recopilar información relevante sobre los aceites y el proceso de extracción Soxhlet, lo que permite la implementación sin problemas del aspecto práctico del proyecto.

#### **2.1 ESTADO DEL ARTE**

Las plantas presentes en Ecuador no solo aportan valiosas propiedades nutricionales para la sociedad, sino que también tienen la capacidad de producir compuestos fitoquímicos, como los aceites vegetales. Estos aceites se utilizan en diversas industrias, lo que añade un valor adicional al producto final (Rojas, 2019).

De acuerdo con el estudio de Doan y otros (2019), la semilla de soja (*Glycine max*) tiene un contenido de lípidos totales del 16.91%. Por otro lado, Akkaya, (2018) indica que el girasol (*Helianthus annuus* L.) se considera una de las plantas oleaginosas más importantes con un contenido de aceite del 22 al 55 %. Esto indica que las semillas a utilizar representan una fuente rica para extracción de aceites.

Según Bernard (2020) en su trabajo de titulación: “Optimización del proceso de producción de materiales entrecruzados derivados de poliésteres insaturados a partir de aceites vegetales (soja)” afirma que unas de las aplicaciones con más auge de la semilla de soja es la extracción de aceites para su posterior uso en polímeros, ya que al aceite extraído de las

semillas se lo puede emplear como plastificante secundario de polímeros para proveer estabilidad al calor, luz y reducir el costo de producción.

Según la investigación de Cañas (2013) titulada "Plastificación interna con bioaceites epoxidados del ácido poliláctico (PLA) para productos básicos procesados por inyección o extrusión", se menciona que la epoxidación del aceite de girasol permite modificar los ácidos grasos insaturados presentes en él. Esto posibilita su uso como estabilizadores, plastificantes de polímeros, aditivos en lubricantes y otras aplicaciones.

Ziegler, Chrusciel y Brosse (2021) en su trabajo titulado: "Pretratamiento de explosión de vapor de biomasa lignocelulósica: una mini revisión de enfoques teóricos y experimentales" indica que el pretratamiento de explosión por vapor es una combinación de un tratamiento de agua subcrítico y una ruptura de la pared celular, donde la caída de presión repentina conduce a una expansión de vapor dentro de las fibras y una ruptura de la estructura fibrosa. Las características específicas del proceso lo convierten en un método de elección para el aislamiento de compuestos de alto valor.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 SOJA (*Glycine max* L.)**

La soja es considerada uno de los importantes cultivos de la familia Fabaceae a la cual también pertenecen especies como la judía o el guisante, procede de la especie *Glycine max* que se desarrolla en China y Japón (Solórzano, 2019).

La soja es ahora el cultivo de leguminosas más importante del mundo, y el sexto de todos los cultivos en términos de cosecha total, y la semilla oleaginosa más producida, cultivada en diversos climas en todo el mundo. La Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) lo clasificó como una semilla oleaginosa en lugar de legumbres. Los

principales productores de soja en el mundo son Estados Unidos, Argentina, Brasil, China e India, quienes representan más del 90 % de la producción mundial de este cultivo (FAO, 2019).

El rendimiento del cultivo de soja depende de las condiciones de crecimiento en el momento de la siembra ya que influyen en el éxito de la germinación y el vigor de la semilla. La tasa de germinación aumenta a temperaturas más cálidas por lo que la soja necesita una temperatura mínima del suelo de 55 a 60 °F (Shea & William, 2019).

Una semilla que está en el suelo pero que no puede germinar rápidamente y emerger por encima de la superficie del suelo tendrá una mayor probabilidad de exposición a enfermedades como el marchitamiento. La soja prospera en suelos arcillosos bien drenados y fértiles con un pH de 5,8 a 6,5 y no se puede cultivar en áreas donde las lluvias son muy intensas (Firdous, 2020).

#### **2.2.1.1. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA**

La clasificación taxonómica de la especie *Glycine max* L. (soja) se encuentra especificada en la tabla 1.

**Tabla 1**

Clasificación taxonómica de soja (*Glycine max* L.).

| <i>Clasificación taxonómica</i> |                       |
|---------------------------------|-----------------------|
| <i>Reino</i>                    | <i>Plantae</i>        |
| <i>División</i>                 | <i>Magnoliophyta</i>  |
| <i>Clase</i>                    | <i>Magnoliopsida</i>  |
| <i>Orden</i>                    | <i>Fabales</i>        |
| <i>Familia</i>                  | <i>Fabaceae</i>       |
| <i>Subfamilia</i>               | <i>Faboideae</i>      |
| <i>Género</i>                   | <i>Glycine</i>        |
| <i>Especie</i>                  | <i>Glycine max</i> L. |

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de Vásquez (2022).

### **2.2.1.2 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA**

La soja es una planta anual que alcanza alturas de hasta 1,5 m. Esta planta posee tallos erectos que se encuentran cubiertos por una pilosidad espesa de color marrón, sus hojas son alternas trifoliadas y presentan folios ovales con pedúnculos cortos, sus frutos son legumbres que alcanzan una longitud de 7 cm en la cual se encuentran en su interior entre una a cuatro semillas, las mismas que pueden ser de distintos colores (verdes, negras o amarillas) según el tipo de cultivo que se obtenga, además poseen abundantes vitaminas y minerales tales como la vitamina K, B1, fósforo, cobre, magnesio y potasio (Tupac, 2020).

### **2.2.1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA SEMILLA DE SOJA**

Las semillas son de forma esférica y presentan una coloración amarilla. Por lo general dentro de su estructura se encuentra una línea de color negro representativa de la misma. Es de tamaño mediano y en variedades comerciales alcanzan un peso de 15 a 20 gramos. Las semillas son una fuente importante de proteínas y aceite. La proteína de soja tiene un buen equilibrio de aminoácidos esenciales, especialmente lisina y leucina (Bermo, 2022).

### **2.2.1.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA SEMILLA**

Las semillas de soja dentro de su composición tienen la presencia de glúcidos en un 15 a 35%, proteínas con aminoácidos esenciales como la histidina, isoleucina, tirosina, lisina en un 35-40% y lípidos en los que se tiene más enfoque a los fosfolípidos como la lecitina, así también este tipo de semilla presenta esteroides, saponósidos, carotenoides, vitaminas, enzimas, ácido fólico e isoflavonas las mismas que son de gran importancia por los beneficios que confiere en la salud (Solórzano, 2019).

#### **2.2.1.4.1 PROTEÍNAS**

Las semillas de soja poseen una amplia fuente de proteínas, sin embargo, el contenido de proteína puede variar significativamente de un cultivo a otro dependiendo de la zona de cultivo, su rango de crecimiento y el proceso de cosecha (Caicedo et al; 2019). El contenido de proteína se encuentra entre el 35 al 40%. La acumulación de proteínas comienza en las semillas en desarrollo entre 10 y 12 días después de la floración, mientras que el aceite comienza a acumularse entre 15 y 20 días después de la floración (Mallqui et al; 2023).

Las principales proteínas que poseen las semillas de soja son la glicinina, que representa alrededor del 60% de las proteínas de almacenamiento y la  $\beta$ -conglucina del 40 % restante. Se sabe que estos dos tipos de proteínas de almacenamiento son deficientes en

aminoácidos azufrados, aunque la glicinina contiene una mayor cantidad de estos aminoácidos (4%) en relación con la  $\beta$ -conglucina (<1%) (Chaturika & Raja, 2018).

#### **2.2.1.4.2 LÍPIDOS**

Los lípidos de la soja tienen un amplio espectro de funciones, que incluyen ser parte de las membranas, actuar como reserva de energía y servir como medio solvente para muchas sustancias solubles en lípidos. (Gerde & Blanco, 2019).

Los esferosomas son el lugar principal de las semillas de soja donde se almacenan los lípidos, en los cuales se encuentra un rango de lípidos que va de 20 a 22%. El aceite de soja posee un 88.1 % de lípidos neutros, 9.8 % de fosfolípidos y 1.6 % de glucolípidos, de los cuales sus principales componentes son los ácidos palmíticos, oléico, linoléico y linolénico (Tupac, 2020).

#### **2.2.1.4.3 CARBOHIDRATOS**

Los carbohidratos forman parte importante de una porción de la semilla de soja (*Glycine max* L.). Por lo general contiene alrededor de un 30 a 35% de carbohidratos; en el caso de harina de soja puede alcanzar un contenido de carbohidratos del 40%. Los carbohidratos en base a sus propiedades fisicoquímicas presentes en el material vegetal se pueden dividir en dos grupos principales. En el primer grupo se encuentran los carbohidratos no estructurales en los cuales se incluye azúcares de bajo peso molecular, oligosacáridos y polisacáridos de almacenamiento. El segundo grupo está conformado por los polisacáridos estructurales e incluye a los componentes de fibra dietética. (Gerde & Blanco, 2019).

#### **2.2.1.5 BENEFICIOS DE LA SOJA**

Los beneficios de la soja radican en su perfil nutricional. Son una rica fuente de vitaminas E y B, calcio, hierro, fibra, zinc, ácidos grasos insaturados e isoflavonas. La soja

puede actuar como un agente antidiabético y puede ayudar a reducir los trastornos renales. Además, puede ayudar a reducir el aumento del contenido de proteínas al reemplazar las proteínas animales con proteínas vegetales de soja. La proteína vegetal de soja puede ayudar en la hiperfiltración renal y puede reducir la enfermedad renal en la diabetes tipo 2. La soja contiene isoflavonas y estigmasterol que pueden actuar como agentes antidiabéticos al dirigirse a los transportadores de glucosa (Singh, 2023).

Las semillas de soja son de gran interés ya que poseen polifenoles considerados poderosos antioxidantes y, como tales, ayudan a minimizar el daño conocido como estrés oxidativo, causado por moléculas llamadas radicales libres (Dukariya et al; 2020). Por otro lado, son una fuente útil de proteína vegetal que proporciona los nueve aminoácidos esenciales que necesitamos para el crecimiento, la reparación y funciones como la inmunidad (Qin et al; 2022).

Las semillas de soja también contienen compuestos llamados fitoesteroles. Estos compuestos vegetales son estructuralmente similares al colesterol y funcionan en el cuerpo al inhibir la absorción de colesterol (Saha & Mandal, 2019).

### **2.2.2 GIRASOL (*Helianthus annuus* L.)**

El girasol (*Helianthus annuus* L.) es una planta de la familia Asteraceae (Compositae). El género *Helianthus* comprende 51 especies, la mayoría de ellas perennes. El girasol doméstico posee una sola inflorescencia grande (cabeza de flor) en la parte superior de un tallo no ramificado. Es una especie anual, que tiene un tallo erguido, rugoso y peludo, que puede alcanzar alturas de entre 2 a 3 m. Las flores en el centro de la cabeza se llaman flores de disco. Estas flores de disco maduran y se convierten en frutos, que contienen las "semillas" de girasol. *H. annuus* crece mejor en suelos fértiles, húmedos y bien drenados con mantillo pesado y

necesita pleno sol. El *H. annuus* es diploide con un número de cromosomas base de 17 y un tamaño de genoma estimado de 2871 a 3189 millones de pares de bases (Mbp).

Aunque el girasol se cultiva principalmente para la producción de aceite, hay una producción limitada de cultivares de semillas de girasol con fines no oleaginosos o de confitería. El girasol crece bien en la mayoría de las regiones del mundo, con una producción significativa en unos pocos países (Benedí, Bastida, & Sánchez-Muniz, 2016). El aceite de semillas oleaginosas ofrece una forma económica de acumulación de sustancias de reserva en las semillas y el mayor contenido calórico (Vasyl, Andriy, Liudmyla, Yuliia, & Valeria, 2023).

### 2.2.2.1 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

La clasificación taxonómica de *Helianthus annuus* L. se encuentra en la tabla 2.

**Tabla 2**

*Clasificación taxonómica del girasol ( Helianthus annuus L.)*

| <i>Clasificación taxonómica</i> |                      |
|---------------------------------|----------------------|
| <b>Reino</b>                    | <i>Plantae</i>       |
| <b>División</b>                 | <i>Magnoliophyta</i> |
| <b>Clase</b>                    | <i>Magnoliopsida</i> |
| <b>Orden</b>                    | <i>Asterales</i>     |
| <b>Familia</b>                  | <i>Asteraceae</i>    |
| <b>Género</b>                   | <i>Helianthus</i>    |
| <b>Especie</b>                  | <i>Annuus L</i>      |

*Nota.* Fuente: Elaboración propia a partir de Schoch - NCBI (2020).

#### **2.2.2.2 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA**

El girasol (*H. annuus*) es una planta anual, con un tallo áspero y peludo, de 1 a 4,5 metros de alto, hojas anchas, dentadas, ásperas y gruesas, de 7 a 15 cm de ancho en los especímenes silvestres y de 30 cm en los tipos cultivados. Las cabezas de flores circulares, de 7 a 15 cm de ancho en especímenes silvestres y, a menudo, de un pie o más en cultivo. Las inflorescencias se componen de pequeñas flores tubulares dispuestas de forma compacta en un disco plano: las de la fila exterior tienen corolas largas en forma de correa, formando los rayos de la flor compuesta (Arribas, 2018). Cada cabeza de girasol se compone de dos tipos de flores. Lo que parecen ser pétalos amarillos alrededor del borde de la cabeza son en realidad flores de rayos individuales. La cara de la cabeza se compone de cientos de flores de disco, cada una de las cuales forma un fruto con una sola semilla (aquenio) (Britannica, The Editors of Encyclopaedia, 2023).

#### **2.2.2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA SEMILLA DE GIRASOL**

Con respecto a las propiedades físicas de las semillas de girasol (*Helianthus annuus* L.), el largo, ancho y espesor promedio son de 8, 7 y 4.18 mm respectivamente. Los diámetros medios aritméticos y geométricos son aproximadamente de 8 mm y de 7,50 mm, respectivamente. Estudios mostraron que la masa de 1000 granos de girasol se encuentra alrededor de 66 g, la porosidad de 53.06% y la densidad real de 885.00 kg/m<sup>3</sup>. Los aquenios son los frutos del girasol (*Helianthus annuus* L.) que contienen solamente una semilla. Estas tienen 10 mm de largo y 4 mm de ancho, son cilíndricas o en forma de gota; la semilla de girasol consta además de una cáscara dura (pericarpio) (Isik & Izli, 2015).

#### **2.2.2.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA SEMILLA**

Su composición y valores nutritivos dependen de diversos factores como el genotipo, el tipo de suelo, las prácticas agrícolas, el clima, entre otros. Se conocen dos tipos de semillas

de girasol, las semillas productoras de aceite y las utilizadas con fines de confitería. Las primeras son negras con una cáscara delgada (lignina y materiales celulolíticos) que se adhiere al grano y representa el 20% del peso total. Originalmente, las semillas contenían un 25 % de aceite, pero mediante métodos modernos de fitomejoramiento se crearon nuevos híbridos de girasol, aumentando su contenido de aceite al 40 %. Las semillas son fuente de fibras dietéticas, ácidos grasos insaturados (linoleico en su mayoría), antioxidantes, flavonoides como quercetina, luteolina, apigenina y kaempferol; aminoácidos, proteínas (hasta un 20%), vitaminas E, B, folato y niacina; y minerales como calcio, cobre, hierro, magnesio, manganeso, selenio, fósforo, potasio, sodio y zinc. El perfil de aminoácidos incluye ácidos glutámico, aspártico, arginina, fenilalanina, tirosina, leucina, metionina y cisteína (Isik & Izli, 2015). El contenido en ácidos grasos varía hasta en un 31%, siendo superior al de otras oleaginosas como el cártamo, el maní, la soja, el sésamo y la linaza.

Las semillas de girasol oleaginosas son muy nutritivas (hasta un 40% de proteínas y 65,42% de lípidos y 18 elementos minerales). Debido al rico contenido de lípidos, se utilizan principalmente como fuente de aceite vegetal (Petraaru, Ursachi, & Amariei, 2021).

#### **2.2.2.4.1 PROTEÍNAS**

El contenido de proteína en las semillas de girasol varía entre el 20% y el 40%. Aproximadamente, el 87-99% del nitrógeno presente en estas semillas se encuentra en forma de proteínas intactas, mientras que el 1-13% restante proviene de péptidos, aminoácidos u otras sustancias nitrogenadas. Entre los aminoácidos presentes en las semillas se encuentran alanina, glicina, ácido glutámico, leucina y ácido aspártico (Petraaru, Ursachi, & Amariei, 2021).

#### **2.2.2.4.2 LÍPIDOS**

Generalmente se pueden encontrar 14 ácidos grasos en la semilla de girasol, de los cuales cinco son saturados, cinco monoinsaturados y cuatro poliinsaturados. La concentración

total de lípidos en semillas y aceite fue de 440,62 µg/mL y 441,31 µg/mL, respectivamente. Las semillas son ricas en ácidos grasos poliinsaturados (51,41%) y monoinsaturados (41,69%) y pobres en lípidos saturados (6,90%) (Petrraru, Ursachi, & Amariei, 2021).

#### **2.2.2.4.3 CARBOHIDRATOS**

Se determinó que el contenido total de carbohidratos de las semillas oscila entre 4 y 18%. Una particularidad de los carbohidratos presentes en estas semillas es que contienen un bajo contenido de almidón, solo un 0,42%, en comparación con las semillas de plantas monocotiledóneas. Se informó que los azúcares solubles en etanol eran del 4,4 al 6,3% del peso del grano en 10 variedades de girasol. El análisis de la composición de azúcar en los granos reveló que el girasol contiene altas cantidades de glucosa (46%), seguido de arabinosa (16%), ácidos urónicos (14%) y galactosa (11%) (González Pérez, 2015). Los cascotes consisten principalmente en lignina, pentosanos y material celulósico. El contenido proteico de las cáscaras es bajo, oscilando entre 36 y 61 g/kg de peso seco (Dilipkumar, 2021).

#### **2.2.2.5 BENEFICIOS DEL GIRASOL**

El girasol posee actividad antitumoral, antiinflamatoria, antioxidante, protectora de la piel, anticancerígena, antipalúdica, hipocolesterolémica, antihipertensiva, analgésica y antimicrobiana y efectos silenciosos sobre los músculos, los nervios y los vasos sanguíneos. Con base en las propiedades farmacológicas de las semillas y el aceite de girasol, puede recomendarse como una posible dosis de tratamiento en la prevención de enfermedades que afectan a los humanos. Así, varias partes de los girasoles se han encontrado eficientes como terapia curativa en el tratamiento de la disentería, tos, erupciones en la piel, diarrea, llagas, la presión arterial, la diabetes, la reducción del colesterol y otras funciones. (Saanu & Oluranti, 2020).

Por otro lado, las proteínas de semillas oleaginosas y sus péptidos derivados también están asociados con muchos beneficios para la salud, incluida la pérdida de peso y la reducción de los riesgos de diabetes, hipertensión, síndrome metabólico y eventos cardiovasculares (Zhang, Wang, Cai, Zhao, & Zhao, 2023).

### **2.2.3 ACEITES VEGETALES**

Los aceites vegetales son un grupo de grasas derivadas de semillas oleaginosas, nueces, granos de cereales y frutas, estos tienen un enorme potencial para sustituir la demanda de fuentes no renovables de petróleo, de tal manera que representan un recurso renovable no contaminante que además proporciona una amplia diversidad en la composición de ácidos grasos (AG). Actualmente se utilizan como alternativa en una gran variedad de propósitos o aplicaciones industriales como la fabricación de polímeros, jabón, pinturas, lubricantes, biocombustibles (Kumar & Singh, 2021).

Los aceites vegetales se componen principalmente de triglicéridos y normalmente son líquidos a temperatura ambiente. Contienen una mayor variedad de ácidos grasos que las grasas animales, sin embargo, tienen diferencias importantes en cuanto a las composiciones de contenido no glicerídico, incluidos fenoles, esteroides, tocoferoles y escualeno, los cuales varían sustancialmente según las condiciones de procesamiento y almacenamiento (Colón, 2023).

Las semillas oleaginosas contienen entre un 10 y un 20 % en peso de proteínas y hasta un 50 % en peso de aceite, organizadas en gotas de aceite del tamaño de una micra, denominadas oleosomas. Durante la extracción del aceite, que tiene lugar mediante prensado mecánico o disolventes orgánicos o una combinación de ellos, se rompen los oleosomas y se obtiene el aceite (Yang et al; 2023).

### 2.2.3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS ACEITES VEGETALES

En base al estudio realizado por Evangelos (2019), las características físicas comunes de los aceites vegetales son:

- Los aceites vegetales a temperatura ambiente pueden ser considerados ácidos grasos líquidos.
- Presentan un grado de viscosidad alto, por lo que su fluidez va a depender de la temperatura; es decir que estos aceites en temperaturas elevadas son más fluidos, mientras que a temperaturas bajas tienden a ser viscosos.
- La coloración de los aceites vegetales depende del tipo de semilla o planta de la cual se extrae, en muchos casos suelen presentar variaciones de colores que van desde tonos incoloros hasta amarillos.
- El olor y sabor depende directamente de la fuente o materia prima de la cual fue extraído el aceite vegetal.
- El punto de fusión en los aceites vegetales es bajo, de tal manera que a temperaturas bajas llegan a solidificarse mientras que a temperaturas altas tienden a mantenerse en forma líquida.
- La densidad de los aceites vegetales es menor a la que presenta el agua, sin embargo, varía según el tipo.
- El índice de refracción nos permite diferenciar e identificar aceites. En aceites vegetales se presenta un índice de refracción característico lo que indica que la velocidad de la luz es variable al atravesar el aceite.
- Los aceites vegetales son solubles en compuestos orgánicos como el etanol y éter, sin embargo, son poco solubles en agua.

### **2.2.3.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS ACEITES VEGETALES**

Los aceites vegetales mayoritariamente consisten en triacilglicerolos, con una mínima cantidad de diacilglicerolos y monoacilglicerolos (Toscano, 2020). Además, contienen fosfolípidos, esterolos libres, tocoferolos, tocotrienoles, alcoholes triterpénicos, hidrocarburos y vitaminas liposolubles en cantidades reducidas (Zahia et al., 2019).

La composición de ácidos grasos en los aceites vegetales se clasifica según la presencia o ausencia de dobles enlaces en ácidos grasos saturados (sin dobles enlaces), ácidos grasos monoinsaturados (con un doble enlace) y ácidos grasos poliinsaturados (con más de dos dobles enlaces) (Franzo, 2019).

### **2.2.4 ACEITE DE SOJA ( *Glycine max L.* )**

La soja es la fuente más dominante de granos productores de aceite producidos en el mundo (alrededor del 60 %) debido a las características económicas y la calidad del aceite favorecido por varias industrias (Weigal & Walko, 2020).

El aceite de soja generalmente se extrae mecánicamente o usando un solvente apolar como hexano. El aceite de soja contiene ácidos grasos insaturados en torno al 85%, donde los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), especialmente los ácidos linolénico y linoleico, son muy adecuados para cubrir las necesidades nutricionales de ácidos grasos esenciales. Sin embargo, el aceite de soja es relativamente fácil de sufrir reacciones de oxidación. Por lo tanto, las impurezas presentes en el aceite de soja deben eliminarse a través del proceso de purificación (Sun et al; 2020).

El aceite de soja se utiliza a menudo como aceite comestible. Sin embargo, el aceite de soja ahora se ha utilizado para una variedad de productos de grasa/aceite procesados, incluida la elaboración de una mezcla de margarina, mantequilla recombinada, oleogel, productos

libres de trans, y se puede modificar en mono y diacilglicerol u otros lípidos estructurados (Muhammad et al; 2021).

#### **2.2.4.1 COMPOSICIÓN FÍSICA DEL ACEITE DE SOJA**

En base al análisis realizado por Subroto (2020), el aceite de soja muestra las siguientes características físicas:

- El aceite de soja tiene una densidad/masa que varía según la temperatura; es decir que la densidad va a ser menor cuanto mayor sea su temperatura. El aceite de soja tiene una densidad de  $915,7 \pm 0,7 \text{ kg/m}^3$  a temperatura ambiente.
- La viscosidad del aceite de soja también depende de la temperatura; siendo más baja a temperaturas elevadas. A temperatura ambiente, la viscosidad del aceite de soja es de  $57,1 \text{ mPa.s}$ , lo que lo convierte en un líquido.
- El punto de fusión de la semilla de soja es relativamente bajo, alrededor de  $0,6 \text{ }^\circ\text{C}$ . No obstante, el punto de fusión es aún menor si se habla del aceite de soja desodorizado que se encuentra en  $-5,80 \text{ }^\circ\text{C}$ , mientras que el punto de fusión del aceite de soja hidrogenado es de  $36,8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### **2.2.4.2 COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS DEL ACEITE DE SOJA**

Las semillas de soja son una fuente popular de aceite comestible, que incluye ácidos grasos insaturados como el oleico (OL) y el linoleico (LA). Los ácidos grasos (AG) contenidos en el aceite de soja ofrecen una variedad de usos. La industria alimentaria y la industria del petróleo y biodiesel utilizan el aceite con baja capacidad de oxidación, estabilidad de temperatura y larga vida útil. Considerando que el aceite para consumo directo debe presentar un mayor valor nutracéutico con una alta tasa de ácidos grasos poliinsaturados esenciales (ácido linoleico (LA) y ácido linolénico (ALA) (Szpunar & Wondolowska, 2022).

**Tabla 3**

Composición de ácidos grasos [AGs] de aceite de soja (*Glycine Max L.*)

| <b>Ácidos Grasos (AG)</b> | <b>Fórmula (Cn:a)</b> | <b>Cantidad (%)</b> |
|---------------------------|-----------------------|---------------------|
| <b>AGs Saturados</b>      |                       |                     |
| Palmítico                 | C16:0                 | <b>11 %</b>         |
| Esteárico                 | C18:0                 | <b>4%</b>           |
| <b>AGs Insaturados</b>    |                       |                     |
| Oleico                    | C18:1                 | <b>23%</b>          |
| Linoleico                 | C18:2                 | <b>54%</b>          |
| Linolénico                | C18:3                 | <b>8%</b>           |

*Nota.* En la siguiente tabla se muestra la composición de ácidos grasos que se encuentran en el aceite de soja. En ella, “Cn” hace referencia al número de átomos de carbono en la molécula del ácido graso, mientras que “a” representa el número de insaturaciones presentes. Fuente: Elaboración propia a partir de (Walsh, 2019).

### **2.2.5 ACEITE DE GIRASOL ( *Helianthus annuus L.* )**

El aceite de semilla de girasol es altamente valorado a nivel global como uno de los aceites vegetales más apreciados. Por capacidad de producción mundial, se ubica como el cuarto aceite vegetal después de los aceites de palma, soja y colza. Las semillas de girasol tradicionales producen entre un 40 % y un 50 % de aceite mediante extracción convencional con disolventes de hexano (Turgut, Martínez, & Salas, 2021).

Los aceites vegetales convencionales, como el aceite de girasol, son la principal materia prima utilizada para la producción de biodiesel. El aceite de girasol, extraído de semillas de girasol saludables, se clasifica como un aceite no volátil. Además de su amplio uso como aceite de cocina debido a sus propiedades físicas y químicas únicas, también encuentra aplicaciones en la formulación de cosméticos. Este aceite permanece en estado líquido a temperatura ambiente y puede mantenerse en buen estado durante largos períodos, incluso más de un año. El aceite de girasol tiene potenciales aplicaciones en la industria cosmética debido a su capacidad para retener agua y su naturaleza no inflamable. Su composición incluye carotenoides, tocoferoles, tocotrienoles y esteroides, lo que le confiere un color amarillento claro. Además, se destaca por su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, como el ácido linoleico y el ácido oleico monoinsaturado (Petraru, Ursachi, & Amariei, 2021)

#### **2.2.5.1 COMPOSICIÓN FÍSICA DEL ACEITE DE GIRASOL**

En base al análisis realizado por Sánchez, Bastida, & Benedí, en 2021, el aceite de soja presenta la siguiente composición física:

- El aceite de girasol tiene una densidad de 918.8 kg/m<sup>3</sup> a temperatura ambiente.
- La viscosidad del aceite girasol es de 0.085 Pa.s., lo que representa un valor bajo en comparación a otros aceites.
- El aceite de girasol tiene un punto de fusión bajo, entre -16 y -18°C.

#### **2.2.5.2 COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS DEL ACEITE DE GIRASOL**

El aceite de girasol contiene un 5 % de ácido palmítico, un 6 % de ácido esteárico, un 30 % de ácido oleico (omega-9 monoinsaturado) y ácido linoleico (omega-6 poliinsaturado) con un 59 %. Además, otros aceites de girasol producidos mediante fitomejoramiento y procesamiento industrial incluyen alto linoleico con 69 % de ácido linoleico, alto oleico con

82 % de ácido oleico, medio oleico con 65 % de ácido oleico y alto esteárico con alto oleico que contiene 18 % de ácido esteárico y 72 % de ácido oleico, respectivamente (Saanu & Oluranti, 2020).

**Tabla 4**

Composición de ácidos grasos [AGs] de aceite de girasol (*Helianthus annuus* L.)

| Ácidos Grasos (AG)     | Fórmula (Cn:a) | Cantidad (%) |
|------------------------|----------------|--------------|
| <b>AGs Saturados</b>   |                |              |
| Palmítico              | C16:0          | 5 %          |
| Esteárico              | C18:0          | 6%           |
| <b>AGs Insaturados</b> |                |              |
| Oleico                 | C18:1          | 30%          |
| Linoleico              | C18:2          | 59%          |

*Nota.* En la siguiente tabla se muestra la composición de ácidos grasos que se encuentran en el aceite de girasol. En ella, “Cn” hace referencia a la cantidad de átomos de carbono en la molécula del ácido graso, mientras que “a” representa el número de insaturaciones presentes.

Fuente: Elaboración propia a partir de Saanu & Oluranti, 2020.

**2.2.6 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE VEGETAL**

Los aceites vegetales se obtienen mediante la extracción de aceites de materiales de origen vegetal. Este procedimiento implica la trituración y eliminación de los componentes no deseados, usualmente mediante prensado mecánico (Leonard, 2023).

Por otro lado, la extracción también se puede completar mediante extracción química usando un solvente. La extracción con solventes se utiliza para eliminar el contenido de aceite restante en el material vegetal comprimido. Durante este paso, los materiales vegetales triturados se calientan y se mezclan con hexano; un químico que extrae el aceite residual dentro de los productos triturados (Fielder, 2020).

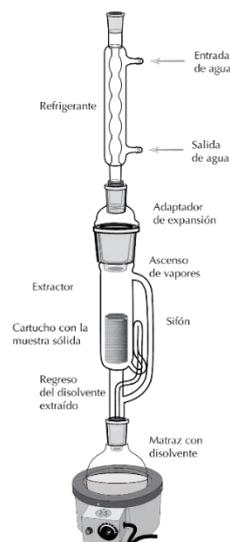
Una vez extraído el aceite, se lleva a cabo un proceso de depuración para eliminar las impurezas que puedan quedar tras el proceso de extracción. Este es un paso importante ya que estas impurezas pueden afectar el sabor, la calidad y la claridad del producto de aceite final (Anderson, 2021).

### 2.2.6.1 EXTRACCIÓN POR SOXHLET

La extracción Soxhlet es un método común para la extracción de sólidos y líquidos. Se aplica para la extracción y separación de muestras sólidas, principalmente cuando el compuesto a extraer tiene una solubilidad limitada en el disolvente elegido y las impurezas son insolubles.

#### **Figura 1**

*Equipo de extracción Soxhlet*



*Nota.* Fuente: (Viresa, 2021)

Este tipo de extracción se maneja con el principio de reflujo y sifón del solvente ya que realiza una extracción continua de los componentes necesarios en la mezcla sólida y líquida. Cuando el nivel líquido de solvente que retrofluye en la carcasa de extracción supera el sifón del extractor Soxhlet, el solvente fluirá de regreso al matraz de fondo redondo y luego sucederá el sifón (Road, 2019).

A medida que sube la temperatura, el reflujo comienza de nuevo. Antes de cada tiempo del sifón, la materia sólida puede ser extraída por el solvente caliente puro, mientras que el solvente puede ser reciclado. Reduce el tiempo de extracción y mejora en gran medida la eficiencia de extracción (Aryal, 2022). En comparación con otros métodos comunes de extracción por solventes, la extracción Soxhlet minimiza el tiempo de separación y los solventes necesarios, y también mejora la eficiencia de extracción (Josey, 2020).

#### **2.2.6.1.1 ASPECTOS QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE VEGETALES**

La extracción de aceite de semillas oleaginosas se ha realizado mediante prensado hidráulico, prensado por expulsor y extracción por solventes. Entre estos métodos, la extracción por solvente se ha adaptado ampliamente por motivos económicos y prácticos. Sin embargo, según el estudio realizado por Buchi (2022), nos indica que el proceso de extracción puede verse afectado por una serie de factores que se enlistan a continuación:

- **Contenido de agua de la semilla:** Debido a que el agua es una sustancia polar, puede afectar la humectación de la superficie de la semilla y dificultar la penetración del solvente en su interior. No obstante, es necesario que haya cierto grado de humedad residual para mantener la elasticidad de las escamas de las semillas y evitar que se desmoronen, lo que dificultaría la penetración del solvente.

- **Tamaño y forma de las partículas:** Es importante que la forma de las partículas en el material de extracción facilite el flujo libre del disolvente, sin encontrar una gran resistencia. Además, el tamaño de las partículas debe ser óptimo para lograr la mejor extracción posible de cada partícula individual, minimizando las vías de difusión. Es esencial que las semillas no se presenten en forma de harina, ya que esto impediría la percolación adecuada del solvente

- **Cantidad de solvente:** La proporción cuantitativa de solvente a material de extracción dependerá de la composición de la semilla. Generalmente, la cantidad de solvente de extracción aumenta en proporción al contenido de fibra cruda en la semilla. La concentración de miscela también juega un papel adicional. Como regla general, cuanto mayor sea este último, menos energía se necesita para eliminar el solvente al final del proceso.

- **Temperatura de extracción:** Las altas temperaturas disminuyen la viscosidad del solvente y aumentan la solubilidad del extracto en el solvente, lo que mejora la extracción. Aunque las diferencias pueden no ser significativas, usar agentes de extracción calentados puede ser beneficioso, ya que el aumento en la producción de aceite compensa el costo del calentamiento del solvente.

- **Tiempo de extracción:** El tiempo de extracción está relacionado con el grado de extracción y dependerá de la naturaleza y estructura del material de extracción.

#### **2.2.6.1.2 PRUEBAS FISICOQUÍMICAS DE LOS ACEITES VEGETALES (SOJA Y GIRASOL)**

Comúnmente, posterior a la extracción de aceites vegetales, los mismos deben someterse a pruebas físicas y químicas para determinar su calidad y características. Estas pruebas incluyen el índice de acidez, yodo, peróxidos, refracción y saponificación (Saritama y

Siguencia, 2022). Estas evaluaciones permiten establecer la calidad del aceite y conocer sus propiedades para evaluar si son seguros y aplicables a las diferentes industrias.

### **2.2.7 PRETRATAMIENTO DE EXPLOSIÓN POR VAPOR (STEAM EXPLOSION)**

La explosión por vapor es una técnica de pretratamiento que se ha utilizado en varias industrias, incluida la extracción de aceite de semillas. El principio del tratamiento es el uso de hidrólisis con vapor a alta temperatura y presión, seguida de una descomposición repentina de la biomasa de materiales con sustancia de bajo peso molecular producida. Este proceso puede mejorar potencialmente la eficiencia de la extracción de aceite al mejorar la accesibilidad del aceite dentro de las semillas (Zhang et al; 2019).

El vapor a alta presión rompe las paredes celulares de la semilla, lo que facilita la liberación de aceite durante los procesos de extracción posteriores. La liberación repentina de presión también crea una interrupción dentro de las semillas, lo que ayuda en la extracción de aceite (Sholahuddin et al; 2022).

Los estudios de investigación han demostrado que la explosión de vapor puede mejorar de manera efectiva la extracción de aceite tanto en la soja como en las semillas de girasol. La mayor recuperación de aceite se atribuye a la mejor accesibilidad del aceite debido a la ruptura de las paredes celulares y al aumento de la porosidad dentro de las semillas (Golmohammadi et al; 2018).

Sin embargo, el uso de explosión de vapor en semillas oleaginosas para mejorar el rendimiento de aceite libre es extremadamente limitado, la aplicación de pretratamiento de explosión de vapor para semillas, hasta donde sabemos, aún no se ha informado. Por lo tanto, las composiciones de ácidos grasos, las propiedades fisicoquímicas, los contenidos de fenólicos totales, tocoferoles totales, escualeno y esteroides se evalúan y determinan utilizando FTIR.

Además, se observan las estructuras microscópicas del material antes y después de la explosión de vapor para aclarar los mecanismos de extracción (Junpeng et al; 2019).

Es importante tener en cuenta que los efectos específicos de la explosión de vapor en la extracción de aceite pueden variar según diversos factores, como la variedad de semillas, el contenido de humedad, la presión del vapor y la duración del tratamiento. Por lo tanto, es esencial realizar más investigaciones y estudios de optimización para determinar las condiciones óptimas para el pretratamiento por explosión de vapor para cada tipo de semilla específico (Feng et al; 2022).

### **2.2.8 ESPECTROSCOPIA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER - FTIR**

La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier, también conocida como espectroscopia FTIR, es una técnica analítica utilizada para identificar compuestos orgánicos, poliméricos e inorgánicos. Esta metodología utiliza luz infrarroja para escanear muestras y determinar los grupos funcionales presentes (Singh, 2018).

En el caso del análisis cuantitativo de aceites vegetales la espectroscopia infrarroja (FTIR) es una técnica ideal ya que permite la evaluación de cada uno de sus parámetros, con lo cual se puede determinar que los cambios en los espectros infrarrojos se pueden asociar con los cambios en los parámetros de los aceites (Reixach et al; 2020).

La espectroscopia infrarroja es una técnica rápida, fácil y no invasiva en la presentación de muestras, lo que significa que las muestras analizadas con espectroscopia IR pueden analizarse utilizando diferentes instrumentos. Para una muestra determinada, la espectroscopia IR genera una "huella digital química" que se puede utilizar para la identificación, caracterización, análisis cualitativo y cuantitativo y seguimiento de los parámetros de los aceites vegetales (Rohman, 2019).

Por otro lado, es conocida como una de las espectroscopias vibratorias que se utilizan intensamente para la caracterización de todos los aspectos de los aceites vegetales, ya que permite definir la interacción entre la radiación electromagnética en la región IR en forma de dispersión, reflexión, absorción o transmisión con sustancias analizadas (por ejemplo, aceites comestibles) en función de los números de onda. Las frecuencias o longitudes de onda a las que las muestras absorben la radiación IR y sus intensidades correspondientes se registran en un espectro IR (Nadan & Glavac, 2022).

## **CAPÍTULO 3**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

El desarrollo de este trabajo de titulación constituye un tipo de investigación descriptiva correlacional y explicativa, ya que permite determinar el nivel de relación entre la presencia del pretratamiento y el rendimiento obtenido como consecuencia de su aplicación.

#### **3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

En este estudio se llevará a cabo una investigación de carácter experimental con el propósito de establecer una relación causa y efecto entre la variable independiente, que es el pretratamiento, y la dependiente, que es el rendimiento por obtener.

#### **3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA**

##### **3.3.1 POBLACIÓN**

Las semillas de soja (*Glycine max* L.) y girasol (*Helianthus annuus* L.) se obtuvieron en el Mercado 10 de agosto. El total adquirido fue de 3 libras de cada una, es decir 6 libras en total.

##### **3.3.2 MUESTRA**

Se sometieron al pretratamiento 300 g de soja (*Glycine max* L.) y girasol (*Helianthus annuus* L.), posteriormente se utilizaron 50 g de las semillas pretratadas por cada extracción con el método Soxhlet.

#### **3.4 VARIABLES**

### **3.4.1 VARIABLE INDEPENDIENTE**

Pretratamientos térmicos aplicados a la semilla.

### **3.4.2 VARIABLE DEPENDIENTE**

Rendimiento del proceso de extracción.

## **3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA RECOLECCIÓN DE DATOS**

En esta investigación, se utilizaron técnicas e instrumentos respaldados por bases de datos, artículos científicos, libros y tesis anteriores para la recopilación de datos. Además, se utilizó el programa Microsoft Excel como instrumento para el levantamiento de datos obtenidos en equipos de instrumentación, balanza, refractómetro y software estadísticos.

## **3.6 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS**

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos se empleó el software de programación R ya que nos permite generar gráficas estadísticas de utilidad para este estudio. Además, se iniciará el análisis con una prueba Shapiro Wilks, la cual permite determinar si los datos siguen una distribución normal o no. Posteriormente, se usará una prueba Anova para determinar diferencias significativas entre las medias de los datos. Finalmente, la prueba de Tukey que sirve para verificar si el pretratamiento fue eficiente. Adicionalmente, se obtendrán diagramas de cajas por boxplot.

## **3.7 PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES**

En este punto se especificará los métodos empleados en esta investigación que tiene como finalidad determinar la eficacia de la aplicación del pretratamiento en cada una de las semillas para la obtención de aceites, para lo cual es necesario llevar a cabo técnicas tanto cualitativas como cuantitativas como las que se mencionan a continuación.

### 3.7.1 OBTENCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Para la ejecución de este trabajo de investigación se utiliza como materia prima las semillas de soja (*Glycine max L.*) y girasol (*Helianthus annuus L.*), las mismas que fueron obtenidas del Mercado 10 de agosto en la ciudad de Cuenca.

#### **Figura 2**

*Muestras de semillas de soja (Glycine max L.) y girasol (Helianthus annuus L.).*



Fuente: Autoras

### 3.7.2 EXPLOSIÓN POR VAPOR (STEAM EXPLOSION)

Para llevar a cabo el pretratamiento de las semillas de soja (*Glycine max L.*) y girasol (*Helianthus annuus L.*) se utiliza como base la metodología empleada en las investigaciones de Maxi (2019) y Yu (2020).

#### **PROCEDIMIENTO**

Para realizar el pretratamiento de las semillas de soja y girasol, se someten 100 g de cada una de ellas con 1 L de agua en el equipo de explosión por vapor a 1,2 Mpa. Luego, se procede a separar la parte sólida de la parte líquida que resulta del proceso de explosión por vapor

Para realizar el pretratamiento de las semillas de soja y girasol, se someten 100 g de cada una de ellas con 1 L de agua en el equipo de explosión por vapor. Luego, se procede a separar la parte sólida de la parte líquida que resulta del proceso de explosión por vapor.

**Figura 3**

*Equipo de explosión por vapor (Steam Explosión)*



Fuente: Autoras

**3.7.2.1 DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL PRETRATAMIENTO CON EXPLOSIÓN POR VAPOR**

Para determinar las mejores condiciones en el pretratamiento de explosión por vapor se realizaron tres pruebas para cada semilla como indica la tabla 5. Posteriormente se analizaron las masas recuperadas en cada prueba y se compararon.

**Tabla 5**

*Condiciones iniciales del diseño experimental para el pretratamiento de explosión por vapor.*

| <b>Semilla</b> | <b>Cantidad inicial (g)</b> | <b>Presión (Mpa)</b> | <b>Temperatura (°C)</b> | <b>Tiempo (s)</b> |
|----------------|-----------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------|
| Girasol        | 100                         | 1,2                  | 140                     | 30                |
| Girasol        | 100                         | 1,2                  | 140                     | 60                |
| Girasol        | 100                         | 1,2                  | 140                     | 90                |
| Soja           | 100                         | 1,2                  | 140                     | 120               |
| Soja           | 100                         | 1,2                  | 140                     | 240               |
| Soja           | 100                         | 1,2                  | 140                     | 360               |

*Nota.* Planificación para la ejecución del componente experimental del pretratamiento de las semillas. Fuente: Autoras

**Figura 4**

*Muestras de semillas de soja (Glycine max L.) y girasol (Helianthus annus L.) pretratadas.*



Fuente: Autoras

### 3.7.4 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

El proceso de determinación de humedad se realiza en un equipo analizador de humedad marca Mettler Toledo, modelo HB43-S halogen. Inicialmente se pesa la cantidad de semillas molidas que van a ingresar al equipo con la finalidad de que luego de ejecutado el proceso se pueda determinar la cantidad de humedad presente en la muestra y así verificar el peso seco real con el que vamos a realizar los procesos de extracción.

#### *Figura 5*

*Equipo Analizador de Humedad Halógeno (HB43-S)*



Fuente: Autoras

### 3.7.5 EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE LAS SEMILLAS DE SOJA (*Glycine max L.*) y GIRASOL (*Helianthus annuus L.*)

El proceso de extracción de las semillas de girasol y soja se desarrolla mediante extracción por solventes dentro del equipo Soxhlet, basado en la siguiente metodología:

### 3.7.5.1 EXTRACCIÓN CON SOLVENTE (SOXHLETH)

**Figura 6**

*Equipo de extracción con solvente (Soxhlet)*



Fuente: Autoras

#### **PROCEDIMIENTO**

Para realizar la extracción en Soxhlet, inicialmente se registra la masa inicial ( $M_i$ ) de un balón esmerilado, y se pesan 50 g de la materia prima ( $M_m$ ), la cual se coloca en un cartucho de papel filtro. Posteriormente, se coloca el cartucho en el cuerpo del Soxhlet y se agrega 150 mL de hexano en el balón esmerilado. Se somete a una temperatura de 69 °C hasta obtener cinco sifonadas para cada extracción. Finalmente, luego de la extracción, se enfría el producto por 10 minutos y se recupera el solvente, registrando la masa final ( $M_f$ ).

*Ecuación 1 Porcentaje % de rendimiento*

$$\% \text{ Aceite} = \frac{\text{Masa del aceite}}{\text{Masa de la semilla}} \times 100$$

### 3.7.5.2 DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES POR SOXHLET.

Para realizar la extracción de los aceites se consideraron las muestras y valores correspondientes a la tabla 6.

**Tabla 6**

*Condiciones iniciales del diseño experimental para la extracción de aceites vegetales de soja y girasol.*

| <b>Pretratamiento</b> | <b>Semilla</b> | <b>Cantidad inicial (g)</b> | <b>Cantidad seca con humedad (g)</b> | <b>Humedad (%)</b> | <b>Peso seco (g)</b> |
|-----------------------|----------------|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------|----------------------|
| <b>Sí</b>             | Soja           | 100,00                      | 37,62                                | 0,50               | 37,43                |
| <b>Sí</b>             | Soja           | 100,00                      | 44,92                                | 5,46               | 42,47                |
| <b>Sí</b>             | Soja           | 100,00                      | 42,47                                | 3,45               | 41,00                |
| <b>No</b>             | Soja           | 49,80                       | 49,80                                | 8,68               | 45,48                |
| <b>No</b>             | Soja           | 57,84                       | 57,84                                | 9,24               | 52,49                |
| <b>No</b>             | Soja           | 40,10                       | 40,10                                | 9,04               | 36,47                |
| <b>Sí</b>             | Girasol        | 100,00                      | 42,75                                | 0,03               | 41,48                |
| <b>Sí</b>             | Girasol        | 100,00                      | 41,81                                | 0,04               | 40,32                |
| <b>Sí</b>             | Girasol        | 100,00                      | 38,01                                | 0,02               | 37,21                |
| <b>No</b>             | Girasol        | 45,78                       | 45,78                                | 0,04               | 43,88 g              |
| <b>No</b>             | Girasol        | 36,35                       | 36,35                                | 0,04               | 34,83                |
| <b>No</b>             | Girasol        | 46,34                       | 46,34                                | 0,04               | 44,43                |

*Nota.* Datos correspondientes a la planificación para la ejecución del componente experimental de la extracción de aceites por Soxhlet. Aquellos valores con cantidad inicial de 100 g, son aquellos cuyas semillas fueron sometidas al pretratamiento; sin embargo, solo se recuperó el valor en indicado en cantidad seca con humedad. Fuente: Autoras.

## **Figura 7**

*Aceite obtenido de soja (Glycine max L.) y girasol (Helianthus annuus L.)*



Fuente: Autoras

### **3.7.5 CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE SOJA (*Glycine max L.*) Y GIRASOL (*Helianthus annuus L.*)**

Para identificar las características del aceite de soja y girasol se llevan a cabo las diferentes pruebas.

#### **3.7.5.1 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN**

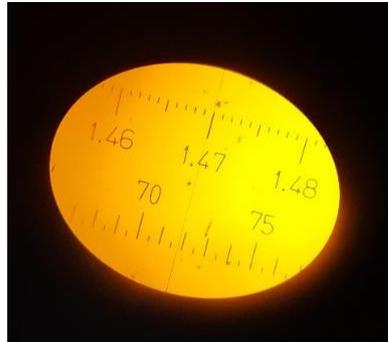
Para medir este parámetro se utiliza la Normativa INEN para Grasas y Aceites Comestibles No. 42.

#### **PROCEDIMIENTO**

Se inicia calibrando el Refractómetro utilizando agua destilada a una temperatura de 20°C. Luego, se coloca una gota del aceite de las semillas en el centro del prisma y se ajusta la lámpara para iluminar el prisma. Una vez que se ha realizado la calibración y el ajuste adecuados, se procede a observar y leer el índice de refracción, tomando nota de la temperatura registrada en el termómetro. Por último, es importante limpiar el prisma para asegurar mediciones precisas en futuras pruebas.

**Figura 8**

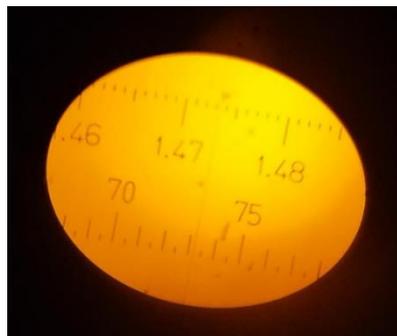
*Índice de refracción del aceite de soja (Glycine max L.).*



Fuente: Autoras

**Figura 9**

*Índice de refracción del aceite de girasol (Helianthus Annus L.).*



Fuente: Autoras

**3.7.5.2 DETERMINACIÓN DE LA ACIDEZ DEL ACEITE**

Para este proceso se utiliza la Normativa INEN para Grasas y Aceites Comestibles No. 38.

**PROCEDIMIENTO**

Se toman 2 gramos de aceite de cada tipo de semilla y se colocan en un matraz Erlenmeyer. Luego, se añaden 10 mL de alcohol etílico al 95% y se agita vigorosamente para

asegurar una mezcla homogénea. A continuación, se incorporan 5 gotas de fenolftaleína como indicador. La muestra se titula con una solución de hidróxido de potasio de concentración 0,1 N hasta que se obtenga una coloración rosada. En ese momento, se registra el volumen de hidróxido de potasio utilizado para la titulación. Con esta información, se procede a calcular el índice de acidez del aceite de las semillas.

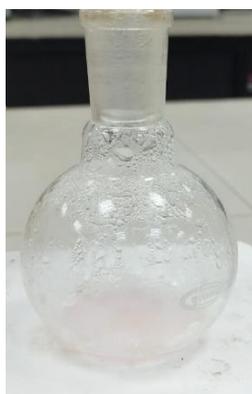
Para calcular el índice de acidez, se deben pesar 2 g de aceite de cada una de las semillas en un matraz Erlenmeyer y agregar 10 mL de alcohol etílico al 95%. Luego, se agita hasta homogeneizar y se agregan 5 gotas de fenolftaleína. A continuación, se titula la muestra con hidróxido de potasio 0,1 N hasta obtener una coloración rosada. Finalmente, se calcula el índice de acidez.

***Ecuación 2 Índice de acidez***

$$\text{Índice de Acidez} = \frac{5.61 * V}{M}$$

***Figura 10***

*Índice de acidez determinado*



Fuente: Autoras

### 3.7.5.3 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN

Para analizar este índice se utiliza la Normativa INEN para Grasas y Aceites Comestibles No. 33 y 26.

#### PROCEDIMIENTO

Se toma un gramo de los aceites de las semillas y se agrega 12.5 mL de hidróxido de potasio 0.5 N. Luego, se coloca el matraz con la mezcla en un condensador para reflujo y se hierve durante 30 minutos. Posteriormente, se deja enfriar la muestra. Después de enfriar, se añaden 0.5 mL de fenolftaleína como indicador y se titula la muestra con ácido clorhídrico 0.5 N hasta obtener un cambio de coloración. Finalmente, utilizando los datos obtenidos en la titulación, se procede a calcular el índice de saponificación de los aceites de cada una de las semillas.

#### *Ecuación 3 Índice de saponificación*

$$\text{Índice de saponificación} = \frac{(56.1)(V_B - V_m)(N)}{P}$$

#### Siendo:

- **Índice de saponificación:** Unidad de medida que indica los miligramos (mg) de hidróxido de potasio (KOH) requeridos para saponificar un gramo (g) de aceite.
- **VB:** Volumen de ácido clorhídrico (HCl) utilizado en la titulación del blanco, es decir, en la determinación del volumen de KOH presente en la muestra.
- **Vm:** Volumen de ácido clorhídrico (HCl) utilizado para determinar la cantidad de KOH presente en el blanco.
- **N:** Es la concentración normal del ácido clorhídrico, es decir, su concentración estándar.

- **P:** Masa de la muestra en gramos (g).
- **56.1:** Es el valor del peso molecular del KOH

### **Figura 11**

*Determinación de índice de saponificación*



Fuente: Autoras

#### **3.7.5.4 DETERMINACIÓN DEL INDICE DE YODO**

Se tomará como base la Normativa INEN para Grasas y Aceites Comestibles No. 37.

##### **PROCEDIMIENTO**

Se toma una muestra de 0.30 gramos de los aceites y se coloca en un matraz al que se le agregan 10 mL de cloroformo y 25 mL de reactivo de Hanus. Luego, se deja reposar la mezcla en la oscuridad durante un lapso de 30 minutos. Después de ese tiempo, se incorporan 5 mL de yoduro de potasio (KI) al 15% y se mezcla todo de manera homogénea. A continuación, se agrega 100 mL de agua destilada y se procede a titular la muestra con tiosulfato de sodio de concentración 0.1 M hasta que desaparezca por completo la coloración amarilla de la mezcla.

## **Figura 12**

### *Determinación de índice de yodo*



Fuente: Autoras

Incorporar 1 mL de indicador de almidón al 1% y proceder a titular la muestra hasta que la coloración azul desaparezca por completo. Agitar el matraz Erlenmeyer para que el yodo restante en la capa de cloroformo se mezcle con la capa de yoduro de potasio. A continuación, calcular el índice de yodo.

#### **Ecuación 4.** Índice de yodo

#### *Ecuación 4 Índice de yodo*

$$\text{Índice de yodo} = \frac{126.9(V - V_m)N}{m}$$

**Siendo:**

- **Índice de yodo:** Es la medida expresada en (gramos de yodo) / (gramos de aceite) que indica la cantidad de yodo absorbido por el aceite.
- **V:** Es el promedio de los volúmenes de solución de tiosulfato de sodio utilizado en la titulación de las muestras, aumentado en mililitros (mL).

- **V<sub>m</sub>**: Representa el volumen de tiosulfato de sodio utilizado para llevar a cabo la titulación de la muestra, aumentada en mililitros (mL).
- **N**: Es la concentración normal del tiosulfato de sodio, es decir, su concentración estándar.
- **126.9**: Es el peso molecular del yodo.

### 3.7.5.5 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE PERÓXIDOS

Se toma como base la Normativa INEN para Grasas y Aceites No. 277.

#### PROCEDIMIENTO

Colocar 1.25 g del aceite en un matraz Erlenmeyer de 250 mL y agregar 2.5 mL de cloroformo. Luego, incorporar 3.75 mL de ácido acético glacial y 25 mL de una disolución saturada de yoduro de potasio. Cerrar el matraz con su tapa y agitar vigorosamente durante 1 minuto, para después dejarlo reposar en la oscuridad por cinco minutos. Posteriormente, añadir 18.75 mL de agua desmineralizada y 0.125 mL de almidón al 1%. Se procede a evaluar el yodo liberado en la muestra y en el blanco. Con los datos obtenidos, se calcula el índice de peróxido.

#### *Ecuación 5 Índice de peróxidos*

$$\text{Índice de peróxidos} = \frac{(V_B - V_m)(N)(1000)}{P}$$

**Siendo:**

- **Índice de peróxidos**: Es la medida expresada en (equivalentes de O<sub>2</sub>) / (kilogramo de aceite) que indica la concentración de peróxidos presentes en el aceite.

- **VB:** Volumen de la solución de tiosulfato de sodio utilizado para titular la muestra sin peróxidos (blanco).
- **Vm:** Corresponde al volumen de una solución de tiosulfato de sodio empleado para llevar a cabo la titulación de la muestra con peróxidos.
- **N:** Es la concentración normal del tiosulfato de sodio, es decir, su concentración estándar.
- **P:** Es la masa de la muestra medida en gramos

### 3.7.5.6 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA

Para determinar la densidad relativa de los aceites se toma como base la Normativa INEN para Grasas y Aceites Comestibles No. 35.

#### PROCEDIMIENTO

Calibrar el picnómetro, lo cual se logra mediante un proceso de lavado con una mezcla sulfocrómica, agua destilada y etanol al 96%. A continuación, se procede a llenar el picnómetro con agua destilada y se registra la masa (M1) correspondiente. Después, se vacía el picnómetro y se registra su masa nuevamente en presencia de corriente de aire. Luego, se llena el picnómetro con la muestra en cuestión y se enrasa el capilar, registrando la masa (M2) correspondiente. Cuando se trabajan con aceites a una temperatura de 20 °C, el índice de densidad relativa se obtiene a partir de una ecuación específica.

#### *Ecuación 6 Densidad relativa*

$$\rho = \frac{M2 - M}{M1 - M}$$

**Siendo:**

- **M2:** Peso de la muestra dentro del picnómetro (g).

- **M1:** Peso del picnómetro con agua destilada (g).
- **M:** Peso del picnómetro vacío (g).

**Figura 13**

*Determinación de la densidad relativa de los aceites.*



Fuente: Autoras

### **3.7.6 ESPECTROS INFRARROJOS POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)**

El equipo en el cual se realizó el respectivo proceso es un espectrofotómetro infrarrojo (FTIR) marca Thermo Scientific, modelo Nicolet iS10, con accesorio ATR (smartiTX con diamante).

Para la preparación de las muestras se realizaron diluciones de 1:10, 2:10, 3:10, 4:10 y 5:10 correspondientes a la mezcla realizada en tubos Eppendorf de aceite y el solvente dimetilsulfóxido (DMSO), posteriormente se realiza la preparación del equipo en el que debemos asegurar que el espectrofotómetro esté correctamente calibrado. Seguidamente se continúa con la obtención de espectros para lo cual se coloca una pequeña cantidad de cada muestra sobre el diamante y se ejecuta el proceso. Finalmente, se procede a interpretar y

analizar los resultados haciendo uso de herramientas como regresiones lineales para determinar las concentraciones de cada uno de los aceites obtenidos originalmente.

***Figura 14***

*Equipo de espectrofotometría infrarroja (FTIR)*



Fuente: Autoras

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 PRETRATAMIENTO DE EXPLOSIÓN POR VAPOR

Durante el pretratamiento de explosión por vapor se perdió una cantidad considerable de material vegetal debido a la alta presión y temperatura a la que las semillas fueron sometidas. Todas las muestras fueron expuestas a 140 °C y 1.2 Mpa de presión. En el caso de las semillas de soja (*Glycine max* L.) que fueron expuestas al pretratamiento por 2 minutos, la envoltura de la semilla se mantenía en su posición por lo que las condiciones no eran óptimas. Posteriormente se realizó el pretratamiento por 6 minutos; sin embargo, solo se recuperó el 15% del material inicialmente ingresado; además, las semillas iniciaban un proceso de cocción lo que altera sus propiedades. Finalmente, se buscó un punto medio entre los resultados anteriormente mencionados por lo que se sometieron las semillas al pretratamiento por cuatro minutos y se estableció que este fue el tiempo más adecuado.

Para las semillas de girasol (*Helianthus annuus* L.), el primer tiempo que se probó fue de 30 segundos; sin embargo, al igual que con la soja, las semillas no sufrieron mayor cambio. El siguiente tiempo por probar fue de 90 segundos, pero el tratamiento era muy agresivo para las semillas. Al someter las semillas a 60 segundos de pretratamiento se obtuvo un producto más adecuado por lo que se optó por esta condición.

Un estudio realizado por Jeoh (2018), muestra que las condiciones a las que se somete la biomasa influyen directamente en la pérdida de esta, lo que puede disminuir el rendimiento del insumo que se busca recuperar.

#### 4.2 EXTRACCIÓN DE ACEITES DE SEMILLA DE SOJA (*Glycine max* L.) y GIRASOL (*Helianthus annuus* L.).

En la tabla 7 se encuentran especificados los rendimientos de obtención de aceite para ambas semillas. Inicialmente, para el caso de la soja pretratada, se ingresaron 100 g de semilla al equipo de steam explosion; sin embargo, se recuperó en promedio 40.30 g en peso seco de la semilla para la extracción perdiéndose en el proceso 59.70 g.

**Tabla 7**

*Rendimiento de la extracción de aceite de semilla de soja (Glycine max L.) con y sin pretratamiento.*

| <b>Pretratamiento</b> | <b>Cantidad inicial (g)</b> | <b>Peso seco (g)</b> | <b>Pérdida (g)</b> | <b>Rendimiento o aceite (relativo) (%)</b> | <b>Rendimiento 100 g (%)</b> |
|-----------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------|--|------------------------------|
| <b>Sí</b>             | 100,00                      | 37,43                | 62,57              | 13,08                                      | 4,90                         |
| <b>Sí</b>             | 100,00                      | 42,47                | 57,53              | 14,13                                      | 6,00                         |
| <b>Sí</b>             | 100,00                      | 41,00                | 59,00              | 14,224                                     | 5,83                         |
| <b>No</b>             | 49,80                       | 45,48                | 0,00               | 9,67                                       | -                            |
| <b>No</b>             | 57,84                       | 52,49                | 0,00               | 10,29                                      | -                            |
| <b>No</b>             | 40,10                       | 36,47                | 0,00               | 10,97                                      | -                            |

*Nota.* En base a los valores presentes la tabla, el promedio del rendimiento del aceite de soja pretratada considerando solamente la masa recuperada de la explosión por vapor es de 13,60%. No obstante, si se consideran los 100 g iniciales ingresados al pretratamiento, el promedio del rendimiento es de 5,58%. Finalmente, el rendimiento de las muestras no pretratadas se encuentra en 10,31 %. Fuente: Autoras.

Asimismo, en cuanto a las semillas de girasol pretratadas, se ingresaron 100 g de semilla al equipo de steam explosion; no obstante, se recuperó en promedio 39.67 g para la extracción de aceite por Soxhlet existiendo una pérdida de aproximadamente 60.33 g.

**Tabla 8**

*Rendimiento de la extracción de aceite de semilla de girasol (*Helianthus annuus* L.) con y sin pretratamiento.*

| <b>Pretratamiento</b> | <b>Cantidad inicial (g)</b> | <b>Peso seco (g)</b> | <b>Pérdida (g)</b> | <b>Rendimiento aceite (relativo) (%)</b> | <b>Rendimiento 100 g (%)</b> |
|-----------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------|--|------------------------------|
| <b>Sí</b>             | 100                         | 41,48                | 58,52              | 47,44                                    | 19,68                        |
| <b>Sí</b>             | 100                         | 40,32                | 59,68              | 48,43                                    | 19,53                        |
| <b>Sí</b>             | 100                         | 37,21                | 62,79              | 45,68                                    | 17                           |
| <b>No</b>             | 43,88                       | 43,88                | 0                  | 47,86                                    | -                            |
| <b>No</b>             | 34,83                       | 34,83                | 0                  | 47,37                                    | -                            |
| <b>No</b>             | 44,43                       | 44,43                | 0                  | 45,00                                    | -                            |

*Nota.* En base a los valores presentes en la tabla, el promedio del rendimiento del aceite de girasol pretratado considerando solamente la masa recuperada de la explosión por vapor es de 47.18%. No obstante, si se consideran los 100 g iniciales ingresados al pretratamiento el promedio del rendimiento baja a 18.74%. Finalmente, el rendimiento de las muestras no pretratadas se encuentra en 46,74 g. Fuente: Autoras.

Analizando los datos, es notorio que durante la explosión por vapor se pierde una cantidad considerable (aproximadamente el 60%) de la muestra inicial de 100 g; por lo tanto, los rendimientos disminuyen sustancialmente. En la tabla 9 se presentan los promedios de los rendimientos de aceite de las semillas para analizar la validez del pretratamiento.

**Tabla 9**

*Resumen de los rendimientos de extracción de semilla de soja (*Glycine max* L.) y girasol (*Helianthus annuus* L.).*

|   | <b>Soja</b> | <b>Girasol</b> |
|---|-------------|----------------|
| <b>Con pretratamiento</b>   | 13,60%      | 47,18%         |
| <b>(considerando solo lo ingresado al proceso de extracción).</b> |             |                |
| <b>Con pretratamiento</b>   | 5,58%       | 18,74%         |
| <b>(considerando los 100 g iniciales).</b>                        |             |                |
| <b>Sin pretratamiento</b>   | 10,31%      | 46,74%         |

*Nota.* Promedios de los rendimientos de extracción de semilla de soja (*Glycine max* L.) y girasol (*Helianthus annuus* L.) con y sin pretratamiento. Fuente: Autoras

#### **4.2 DETERMINACION DE NORMALIDAD Y DIFERENCIA SIGNIFICATIVA DE DATOS.**

Para el cálculo de la normalidad se realizó una prueba de Shapiro Wilks, la cual nos permite determinar si los datos de este análisis siguen una distribución normal ya sea en los rendimientos de aceite de soja y girasol que consideran la pérdida de masa al terminar el pretratamiento y los rendimientos obtenidos con 100 g iniciales de semillas.

**Tabla 10**

*Resultados de la prueba estadística de Shapiro Wilks para aceite de semilla de soja. (Glycine max L.).*

| <b>Prueba Shapiro Wilks (Distribución normal)</b> |                |
|---|----------------|
| <b>Comparación</b>                                | <b>p-value</b> |
| Aceite de soja con pretratamiento                 | 0.1514         |
| Aceite de soja sin pretratamiento                 | 0.7804         |

*Nota.* Para el desarrollo de esta prueba se tomó en cuenta los rendimientos que consideran la pérdida de masa inicial después del pretratamiento. De acuerdo con la prueba estadística los datos siguen una distribución normal. Fuente: Autoras.

En la tabla 10 se encuentran los valores obtenidos con la prueba de normalidad Shapiro Wilks, para los rendimientos de los aceites de semillas de soja con pérdida de masa, en el caso del grupo con semillas pretratadas de soja se consiguió un valor de  $p = 0.1514$  y para el grupo sin pretratar un  $p = 0.784$ . Por lo tanto, podemos evidenciar que los datos en ambos grupos no difieren de una distribución normal.

Para comparar las medias de los datos y determinar si existen diferencias significativas utilizamos ANOVA, el cual maneja un diseño completamente al azar con un nivel de confianza del 95%, se tuvo en consideración que el análisis presenta un solo factor de entrada que corresponde a la aplicación del pretratamiento y además un factor de salida que corresponde al rendimiento del aceite obtenido con el proceso de extracción. Obteniéndose los resultados reportados en la tabla 11.

**Tabla 11**

*Resultados de la prueba estadística ANOVA para aceite de semilla de soja (100g).*

| <b>Fuente</b> | <b>Df</b> | <b>Sum Sq</b> | <b>Mean Sq</b> | <b>F value</b> | <b>Pr(&gt;F)</b> |
|---------------|-----------|---------------|----------------|----------------|------------------|
| <b>Factor</b> | 1         | 18.69         | 18.691         | 45.22          | 0.00255          |
| <b>Error</b>  | 4         | 1.653         | 0.413          |                |                  |
| <b>Total</b>  | 5         | 20.343        |                |                |                  |

*Nota.* Se realizó la prueba de ANOVA en base a los rendimientos que consideran la pérdida de masa inicial después del pretratamiento. Fuente: Autoras.

Al evaluar el índice de varianza que se registra en la tabla 11, se observa que el valor de  $p=0,00255$ , el cual es inferior al valor de significancia  $\alpha=0.05$ . Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y podemos concluir que hay diferencias significativas entre las medias de los grupos pretratados y sin pretratar en términos de rendimiento de aceite. Es decir, que el pretratamiento de explosión por vapor tiene un efecto significativo en la extracción de aceite de las semillas de soja.

**Tabla 12.**

*Resultados de la prueba estadística de Tukey para aceite de semilla de soja.*

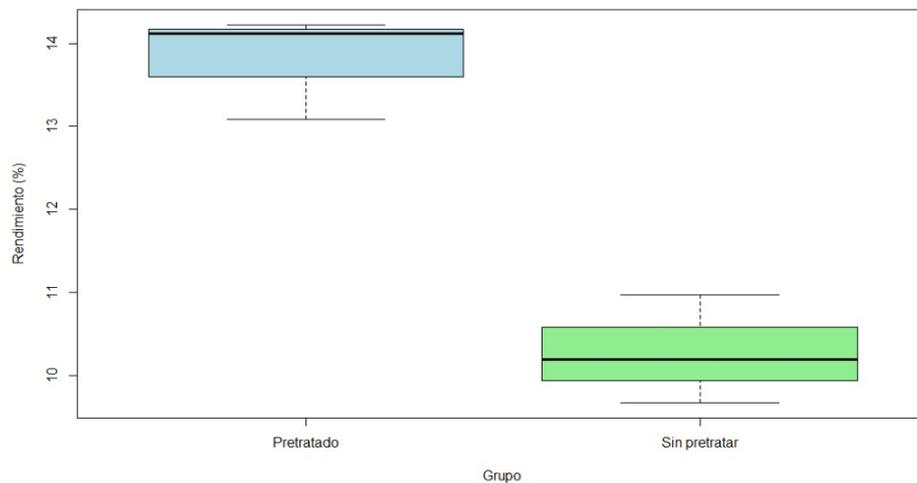
| <b>Fuente</b>        | <b>Diff</b> | <b>Lwr</b> | <b>Upr</b> | <b>P adj</b> | <b>Conf.level</b> |
|----------------------|-------------|------------|------------|--------------|-------------------|
| <b>Sin pretatar-</b> |             |            |            |              |                   |
| <b>pretratado</b>    | -3.53       | -4.987456  | -2.072544  | 0.0025485    | 95%               |

*Nota.* Evaluación de la diferencia significativa entre los grupos pretratados y sin pretratamiento teniendo en cuenta los rendimientos que consideran la pérdida de masa inicial después del pretratamiento. Fuente: Autoras.

Finalmente se aplica una prueba de Tukey que tiene un intervalo de confianza del 95% para la diferencia de las medias, con la cual obtuvimos los datos reportados en la tabla 12, se presenta un valor de  $p= 0.0025485$  el mismo que es menor al valor de significancia y por lo tanto nos indica que existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos sin pretatar y pretatado. En promedio el grupo pretratado tiene un rendimiento de extracción de aceite de aproximadamente 3,53 unidades porcentuales más alto que el grupo sin pretratar.

### Gráfica 1

Diagrama de cajas- Aceite de soja



Nota. Fuente: Autoras

El diagrama de cajas de la figura nos indica que las medianas de los datos entre el grupo de semillas de soja pretratadas y sin pretratamiento que consideran la pérdida de masa no presentan un comportamiento similar.

Por otro lado, considerando que se realizó el pretratamiento y se tuvo una pérdida aproximada de 60 g por muestra, los resultados estadísticos anteriores harían referencia a la cantidad de materia prima obtenida después del pretratamiento. Es por eso por lo que, además del análisis anterior debemos realizar los cálculos con los 100 g iniciales de muestra, empleando las mismas pruebas estadísticas (Shapiro Wilk, ANOVA y Tukey).

**Tabla 13**

*Resultados de la prueba estadística de Shapiro Wilks para de aceite de semilla de soja (100g).*

| <b>Prueba Shapiro Wilks (Distribución normal)</b> |                |
|---|----------------|
| <b>Comparación</b>                                | <b>p-value</b> |
| <b>nivel de significancia (0,05)</b>              |                |
| Aceite de soja con pretratamiento                 | 0.2725         |
| Aceite de soja sin pretratamiento                 | 0.7804         |

*Nota.* Para el desarrollo de esta prueba se tomó en cuenta los rendimientos que consideran los 100 g de masa para evaluación de la extracción. De acuerdo con la prueba estadística los datos siguen una distribución normal. Fuente: Autoras.

En la tabla 13 se registran los valores obtenidos con la prueba de normalidad Shapiro Wilks, para los rendimientos de los aceites de semillas de soja cuyo peso inicial era de 100 g, en el caso del grupo con semillas pretratadas de soja se consiguió un valor de  $p = 0.2725$  y para el grupo sin pretratar un  $p = 0.784$ . Por lo tanto, se comprueba que los datos en ambos grupos siguen una distribución normal.

**Tabla 14**

*Resultados de la prueba estadística ANOVA para aceite de semilla de soja (100g).*

| <b>Fuente</b> | <b>Df</b> | <b>Sum Sq</b> | <b>Mean Sq</b> | <b>F value</b> | <b>Pr(&gt;F)</b> |
|---------------|-----------|---------------|----------------|----------------|------------------|
| <b>Factor</b> | 1         | 33.18         | 33.18          | 84.48          | 0.000778         |
| <b>Error</b>  | 4         | 1.57          | 0.39           |                |                  |
| <b>Total</b>  | 5         | 20.343        |                |                |                  |

*Nota.* Se realizó la prueba de ANOVA en base a los rendimientos que consideran de masa inicial 100g de semilla de soja. Fuente: Autoras.

Al evaluar el índice de varianza que se registra en la tabla 14, se observa que el valor de  $p=0,000778$ , el cual es un valor sumamente inferior al valor de significancia  $\alpha=0.05$ . De tal forma que, se rechaza la hipótesis nula y podemos concluir que hay diferencias significativas entre las medias de los grupos pretratados y sin pretratar en términos de rendimiento de aceite. Por lo tanto, el pretratamiento de explosión por vapor tiene un impacto significativo en el rendimiento en comparación con el grupo sin pretratar.

**Tabla 15**

*Resultados de la prueba estadística de Tukey para aceite de semilla de soja (100g).*

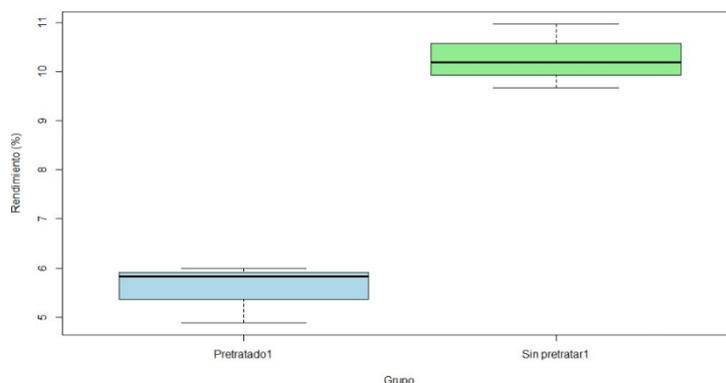
| <b>Fuente</b>         | <b>Diff</b> | <b>Lwr</b> | <b>Upr</b> | <b>P adj</b> | <b>Conf.level</b> |
|-----------------------|-------------|------------|------------|--------------|-------------------|
| <b>Sin pretratar-</b> |             |            |            |              |                   |
| <b>pretratado</b>     | 4.703333    | 3.28257    | 6.124097   | 0.0007806    | 95%               |

*Nota.* Se realizó la prueba de Tukey en base a los rendimientos que consideran de muestra inicial 100g de semilla de soja. Fuente: Autoras.

En la tabla 15 se observan los resultados de la prueba Tukey, se obtiene un valor de  $p=0.0007806$ , inferior al valor de significancia 0.05 por lo cual se determina que la diferencia en el rendimiento entre los grupos es significativa. El grupo sin pretratar tiene una media de rendimiento mayor que el grupo pretratado. La diferencia estimada entre los dos grupos es de aproximadamente 4.7 unidades, con una alta confianza en que esta diferencia es real. Por lo tanto, se concluye que el grupo sin pretratar tiene un rendimiento significativamente mayor en comparación con el grupo pretratado.

## Gráfica 2

Diagrama de cajas- Aceite de soja (100g)



Nota. Fuente: Autoras

El diagrama de cajas de la gráfica 2 nos indica que las medianas de los datos entre el grupo de semillas de soja pretratadas y sin pretratamiento que consideran como muestra inicial 100g no presentan un comportamiento similar.

A continuación, se procede a realizar los mismos análisis estadísticos con los rendimientos obtenidos para el aceite de girasol considerando la pérdida de masa en el pretratamiento. Se detallan los valores obtenidos con la prueba de Shapiro Wilk.

### Tabla 16

Resultados de la prueba estadística de Shapiro Wilks aceite de semilla de girasol.

| Prueba Shapiro Wilks (Distribución normal) |                |
|--|----------------|
| Comparación                                | p-value (0,05) |
| Aceite de girasol con pretratamiento       | 0.6939         |
| Aceite de girasol sin pretratamiento       | 0.3072         |

Nota. Para el desarrollo de esta prueba se tomó en cuenta los rendimientos que consideran la pérdida de masa después del pretratamiento. De acuerdo con la prueba estadística los datos siguen una distribución normal. Fuente: Autoras.

En la tabla 16 se observan los valores que se han conseguido con la prueba de normalidad Shapiro Wilks, para los rendimientos de aceites de semillas de girasol considerando la pérdida de masa en el pretratamiento, en el caso del grupo con semillas pretratadas de girasol se consiguió un valor de  $p = 0.6939$  y para el grupo sin pretratar un  $p = 0.3072$ . Por lo tanto, se comprueba que los datos en ambos grupos siguen una distribución normal.

**Tabla 17**

*Resultados de la prueba estadística ANOVA para aceite de semilla de girasol.*

| <b>Fuente</b> | <b>Df</b> | <b>Sum Sq</b> | <b>Mean Sq</b> | <b>F value</b> | <b>Pr(&gt;F)</b> |
|---------------|-----------|---------------|----------------|----------------|------------------|
| <b>Factor</b> | 1         | 0.290         | 0.2904         | 0.136          | 0.731            |
| <b>Error</b>  | 4         | 8.559         | 2.1397         |                |                  |
| <b>Total</b>  | 5         | 8.849         |                |                |                  |

*Nota.* Se realizó la prueba de ANOVA en base a los rendimientos que consideran la pérdida de masa después del pretratamiento. Fuente: Autoras.

En base al cálculo de varianza que se detalla en la tabla 17, se observa que el valor de  $p=0,731$ , el cual es un valor mayor al valor de significancia  $\alpha=0.05$ . De tal forma que, no se rechaza la hipótesis nula y podemos concluir no se encontraron diferencias significativas entre las medias de los grupos pretratados y sin pretratar en función del rendimiento de aceite. Por lo tanto, el pretratamiento de explosión por vapor no tiene un impacto significativo en el rendimiento en comparación con el grupo sin pretratamiento.

**Tabla 18**

*Resultados de la prueba estadística de Tukey para aceite de semilla de girasol*

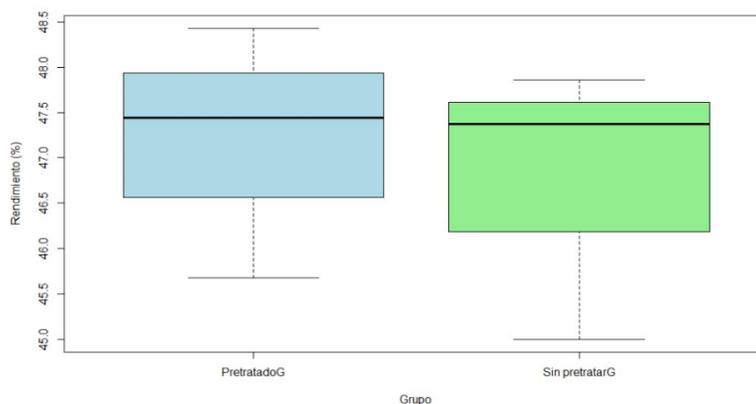
| <b>Fuente</b>        | <b>Diff</b> | <b>Lwr</b> | <b>Upr</b> | <b>P adj</b> | <b>Conf.level</b> |
|----------------------|-------------|------------|------------|--------------|-------------------|
| <b>Sin pretatar-</b> |             |            |            |              |                   |
| <b>pretatado</b>     | -0.44       | -3.756081  | 2.876081   | 0.7312445    | 95%               |

*Nota.* Se realizó la prueba de Tukey en base a los rendimientos que consideran la pérdida de masa después del pretratamiento. Fuente: Autoras.

En la tabla 18 podemos evidenciar los resultados obtenidos con la prueba de Tukey en donde se observa un  $p=0.7312445$  Esto nos indica que, en promedio, el grupo sin pretatar tuvo un rendimiento ligeramente inferior al grupo pretatado, aunque esta diferencia no es estadísticamente significativa. Esto implica que el pretratamiento no ha demostrado tener un impacto significativo en el rendimiento, al menos con la muestra de datos y el nivel de confianza considerado en el análisis (95%).

### **Gráfica 3**

*Diagrama de cajas- Aceite de girasol*



*Nota.* Fuente: Autoras

El diagrama de cajas de la figura nos indica que las medianas de los datos entre el grupo de semillas de girasol pretratadas y sin pretratamiento que consideran la pérdida de masa después del pretratamiento presentan un comportamiento similar.

Así mismo se realiza un análisis estadístico con los rendimientos obtenidos con 100 g iniciales de semillas de girasol, empleando las mismas pruebas estadísticas (Shapiro Wilk, ANOVA y Tukey).

A continuación, se realiza los mismos análisis estadísticos con los rendimientos obtenidos para el aceite de girasol sin considerar la pérdida de masa en el pretratamiento, es decir con los 100g iniciales. Seguidamente, se detallan los valores obtenidos con la prueba de Shapiro Wilk.

**Tabla 19**

*Resultados de la prueba estadística de Shapiro Wilks para aceite de semilla de girasol (100g).*

| <b>Prueba Shapiro Wilks (Distribución normal)</b> |                       |
|---|-----------------------|
| <b>Comparación</b>                                | <b>p-value (0,05)</b> |
| Aceite de girasol con pretratamiento              | 0.09553               |
| Aceite de girasol sin pretratamiento              | 0.3072                |

*Nota.* Para el desarrollo de esta prueba se tomó en cuenta los rendimientos que consideran los 100 g de masa para evaluación de la extracción. De acuerdo con la prueba estadística los datos siguen una distribución normal. Fuente: Autoras.

En la tabla 19 se observan los valores que se han conseguido con la prueba de normalidad Shapiro Wilks, para los rendimientos de aceites de semillas de girasol con 100g de masa inicial, en el caso del grupo con semillas pretratadas de girasol se consiguió un valor de  $p = 0.0955$  y para el grupo sin pretratar un  $p = 0.3072$ . Por lo tanto, se comprueba que los datos en ambos grupos siguen una distribución normal. Sin embargo, es necesario evaluar mediante ANOVA las medias de los datos para evaluar si existe diferencia significativa.

**Tabla 20**

*Resultados de la prueba estadística ANOVA para aceite de semilla de girasol (100g).*

| <b>Fuente</b> | <b>Df</b> | <b>Sum Sq</b> | <b>Mean Sq</b> | <b>F value</b> | <b>Pr(&gt;F)</b> |
|---------------|-----------|---------------|----------------|----------------|------------------|
| <b>Factor</b> | 1         | 1177.1        | 1177.1         | 512.9          | $2.25e^{-05}$    |
| <b>Error</b>  | 4         | 9.2           | 2.3            |                |                  |
| <b>Total</b>  | 5         | 1186.3        |                |                |                  |

*Nota.* Se realizó la prueba de ANOVA en base a los rendimientos que consideran de masa inicial 100g de semilla de girasol. Fuente: Autoras.

En base al cálculo de varianza que se detalla en la tabla 20, se observa que el valor de  $p = 2.25 e^{-05}$ , el cual es un valor extremadamente menor al valor de significancia  $\alpha = 0.05$ . Esto indica que existe evidencia significativa para rechazar la hipótesis nula, es decir que existe diferencia entre las medias de los grupos en base al rendimiento de aceite. Por lo tanto, el pretratamiento de explosión de vapor parece tener un efecto significativo en el rendimiento de extracción de aceite de las semillas de girasol.

Finalmente se evalúa con la prueba de Tukey para comprobar cuál de los procesos me brinda mayor rendimiento.

**Tabla 21**

*Resultados de la prueba estadística de Tukey para aceite de semilla de girasol (100g).*

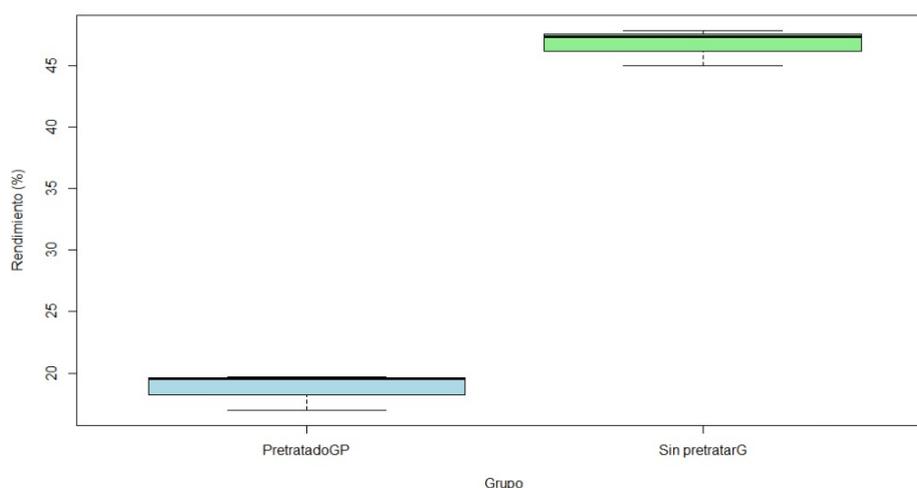
| <b>Fuente</b>        | <b>Diff</b> | <b>Lwr</b> | <b>Upr</b> | <b>P adj</b>         | <b>Conf.level</b> |
|----------------------|-------------|------------|------------|----------------------|-------------------|
| <b>Sin pretatar-</b> |             |            |            |                      |                   |
| <b>pretratado</b>    | 28.01333    | 24.57915   | 31.44752   | 2.88e <sup>-05</sup> | 95%               |

*Nota.* Se realizó la prueba de Tukey en base a los rendimientos que consideran de muestra inicial 100g de semilla de girasol. Fuente: Autoras.

En base al análisis realizado con la prueba de Tukey se obtienen los datos reportados en la tabla 21, en la cual se registra un valor de  $p= 2.88e^{-05}$ . La diferencia entre las medias es estadísticamente significativa ( $p<0.05$ ) y el intervalo de confianza no incluye el valor 0, lo que respalda la idea de que el grupo sin pretratar tiene un rendimiento mayor que el grupo pretratado.

#### **Gráfica 4**

*Diagrama de cajas- Aceite de girasol (100g)*



*Nota.* Fuente: Autoras

El diagrama de cajas de la figura nos indica que las medianas de los datos entre el grupo de semillas de girasol pretratadas y sin pretratamiento que consideran de cantidad de muestra inicial 100g presentan un comportamiento similar.

Un estudio realizado por Petraru, Ursachi y Amariel (2021) indica que la soja tiene una mayor cantidad de proteínas e hidratos de carbono compactados que el girasol por lo que el aceite de soja no se extrae fácilmente por métodos convencionales.

La explosión por vapor desnaturaliza las proteínas y disuelve los carbohidratos por lo que aumenta los rendimientos en su extracción. Por otro lado, la semilla de girasol tiene más lípidos disponibles y su liberación no se ve tan comprometida por otras biomoléculas. Debido a esto, el pretratamiento de explosión por vapor es más efectivo en semillas de soja que de girasol.

#### **4.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS ACEITES DE SEMILLA DE SOJA (*Glycine max L.*) y GIRASOL (*Helianthus annuus L.*).**

A continuación, se presentan los resultados del análisis fisicoquímico en ambas semillas en cuanto a sus índices de refracción, acidez, saponificación, índice de yodo, de peróxidos y de densidad relativa.

##### **4.3.1 ÍNDICE DE REFRACCIÓN**

A continuación, se presentan los resultados referentes al índice de refracción determinado en cada uno de los aceites.

**Tabla 22**

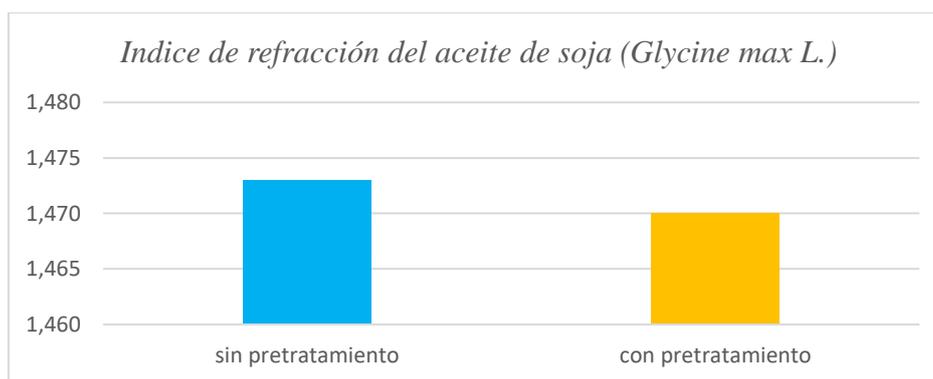
*Índice de refracción del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento*

| <b>Índice de Refracción - Aceite de soja (<i>Glycine max L.</i>)</b> |                         |   |
|--|-------------------------|---|
| <b>Resultados</b>  | <b>Método de Ensayo</b> |   |
| Pretratamiento   | 1,47                    | <b>Normativa INEN 42</b>                        |
| No pretratamiento  | 1,473                   | <b>Índice de Refracción<br/>(1,471 - 1,476)</b> |

*Nota.* En la tabla se detalla el índice de refracción obtenido con el aceite de semilla de soja pretratada y sin pretratamiento; se tomó en cuenta la Normativa Técnica Ecuatoriana de grasas y aceites comestibles (INEN 42) en la cual se indica el límite de permisibilidad del índice de refracción. Fuente: Autoras

**Gráfica 5**

*Índice de refracción del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento.*



Fuente: Autoras

El índice de refracción para el aceite de semillas de soja pretratadas fue de 1,47, mientras que para el aceite de semillas de soja no pretratadas fue de 1,473. De acuerdo con los

datos mencionados y su comparación con los valores establecidos en la Normativa INEN 42, se puede apreciar que el índice de refracción del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento se encuentra dentro del intervalo permisible. Estos resultados son comparables con los valores obtenidos por Abdo y colaboradores (2022), en el que consiguieron un índice de refracción de (1,466 – 1,470). El índice de refracción de los aceites permite controlar su pureza y calidad tanto a nivel de laboratorio como industrial, de tal manera que nuestros datos al encontrarse dentro del rango permitido por la normativa son considerados un producto aceptable. Por otro lado, Mustafa (2016), en su estudio consiguió un índice de refracción de (1,459 y 1,468) los cuales son inferiores a los rangos permitidos debido a la presencia de humedad e impurezas motivo por el que no pueden asegurar la pureza del producto.

**Tabla 23**

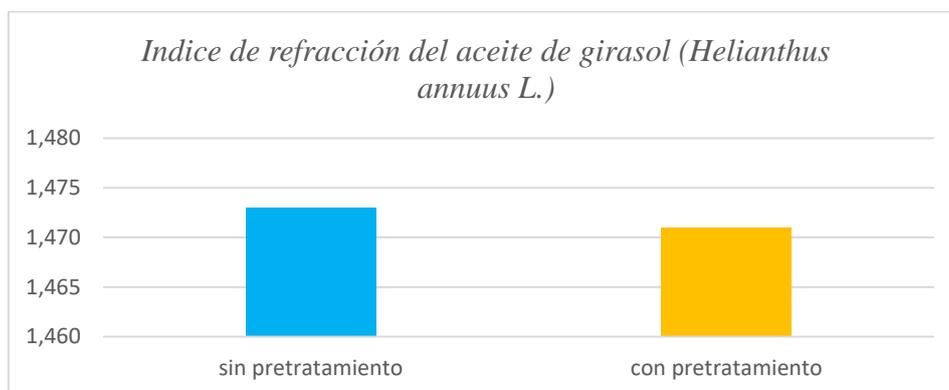
*Índice de refracción del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento*

| <b>Índice de Refracción - Aceite de girasol (<i>Helianthus annuus L.</i>)</b> |                   |                             |
|---|-------------------|-----------------------------|
|   | <b>Resultados</b> | <b>Método de Ensayo</b>     |
| Pretratamiento  | 1,471             | <b>Normativa INEN 42</b>    |
|   |                   | <b>Índice de Refracción</b> |
| No pretratamiento   | 1,473             | <b>(1,471 – 1,475)</b>      |

*Nota.* En la tabla se detalla el índice de refracción obtenido con el aceite de semilla de girasol pretratada y sin pretratamiento; se tomó en cuenta la Normativa Técnica Ecuatoriana de grasas y aceites comestibles (INEN 42) en la cual se indica el límite de permisibilidad del índice de refracción. Fuente: Autoras

## Gráfica 6

Índice de refracción del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento.



Fuente: Autoras

El índice de refracción para el aceite de semillas de girasol pretratadas fue de 1,471, mientras que para el aceite de semillas de girasol no pretratadas fue de 1,473. De acuerdo con los datos mencionados y su comparación con los valores establecidos en la Normativa INEN 42, se puede apreciar que el índice de refracción del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento se encuentra dentro del intervalo permisible. Verduga (2014), en su estudio realizado obtuvo un índice de refracción entre (1,452 y 1,456) el mismo que no asegura calidad y pureza del aceite debido a que no se ubica dentro del rango permisible de la normativa. Por otro lado, Gómez (2003), reporta un índice de refracción entre (1,460 y 1,459) inferiores a los registrados por Jiang (2012), que había obtenido un índice de refracción entre (1,475 y 1,472) similares a los descritos en este análisis.

### 4.3.2 INDICE DE ACIDEZ

El índice de acidez es útil para determinar la calidad de los ácidos grasos. Cuanto mayor sea el índice de acidez, menor será la calidad del aceite.

**Tabla 24**

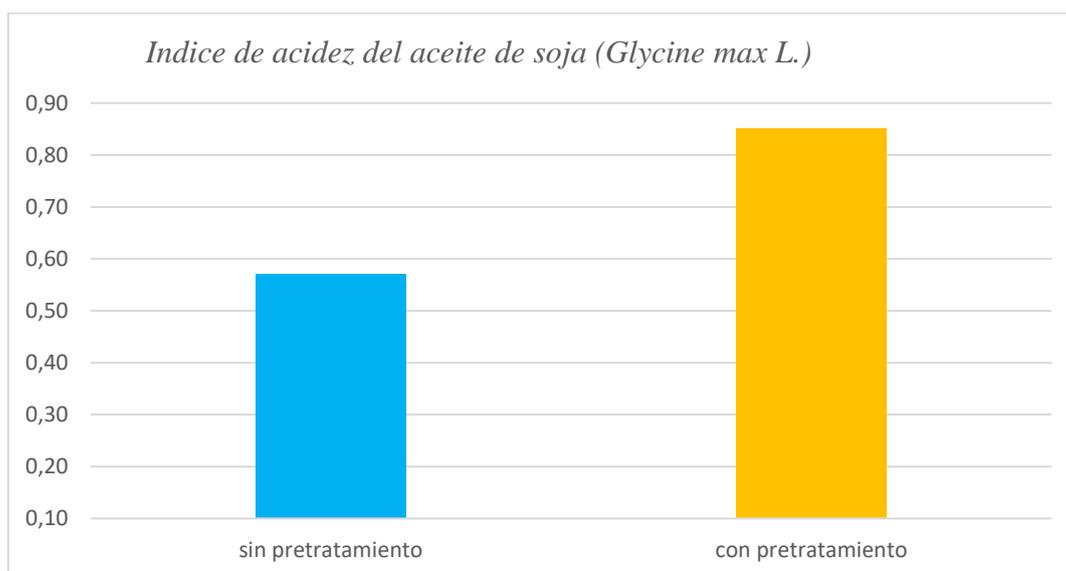
*Índice de acidez del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento*

| <b>Índice de Acidez - Aceite de soja (<i>Glycine max L.</i>)</b> |                         |  |
|--|-------------------------|--|
| <b>Resultados</b>  | <b>Método de Ensayo</b> |  |
| Pretratamiento   | 0,852                   | <b>Normativa INEN 38</b>                       |
| No pretratamiento  | 0,571                   | <b>Índice de Acidez</b><br><b>(máx. 0,2 %)</b> |

*Nota.* En la tabla se detalla el índice de acidez obtenido con el aceite de semilla de soja pretratada y sin pretratamiento; se tomó en cuenta la Normativa Técnica Ecuatoriana de grasas y aceites comestibles (INEN 38) en la cual se indica el límite de permisibilidad del índice de acidez que corresponde a 0,20% o 2 mg de KOH/g de aceite de soja. Fuente: Autoras

**Gráfica 7**

*Índice de acidez del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento.*



Fuente: Autoras

El índice de acidez para el aceite de semillas de soja pretratadas fue de 0,852 mgKOH/g, mientras que para el aceite de semillas de soja no pretratadas fue de 0,571 mg KOH/g. De acuerdo con los datos mencionados y su comparación con los valores establecidos en la Normativa INEN 38, se puede apreciar que el índice de acidez del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento se encuentran en el rango de permisibilidad establecido por la normativa, al igual que en el estudio de Girona (2020) donde obtuvieron índices de acidez (0,50 y 0,39 mg KOH/g).

**Tabla 25**

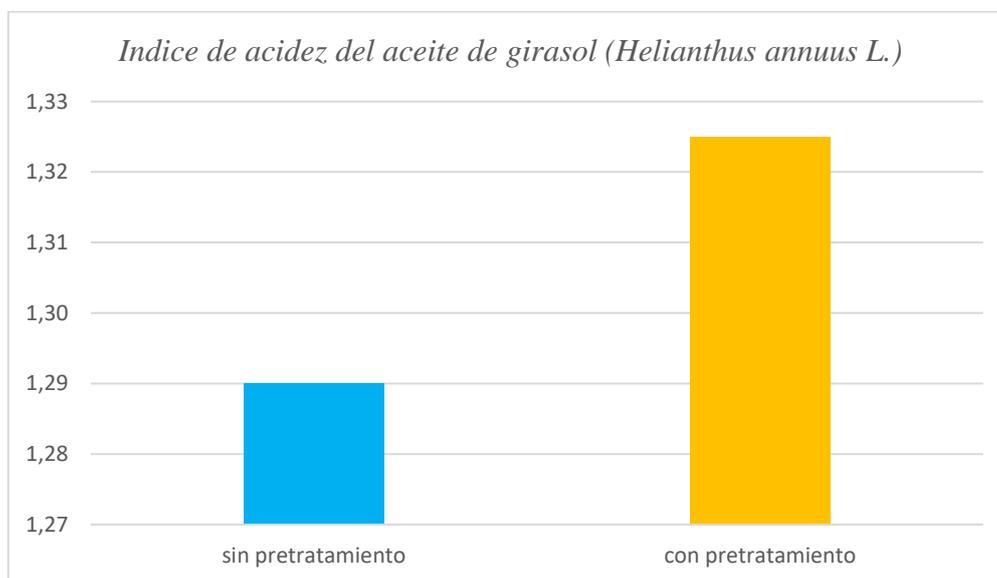
*Índice de acidez del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento*

| <b>Índice de Acidez - Aceite de girasol (<i>Helianthus annuus L.</i>)</b> |       |  |
|---|-------|--|
| <b>Resultados</b>   |       | <b>Método de Ensayo</b>  |
| Pretratamiento  | 1,325 | <b>Normativa INEN 38</b><br><b>Índice de Acidez</b><br><b>(máx. 0,2 %)</b> |
| No pretratamiento   | 1,290 |  |

*Nota.* En la tabla se detalla el índice de acidez obtenido con el aceite de semilla de girasol pretratada y sin pretratamiento; se tomó en cuenta la Normativa Técnica Ecuatoriana de grasas y aceites comestibles (INEN 38) en la cual se indica el límite de permisibilidad del índice de acidez que corresponde a 0,20% o 2 mg de KOH/g de aceite de girasol. Fuente: Autoras

## Gráfica 8

Índice de acidez del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento.



Fuente: Autoras

El índice de acidez para el aceite de semillas de girasol pretratadas fue de 1,325 mg KOH/g, mientras que para el aceite de semillas de girasol no pretratadas fue de 1,290 mg KOH/g. De acuerdo con los datos mencionados y su comparación con los valores establecidos en la Normativa INEN 38, se puede apreciar que el índice de acidez del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento se encuentran dentro de los valores del intervalo permisible. Así mismo Lamas (2014), en el desarrollo de su análisis experimental obtuvo un índice de acidez entre (2,22 y 1,97 mg KOH/g).

### 4.3.3 INDICE DE SAPONIFICACIÓN

El índice de saponificación proporciona información sobre el peso molecular medio de todos los ácidos grasos presentes. Cuanto mayor sea el valor de saponificación, menor será el peso molecular de todos los ácidos grasos.

**Tabla 26**

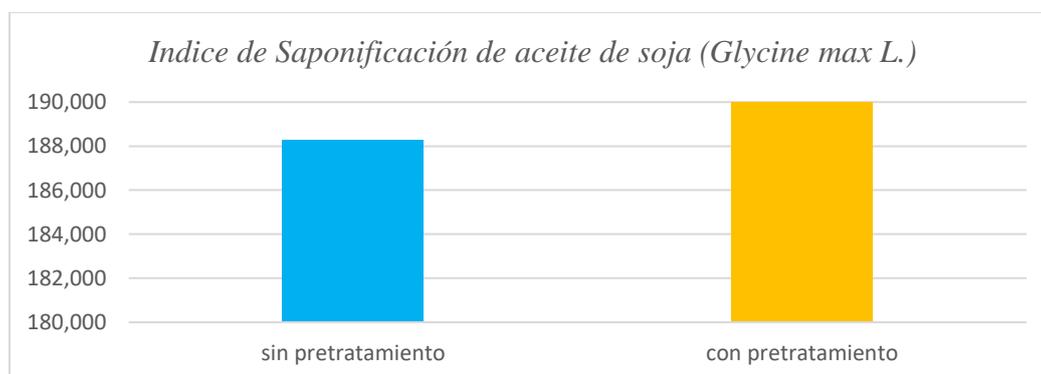
*Índice de saponificación del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento.*

| <b>Índice de Saponificación - Aceite de soja (<i>Glycine max L.</i>)</b> |                         |   |
|--|-------------------------|---|
| <b>Resultados</b>  | <b>Método de Ensayo</b> |   |
| Pretratamiento   | 191.58                  | <b>Normativa INEN 33</b>  |
| No pretratamiento  | 188,25                  | <b>Índice de Saponificación<br/>(188 – 195 mg KOH/g<br/>aceite)</b> |

*Nota.* En la tabla se detalla el índice de saponificación obtenido con el aceite de semilla de soja pretratada y sin pretratamiento; se tomó en cuenta la Normativa Técnica Ecuatoriana de grasas y aceites comestibles (INEN 33 ) en la que se indica el límite de permisibilidad del índice de saponificación. Fuente: Autoras

**Gráfica 9**

*Índice de saponificación del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento*



Fuente: Autoras

El índice de saponificación para el aceite de semillas de soja pretratadas fue de 191,58 mg KOH/g, mientras que para el aceite de semillas de soja no pretratadas fue de 188,25 mg KOH/g. De acuerdo con los datos mencionados y su comparación con los valores establecidos en la Normativa INEN 33, se puede apreciar que el índice de saponificación del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento se encuentra dentro del intervalo permisible. Los resultados de Kady y colaborades (2019), son comparables con los valores conseguidos en este análisis ya que obtuvieron un índice de saponificación entre (190,87 y 191,01 mg KOH/g) los mismos que permiten corroborar la validez de nuestros resultados y asegurar que se encuentran en el rango permisible de lo establecido en la normativa. Cabe mencionar que mientras menor sea el peso molecular, más ligero es el aceite; por lo que nuestros resultados, al estar dentro del rango permisible, determinan que en ambos casos existe una ligereza apropiada.

**Tabla 27**

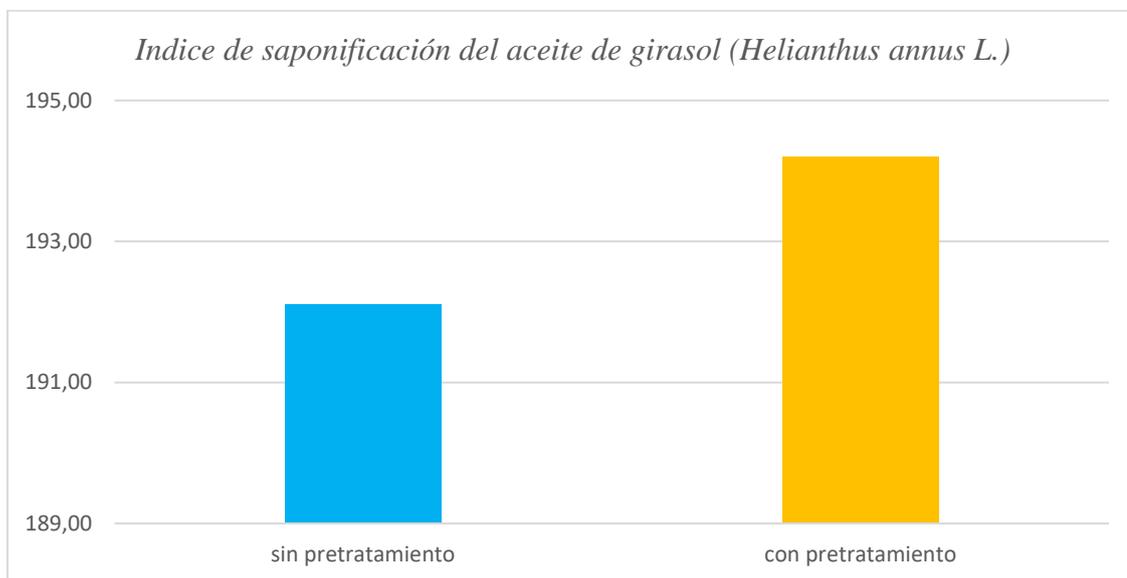
*Índice de saponificación del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento*

| <b>Índice de Saponificación - Aceite de girasol (<i>Helianthus annuus L.</i>)</b> |                   |  |
|---|-------------------|--|
|   | <b>Resultados</b> | <b>Método de Ensayo</b>  |
| Pretratamiento  | 194,20            | <b>Normativa INEN 26</b><br><b>Índice de saponificación</b><br><b>(188 – 195 mg KOH/ g</b><br><b>aceite)</b> |
| No pretratamiento   | 192,11            |  |

*Nota.* En la tabla se detalla el índice de saponificación obtenido con el aceite de semilla de girasol pretratada y sin pretratamiento; se tomó en cuenta la Normativa Técnica Ecuatoriana de grasas y aceites comestibles (INEN 26) en las que se indica el límite de permisibilidad del índice de saponificación. Fuente: Autoras

### Gráfica 10

Índice de saponificación del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento



Fuente: Autoras

El índice de saponificación para el aceite de semillas de girasol pretratadas fue de 194,20 mg KOH/g, mientras que para el aceite de semillas de girasol no pretratadas fue de 192,11 mg KOH/g. De acuerdo con los datos mencionados y su comparación con los valores establecidos en la Normativa INEN 26, se puede apreciar que el índice de saponificación del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento se encuentra dentro del intervalo permisible. Cabe mencionar que mientras menor sea el peso molecular, más ligero es el aceite; por lo que nuestros resultados, al estar dentro del rango permisible, determinan que en ambos casos existe una ligereza apropiada.

Kady y colaboradores (2019), reportan un índice de saponificación de (192,6 y 193,5 mg KOH/g) rango similar al obtenido en este análisis e inferiores a los obtenidos por Peyman (2019), en los que se obtiene un índice de saponificación entre (192,82 y 193,02 mg KOH/g).

#### 4.3.4 INDICE DE YODO

Esta prueba genera información cuantitativa acerca de la presencia de grasas y aceites insaturados. Cuanto más ácidos grasos insaturados tenga la muestra, más aumenta el índice de yodo por su reacción con los dobles enlaces.

**Tabla 28**

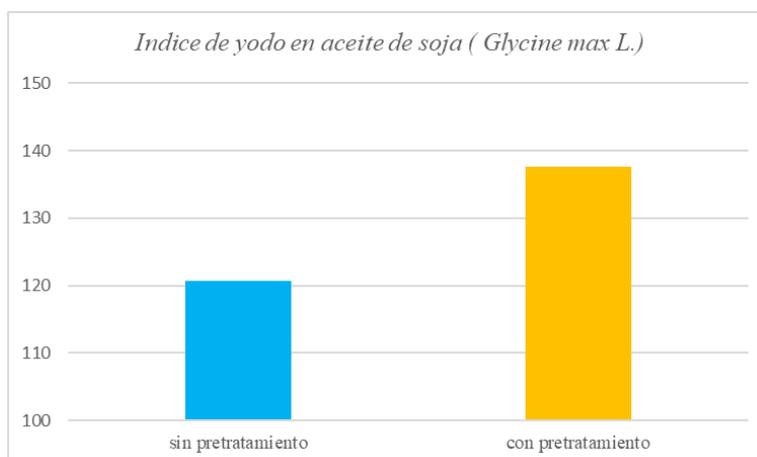
*Índice de yodo del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento*

| <b>Índice de Yodo - Aceite de soja (<i>Glycine max L.</i>)</b> |                   |   |
|--|-------------------|---|
|  | <b>Resultados</b> | <b>Método de Ensayo</b>   |
| Pretratamiento   | 137,58            | <b>Normativa INEN 37</b><br><b>Índice de Yodo</b><br><b>(120 - 141)</b> |
| No pretratamiento  | 120,65            |   |

*Nota.* En la tabla se detalla el índice de yodo obtenido con el aceite de semilla de soja pretratada y sin pretratamiento; se tomó en cuenta la Normativa Técnica Ecuatoriana de grasas y aceites comestibles (INEN 37). Fuente: Autoras

**Gráfica 11**

*Índice de yodo del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento.*



Fuente: Autoras

El índice yodo para el aceite de semillas de soja pretratadas fue de 137,57 cg/g, mientras que para el aceite de semillas de soja no pretratadas fue de 120,65 cg/g. De acuerdo con los datos mencionados y su comparación con los valores establecidos en la Normativa INEN 37, se puede apreciar que el índice de yodo del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento se encuentra dentro del intervalo permisible. Sin embargo, el aceite pretratado tiene una cantidad relativamente más alta de ácidos grasos insaturados en comparación con el aceite no pretratado.

Estos resultados son comparables con otros estudios en extracción de aceite de soja, Lafont y colaboradores (2014), reportan en su trabajo de investigación que obtuvieron un índice de yodo entre (139,50 y 105,12 cg I/100g). Por otro lado, Eze (2012), consiguió un índice de yodo de (123,42 y 130,11 g I/100 g), muy superior a los resultados registrados por Gabona (2022) donde obtuvo un índice de yodo de (109,4 y 115,6 cg I/100g)

**Tabla 29**

*Índice de yodo del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento*

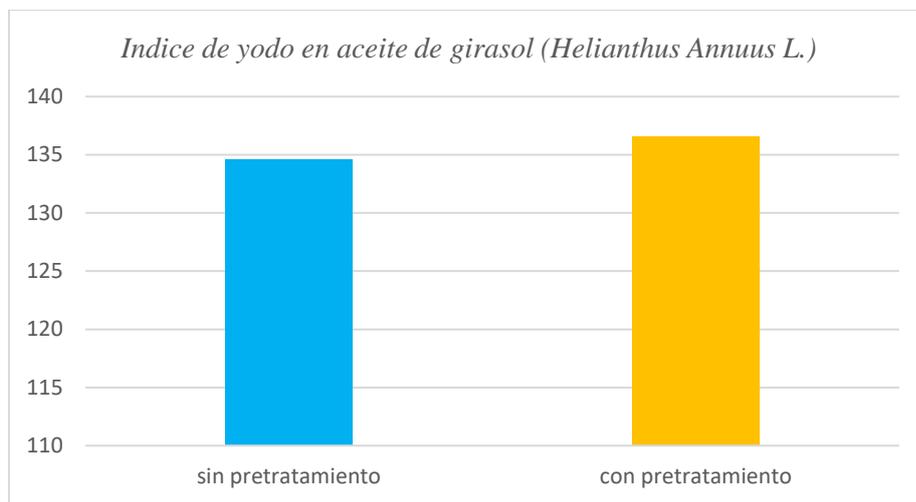
| <b>Índice de Yodo - Aceite de girasol (<i>Helianthus annuus L.</i>)</b> |                   |                                       |
|---|-------------------|---------------------------------------|
|   | <b>Resultados</b> | <b>Método de Ensayo</b>               |
| Pretratamiento  | 136,53            | <b>Normativa INEN 37</b>              |
| No pretratamiento   | 134,62            | <b>Índice de Yodo<br/>(123 - 137)</b> |

*Nota.* En la tabla se detalla el índice de yodo obtenido con el aceite de semilla de girasol pretratada y sin pretratamiento; se tomó en cuenta la Normativa Técnica Ecuatoriana de Grasas

y Aceites Comestibles (INEN 37) en la cual nos indica el límite de permisibilidad del índice de yodo. Fuente: Autoras

### **Gráfica 12**

*Índice de yodo del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento*



Fuente: Autoras

El índice yodo para el aceite de semillas de girasol pretratadas fue de 136,53 cg/g, mientras que para el aceite de semillas de soja no pretratadas fue de 134,62 cg/g. En relación con los datos descritos en la tabla y su comparación con los valores establecidos en la Normativa INEN 37, se puede evidenciar que el índice de yodo del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento se encuentra dentro del rango permisible que establece la norma. Hesham (2015), dentro del desarrollo de su parte experimental obtuvo un índice de yodo de (122 y 128 g I/100 g). Por otra parte, Romanic (2020), consiguió un índice de yodo de (122,69 y 122,87 g I/100 g) los mismos que son significativamente mayores a los valores registrados por Awatif y Shaker (2014), (105,50 y 103,90 g I/100 g).

Los valores obtenidos en el análisis de aceite de semillas de soja y girasol con y sin pretratamiento en relación con el índice de yodo presentan ácidos grasos insaturados (Tiefenbacher et al, 2017). Además, con los resultados obtenidos podemos indicar que los

aceites a pesar de estar dentro de los parámetros permisibles de la normativa son considerados también semisecantes ya que según Manrique (2018), los aceites que presenten un grado de insaturación entre (100 y 140 g I/100 g) se incluyen en esta clasificación, pero están dentro de los parámetros permisibles de la Normativa. Sin embargo, habría que tener cuidado que los valores no superen los parámetros establecidos ya que un índice alto de yodo provocaría que los aceites sufran reacciones de degradación rápida, como la autooxidación o la polimerización debido a que el aceite tiende a ser más susceptible a medida que incrementa su número de insaturaciones.

#### 4.3.5 INDICE DE PERÓXIDOS

Esta prueba indica cuantitativamente la cantidad de peróxidos o hidroperóxidos, que se forman cuando los ácidos grasos insaturados se oxidan. Esto produce un sabor rancio en los aceites y, por ende, permite determinar la frescura de la muestra.

##### **Tabla 30**

*Índice de peróxidos del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento.*

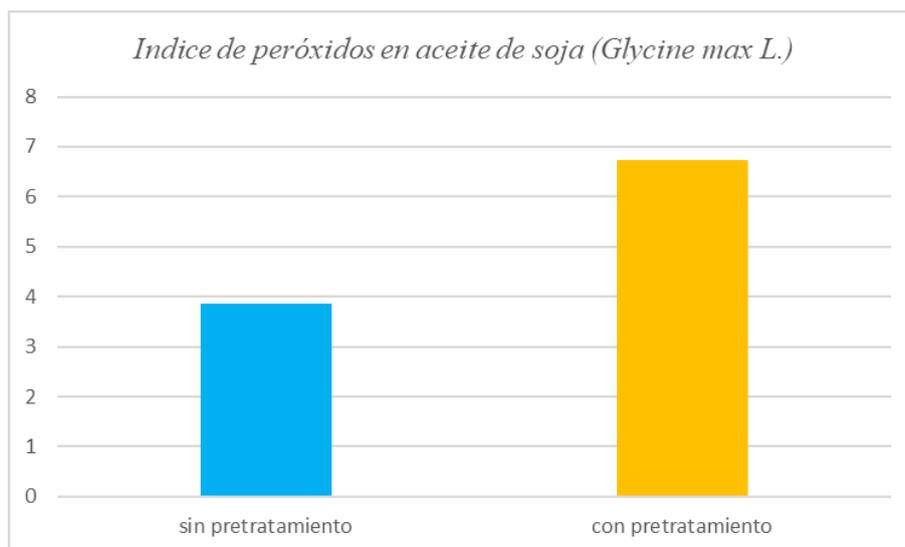
| <b>Índice de peróxidos - Aceite de soja (<i>Glycine max L.</i>)</b> |       |                                      |
|---|-------|--------------------------------------|
| <b>Resultados</b>   |       | <b>Método de Ensayo</b>              |
| Pretratamiento  | 6,725 | <b>Normativa INEN 277</b>            |
|   |       | <b>Índice de peróxidos</b>           |
| No pretratamiento   | 3,866 | <b>(máx. 10 meqO<sub>2</sub>/kg)</b> |

*Nota.* En la tabla se detalla el índice de peróxidos obtenido con el aceite de semilla de soja pretratada y sin pretratamiento; se tomó en cuenta la Normativa Técnica Ecuatoriana de grasas

y aceites comestibles (INEN 277) en la cual nos indica el límite de permisibilidad del índice de peróxidos. Fuente: Autoras

### Gráfica 13

*Índice de peróxidos del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento.*



Fuente: Autoras

El índice peróxidos para el aceite de semillas de soja pretratadas fue de 6,725 meqO<sub>2</sub>/kg, mientras que para el aceite de semillas de soja no pretratadas fue de 3,866 meqO<sub>2</sub>/kg. En relación con los datos descritos en la tabla y su comparación con los valores establecidos en la Normativa INEN 277, se puede evidenciar que el índice de peróxido del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento se encuentra dentro del rango permisible que establece la normativa. Anwar (2016), obtuvo un índice de peróxido de (1,8 y 2,64 meqO<sub>2</sub>/kg) los mismos que representan un buen estado oxidativo por ser valores bajos y estar dentro de los parámetros permisibles de la normativa a diferencia de los hallazgos reportados por Abitogun (2008), en los que indica que obtuvo un índice de peróxidos entre (21,38 y 18,14 meqO<sub>2</sub>/kg) , los mismos que al ser valores altos indican que el aceite es propenso a una ranciedad oxidativa.

**Tabla 31**

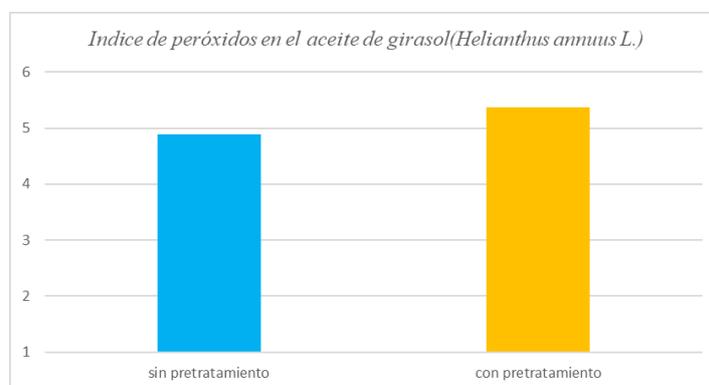
*Índice de peróxidos del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento.*

| <b>Índice de peróxidos - Aceite de girasol (<i>Helianthus annuus L.</i>)</b> |                   |   |
|--|-------------------|---|
|  | <b>Resultados</b> | <b>Método de Ensayo</b>   |
| Pretratamiento   | 5,375             | <b>Normativa INEN 277</b><br><b>Índice de peróxidos</b><br><b>(máx. 10 meqO<sub>2</sub>/kg)</b> |
| No pretratamiento  | 4,894             |   |

*Nota.* En la tabla se detalla el índice de peróxidos obtenido con el aceite de semilla de girasol pretratada y sin pretratamiento; se tomó en cuenta la Normativa Técnica Ecuatoriana de grasas y aceites comestibles (INEN 277) en la cual nos indica el límite de permisibilidad del índice de peróxidos. Fuente: Autoras

**Gráfica 14**

*Índice de peróxidos del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento.*



Fuente: Autoras

El índice peróxidos para el aceite de semillas de girasol pretratadas fue de 5,375 meqO<sub>2</sub>/kg, mientras que para el aceite de semillas de girasol no pretratadas fue de 4,894 meqO<sub>2</sub>/kg. En relación con los datos descritos en la tabla y su comparación con los valores establecidos en la Normativa INEN 277, se puede evidenciar que el índice de peróxido del

aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento se encuentra dentro del rango de límite aceptable que establece la normativa. Mero y colaboradores (2021), en su estudio realizado con extracción por solventes reportaron un índice de peróxidos de (0,18 y 3,6 meqO<sub>2</sub>/kg) los cuales son sumamente inferiores a los resultados obtenidos por Romanic (2020), que están en un rango de (4,96 y 5,72 meqO<sub>2</sub>/kg) similares a los obtenidos en este análisis. Asimismo, Bandura y colaboradores (2022), en su estudio también presentan valores similares a los detallados en este análisis, ya que registran un índice de yodo de (5,0 y 4,3 meqO<sub>2</sub>/kg). Cuando el índice de peróxido es elevado o supera el límite permisible que establece la normativa, es porque las semillas fueron tratadas con altas temperaturas en el proceso de extracción, y provoca la formación de peróxidos. (Esquivel et al, 2014).

#### 4.3.6 DENSIDAD RELATIVA

La determinación de la densidad relativa permite reconocer si este valor está anormalmente alto o bajo y esto puede sugerir una posible contaminación del aceite con otros compuestos.

**Tabla 32**

*Densidad relativa del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento.*

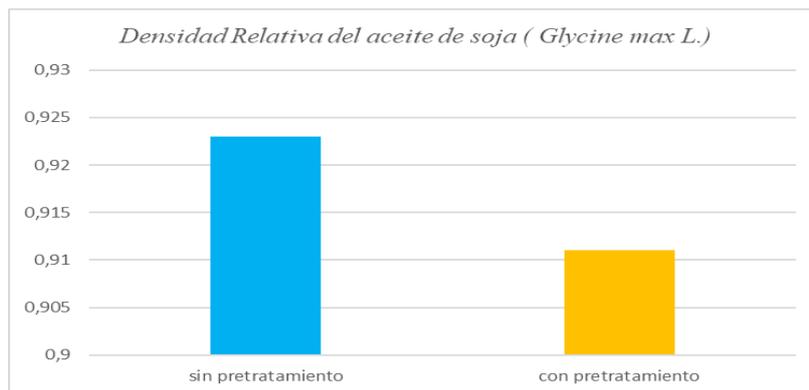
| <b>Densidad - Aceite de soja (<i>Glycine max L.</i>)</b> |                   |  |
|--|-------------------|--|
|  | <b>Resultados</b> | <b>Método de Ensayo</b>  |
| Pretratamiento   | 0,911             | <b>Normativa INEN 35</b><br><b>Densidad Relativa</b><br><b>(0,910-0,924)</b> |
| No pretratamiento  | 0,923             |  |

*Nota.* En la tabla se detalla los valores de densidad obtenidos con el aceite de semilla de soja pretratada y sin pretratamiento; se tomó en cuenta la Normativa Técnica Ecuatoriana de grasas

y aceites comestibles (INEN 35) en la cual nos indica el límite de permisibilidad de densidad relativa. Fuente: Autoras

### **Gráfica 15**

*Densidad relativa del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento.*



Fuente: Autoras

La densidad relativa para el aceite de semillas de soja pretratadas fue de 0,911, mientras que para el aceite de semillas de soja no pretratadas fue de 0,923. En relación con los datos descritos en la tabla y su comparación con los valores establecidos en la Normativa INEN 35, se puede evidenciar que la densidad relativa del aceite de semilla de soja con y sin pretratamiento se encuentra dentro del rango permisible que establece la normativa. Anwar (2016), habían obtenido una densidad relativa de (0,8698 y 0,8712).

El valor de la densidad relativa disminuye debido a la aplicación de temperaturas altas, es así como cuanto mayor sea la temperatura que interviene el proceso menor será la densidad relativa del aceite (Pastar & Pedros, 2023). Por otro lado, Ejiofor (2021), en el desarrollo de su parte experimental consiguió datos superiores registrando una densidad relativa de (0,92 y 0,94) la cual coincide con los resultados de este análisis.

**Tabla 33**

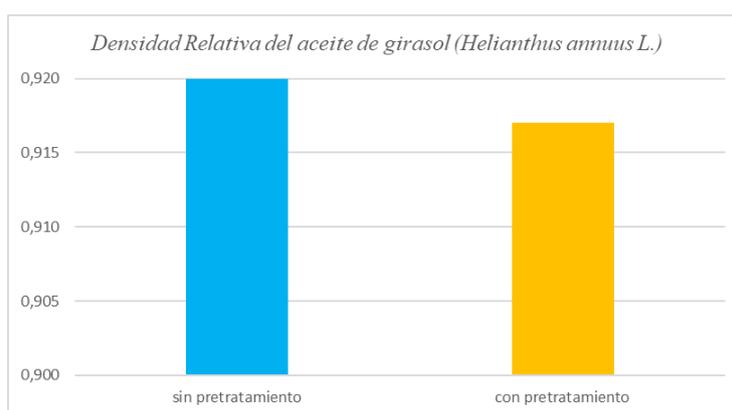
*Densidad relativa del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento.*

| <b>Densidad - Aceite de girasol (<i>Helianthus annuus L.</i>)</b> |       |  |
|---|-------|--|
| <b>Resultados</b>   |       | <b>Método de Ensayo</b>                    |
| Pretratamiento  | 0,917 | <b>Normativa INEN 35</b>                   |
| No pretatamiento  | 0,920 | <b>Densidad Relativa<br/>(0,910-0,921)</b> |

*Nota.* En la tabla se detallan los valores de densidad obtenidos con el aceite de semilla de soja pretratada y sin pretratamiento; se tomó en cuenta la Normativa Técnica Ecuatoriana de grasas y aceites comestibles (INEN 35) en la cual nos indica el límite de permisibilidad de densidad relativa. Fuente: Autoras

**Gráfica 16**

*Densidad relativa del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento.*



Fuente: Autoras

La densidad relativa para el aceite de semillas de girasol pretratadas fue de 0,917, mientras que para el aceite de semillas de girasol no pretratadas fue de 0,920. En relación con

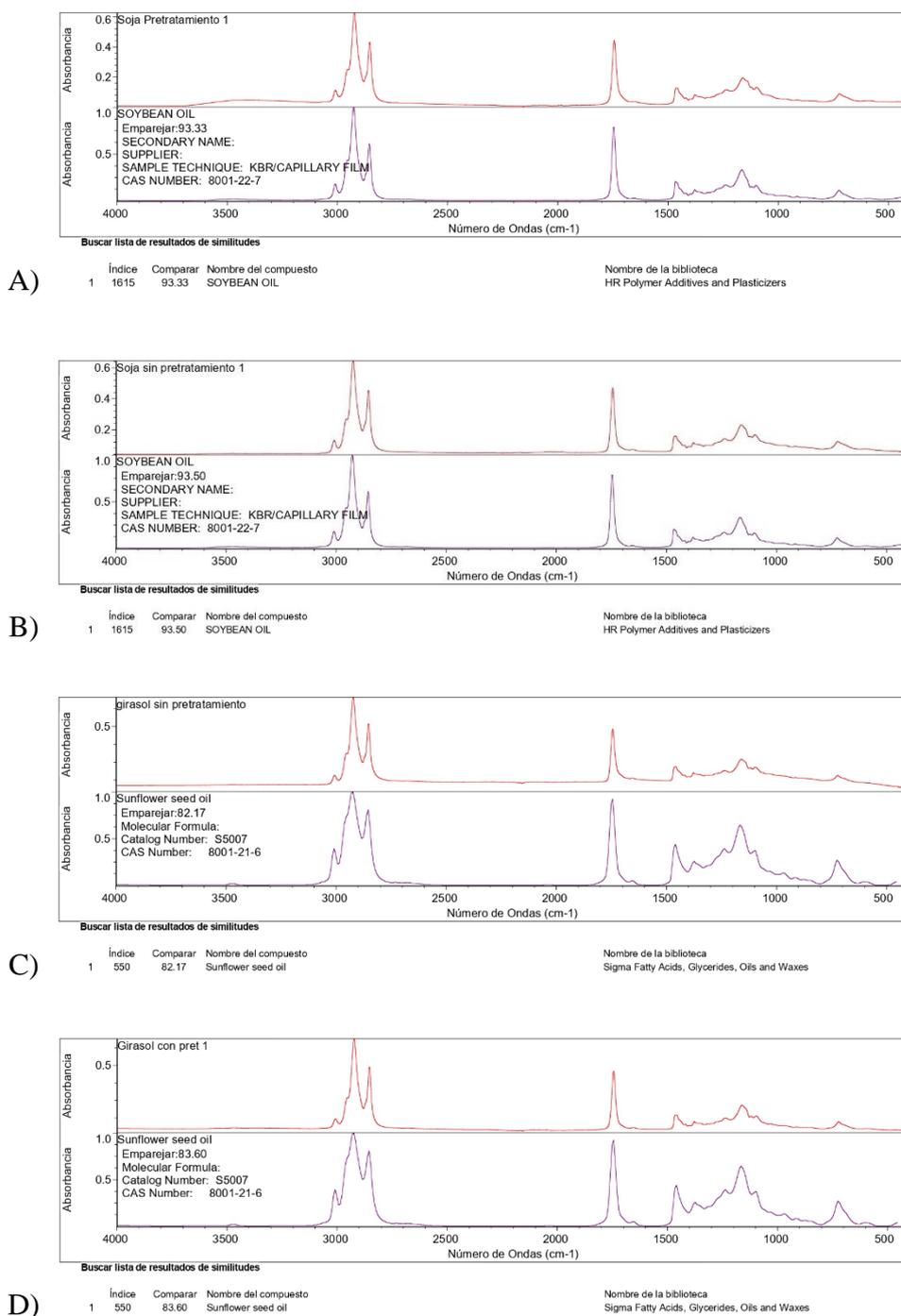
los datos descritos en la tabla y su comparación con los valores establecidos en la Normativa INEN 35, se puede evidenciar que la densidad relativa del aceite de semilla de girasol con y sin pretratamiento se encuentra dentro del rango permisible que establece la normativa. En estudios realizados por Hernández (2004), determinan una densidad relativa de (0,935 y 0,973). En otros hallazgos Myint (2022) con el mismo método de extracción registro una densidad relativa de (0,918 y 0,923) datos comparables a los valores determinados en este análisis y que cumplen con el rango aceptable de permisibilidad según la normativa descrita.

#### **4.4 ESPECTROS INFRARROJOS POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)**

Se generaron los espectros de los aceites de soja (*Glycine max L.*) y girasol (*Helianthus annus L.*) con y sin pretratamiento y se compararon con la base de datos de los espectros de ácidos grasos como lo muestra la figura 15.

**Figura 15**

*Espectros de los aceites obtenidos y su comparación con la base de datos.*



*Nota.* Espectros de los aceites con y sin pretratamiento. A) Espectro del aceite de semilla de soja pretratada – 93.33% de similitud. B) Espectro del aceite de semilla de soja no pretratada – 93.50% de similitud. C) Espectro del aceite de semilla de girasol no pretratada –

82.17% de similitud. D) Espectro del aceite de semilla de girasol pretratada – 83.60% de similitud. Fuente: Autoras.

Analizando los espectros obtenidos y comparándolos con estudios como los de Castorena, Rojas, Delgado, y Robles (2011) y de Naranjo, Dueñas, Caicedo y Castrillón (2015), se puede detectar en ambos aceites que los picos generados son característicos de los ácidos grasos, como el correspondiente a 3007 cm<sup>-1</sup>, el cual evidencia la presencia de =C–H de los alquenos presentes en las cadenas grandes del aceite. Asimismo, existe un pico entre 2800 a 3000 cm<sup>-1</sup> correspondiente a C-H. El pico en 1750 cm<sup>-1</sup> está asociado con los enlaces C=O o éster, característicos de los triglicéridos presentes en aceites.

Considerando que pueden existir partículas contaminantes o residuos de solvente en los aceites, se realizó una regresión lineal de diluciones conocidas de aceites puros y se evaluaron sus espectros, de esta manera determinó la concentración de los aceites; los resultados se encuentran resumidos en la tabla.

**Tabla 34**

*Cálculos de coeficiente de correlación (R<sup>2</sup>)*

|  |        |        |         |         |
|--|--------|--------|---------|---------|
| <b>Coefficiente de correlación (R<sup>2</sup>)</b> | 0.9684 |        | 0.9374  |         |
| <b>Semilla</b>                                     | Soja   | Soja   | Girasol | Girasol |
| <b>Presencia de pretratamiento</b>                 | SI     | NO     | SI      | NO      |
| <b>Concentración</b>                               | 94.33% | 94.67% | 84.80%  | 83.97%  |

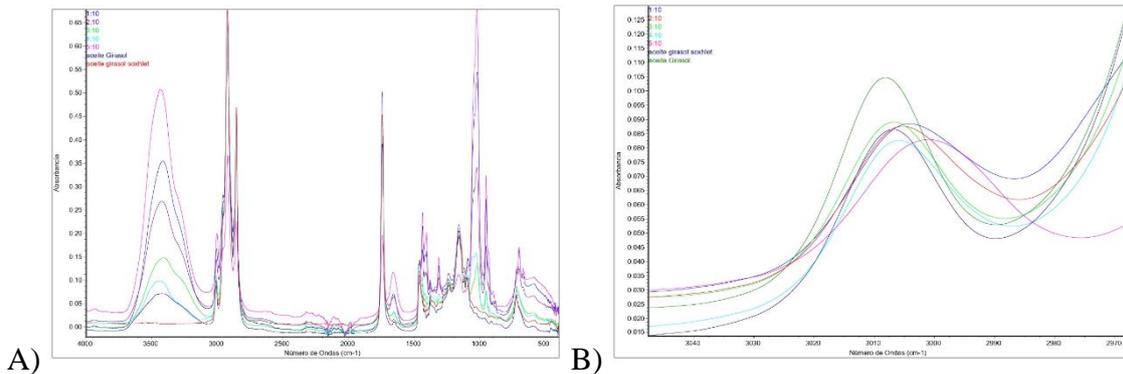
Fuente: Autoras.

Para evaluar los espectros de las diluciones conocidas se analizó el pico en 3006 cm<sup>-1</sup> ya que según López (2021) los picos asociados a ácidos grasos cis se encuentran en 3006 y 720 cm<sup>-1</sup>. Teniendo esto en cuenta se obtienen los espectros de todas las diluciones y se analizan

sus absorbancias y su correspondiente concentración; con estos datos se genera la regresión lineal.

**Figura 16**

*Espectros de las diluciones de aceite puro y DMSO.*



Nota: A) Espectros de las diluciones de DMSO y aceite de girasol. B) Espectros de las diluciones de DMSO y aceite de girasol en el pico 3006. Fuente: Autoras

En otros estudios como el de Machado, Henrique, y Flores (2018) ya se han realizado regresiones para determinar la concentración desconocida de sangre mediante diluciones; o de igual manera el estudio de Belskaya, Sarf, y Solomatin (2021) que mediante una metodología similar determina la concentración de azúcar en bebidas de soja.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

La extracción de aceites vegetales es considerada un factor esencial para las grandes y pequeñas industrias debido al impacto positivo que generan en cada una sus aplicaciones. Sin embargo, es importante tener en cuenta que, para garantizar un producto final de calidad y un buen rendimiento, es necesario implementar un manejo adecuado de los procesos. En este estudio se evaluó la eficacia de un pretratamiento de explosión por vapor para mejorar el rendimiento en la extracción de aceites de soja (*Glycine max*) y girasol (*Helianthus annuus*).

El pretratamiento consiste en someter a las semillas a altas temperaturas y presiones por un tiempo determinado. Para las semillas de girasol se realizó el pretratamiento a 140°C por un minuto y para las semillas de soja, por 4 minutos a la misma temperatura. De esta manera se trató de minimizar la pérdida de materia vegetal, pero mantener los beneficios del pretratamiento.

Se realizó un análisis fisicoquímico para determinar las características de los aceites finales y así evaluar si cumplen los requerimientos establecidos en las normas INEN. Para este análisis, los aceites se sometieron a pruebas de determinación del índice de refracción, acidez, yodo, peróxidos, densidad y saponificación. Los resultados se enmarcaron en los límites establecidos por las normas; sin embargo, algunos deben ser controlados para no exceder los límites y cambiar las características de los aceites.

En cuanto a la espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier - FTIR - los espectros de los aceites de soja con y sin pretratamiento tuvieron una similitud del 93.33% y 93.50% respectivamente con el espectro de la biblioteca virtual; y, por otro lado, los espectros de los aceites de girasol con y sin pretratamiento tuvieron 83.60% y 82.17% de similitud con

el aceite de girasol puro de la biblioteca virtual. Del mismo modo, tras realizar una regresión lineal con diluciones conocidas para determinar las concentraciones de los aceites obtenidos, se identificó que los aceites de girasol con y sin pretratamiento tenían una concentración de 84.80% y 83.97% y los de soja, una concentración de 94.33% y 94.67% respectivamente.

El análisis estadístico se realizó mediante las pruebas de Shapiro Wilks, ANOVA y Tukey para verificar si existe una normalidad y una diferencia significativa con los datos resultantes del experimento, de esta forma se determinó que sí existe una diferencia entre los datos de la presencia y ausencia de pretratamiento en la soja y que este proceso mejora el rendimiento de obtención de aceites. Sin embargo, para el girasol no hay diferencia entre los datos, por lo que el pretratamiento no se muestra como un método para el aumento del rendimiento de aceites en esta semilla.

El proceso de extracción de aceite de semillas de soja utilizando la técnica de explosión de vapor resultó exitoso al mejorar el rendimiento. Sin embargo, en el caso del girasol, el tratamiento no fue efectivo. Además, se observó una pérdida significativa de aproximadamente el 60% del material vegetal durante el pretratamiento. Este estudio abre nuevos campos de investigación para superar retos y plantear soluciones oportunas. La producción de aceites vegetales tiene gran demanda por lo que mejorar sus procesos de extracción sería de gran interés e importancia para la industria.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Mediante FTIR o cromatografía identificar y evaluar los contenidos de otros compuestos presentes en los aceites obtenidos tales como fenoles totales, tocoferoles, fitoesteroles, carotenoides, o terpenos (dependiendo del aceite) para determinar si su contenido se encuentra alterado debido al pretratamiento de explosión por vapor.

Se propone llevar a cabo una evaluación comparativa entre los aceites sin pretratamiento y los pretratados con el método de explosión por vapor para determinar la factibilidad de que estos últimos sean aplicados en la producción de biopolímeros.

Buscar métodos de recuperación del material vegetal perdido durante la explosión por vapor para someterlo a la extracción y mejorar el porcentaje de rendimiento de aceite. Estos métodos deben ser efectivos y de preferencia poco costosos para su aplicación en la industria.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abdo, E , Omayma , S & Hanem,M . (2022). Natural antioxidants from agro-wastes enhanced the oxidative stability of soybean oil during deep-frying. Doi: 10.1016/j.lwt.2022.114322
- Akkaya, M. R. (2018). Prediction of fatty acid composition of sunflower seeds by near-infrared reflectance spectroscopy. *Journal of food science and technology*, 55, 2318-2325.
- Anderson, G. (2021). Solvent Extraction. Lipid Library AOCS. Recuperado de: <https://lipidlibrary.aocs.org/edible-oil-processing/solvent-extraction>
- Anwar,K . (2016). Quantitative trait loci analysis of seed oil content and composition of wild and cultivated soybean. Recuperado de: <https://bmcpplantbiol.biomedcentral.com/articles/103.1186/s12870-019-2199-7>
- Arribas, J. I. (2018). *Sunflowers Growth and Development, Environmental Influences and Pests/Diseases*. New York: Nova publishers.
- Aryal, D. (2022). Soxhlet Extraction: Principle, Extraction procedure, and Apparatus. Recuperado de: <https://chemistnotes.com/organic/soxhlet-extraction-principle-extraction-procedure-and-apparatus/>
- Awatafic, I & Shaker,A. (2014). Quality Characteristics of High-Oleic Sunflower Oil Extracted from Some Hybrids Cultivated. Doi: <https://doi.org/10.1515/helia-2014-0010>
- Bandura, V, Fialkovska, L, Palvashova, A & Osadchuck, P . (2022). Investigation of properties of sunflower and rapeseed oils obtained by the soxhlet and microwave extraction methods. Recuperado de:

[https://dspace.emu.ee/bitstream/handle/10492/7362/2022\\_1\\_bandura.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://dspace.emu.ee/bitstream/handle/10492/7362/2022_1_bandura.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

Bel'skaya, L., Sarf, E., & Solomatin, D. (2021). Application of FTIR Spectroscopy for Quantitative Analysis of Blood Serum: A Preliminary Study. *Diagnostics*. doi:10.3390/diagnostics11122391

Benedí, J., Bastida, S., & Sánchez-Muniz, F. (2016). *Encyclopedia of Food and Health* (Benjamin Caballero ed.). Academic Press. doi:978-0-12-384953-3

Bermo, A. (2022). "Las Semillas de Soja". CODEBIO. Recuperado de: <http://www.codebio.es/materias-primas/soja/>

Bernard, M. (2020). Optimización del proceso de producción de materiales entrecruzados derivados de poliésteres insaturados a partir de aceites vegetales (soja). Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Córdoba.

Britannica, The Editors of Encyclopaedia. (30 de junio de 2023). Sunflower. Recuperado el Julio de 2023, de Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/plant/sunflower-plant>

Buchi, E. (2022). Five factors that influence solvent extraction rates. Recuperado de: <https://www.linkedin.com/pulse/five-factors-influence-solvent-extraction-rates->

Cañas, W. (2013). Plastificación interna con bioaceites epoxidados del ácido poliláctico (pla), para productos básicos procesados por inyección o extrusión. Facultad de Ingeniería Industrial, Bogotá.

Castorena-García, J. H.-L.-M. (2011). Análisis de Pulpa y Aceite de Aguacate con Espectroscopia Infrarroja. *Redalyc UAEMEX*, 5-10.

- Chathurika, W & Raja, R. (2018). "Soybean seed physiology, quality, and chemical composition under soil moisture stress". *Food Chemistry*.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.035>.
- Colón, S. (2023). Vegetable Oil. *Encyclopedia Britannica*. Recuperado de:  
<https://www.britannica.com/science/vegetable-oil>
- Dilipkumar, P. (2021). Chapter 130 - Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Seeds in Health and Nutrition. En P. Dilipkumar, *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention* (págs. 1097-1105). I: Academic Press.
- Divine, B & Foncha, A. (2020). "Optimization Methods for the Extraction of Vegetable Oils: A Review" *Processes* 8, no. 2: 209. <https://doi.org/10.3390/pr8020209>
- Doan, L. P., Nguyen, T. T., Pham, M. Q., Tran, Q. T., Pham, Q. L., Tran, D. Q., ... & Bach, L. G. (2019). Extraction process, identification of fatty acids, tocopherols, sterols and phenolic constituents, and antioxidant evaluation of seed oils from five Fabaceae species. *Processes*, 7(7), 456.
- Dukariya, G & Shah, S & Singh, G & Kumar, A. (2020). "Soybean and Its Products: Nutritional and Health Benefits". 1. 22-29. Recuperado de  
[https://www.researchgate.net/publication/343021410\\_Soybean\\_and\\_Its\\_Products\\_Nutritional\\_and\\_Health\\_Benefits](https://www.researchgate.net/publication/343021410_Soybean_and_Its_Products_Nutritional_and_Health_Benefits)
- Ejiofor, J. (2021). Effect of Variety on the Quality Parameters of Crude Soybean Oil. *American Journal of Food Science and Technology*, 9(3), 69-75.
- Evangelos, G. (2019). Analysis of 22 vegetable oils physico-chemical properties and fatty acid composition on a statistical basis, and correlation with the degree of unsaturation.

- Renewable Energy, Vol. 126, pp. 403-419. Recuperado de:  
[http://users.ntua.gr/vgiakms/pdf/Giakoumis\\_VEG\\_OILS%20properties.pdf](http://users.ntua.gr/vgiakms/pdf/Giakoumis_VEG_OILS%20properties.pdf)
- Eze, S. (2012). Physico-chemical properties of oil from some selected underutilized oil seeds available for biodiesel preparation, *African Journal of Biotechnology*:11 (42),10003-10007.
- FAO. 2019. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos. Roma
- Fielder, P. (2020). Vegetable Oils: ¿Where Do They Come From? Recuperado de:  
<https://www.gffoodservice.com.au/idea/vegetable-oils-where-do-they-come-from/#:~:text=Vegetable%20oils%20are%20created%20from,chemical%20extraction%20using%20a%20solvent.>
- Firdous, H. (2022). “Health Benefits Of Soybean, Uses And Its Side Effects”. Recuperado de:  
<https://www.lybrate.com/topic/benefits-of-soybean-and-its-side-effects>
- García, A. (2019). Obtención de aceites comestibles a partir de nuevas semillas de girasol enriquecidas en fitoesteroles. Universidad Pablo de Olavide, Sevilla.
- Gerde J & Blanco, P. (2019). “ Lipids”. *Soybeans: Chemistry, Production, Processing and Utilization*. 193.227.
- Girona, S. (2020). Soybean Oil Refined: Extraction Soxhlet. Product Data Sheet. Recuperado de: <http://nardev.com/UploadSection/ProdCat-74-1673499330.pdf>
- Gómez, G. (2003). Verification of purity of vegetable oils extracted with hexane using the Soxhlet method. Recuperado de: <https://ri.ues.edu.wv/id/eprint/5600/1/11126050.pdf>

- González Pérez, S. (2015). Sunflower Chemistry, Production, Processing, and Utilization. Academic Press and AOCS Press. doi:<https://doi.org/10.1016/C2015-0-00069-7>
- Hernández, R ( 2004). Chemical-physical aspects of sunflower oil. Recuperado de: <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA146633525&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=02540525&p=IFME&sw=w&userGroupName=anon%7E66b56d4b&aty=open+web+entry> <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0326.2012.15.042>
- Isik, E., & Izli, N. (2015). Physical Properties of Sunflower Seeds (*Helianthus annuus* L.). International Journal of Agricultural Research, 2, 677-686.
- Jeoh, T. (2018). Steam Explosion Pretreatment of Cotton Gin. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Jiang, P. (2012) . Analysis of edible oil species using the grease refractive index
- Josey, L. (2020). Soxhlet Extractor. Chembam. Recuperado de: <https://chembam.com/definitions/soxhlet-extractor/>
- Kady, S (2019). Effect of refining on the physical and chemical properties of sunflower and soybean oils. Polithecnica. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/236622161.pdf>
- Kumar, N & Singh, Y. (2021). Properties and Uses of Vegetable Oils. Food Science and Technology. Recuperado de : <https://novapublishers.com/shop/properties-and-uses-of-vegetable-oils/>

- Lafont, J, Durango, L & Aramendiz, H. (2014). Chemical study of the oil obtained from seven varieties of soybean (*glycine max* l.). Recuperado de: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642014000200009](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642014000200009)
- Lamas, D. (2014). Changes in quality and composition of sunflower oil during enzymatic degumming process. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.02.024>
- Leonard, M. (2023). Extraction Methods for Vegetable Oils. Recuperado de: [https://naturalbeautyworkshop.com/my\\_weblog/2009/05/extraction-methods-for-vegetable-oils.html?doing\\_wp\\_cron=1690065532.4293909072875976562500](https://naturalbeautyworkshop.com/my_weblog/2009/05/extraction-methods-for-vegetable-oils.html?doing_wp_cron=1690065532.4293909072875976562500)
- López, M. (2021). Determinación de ácidos grasos trans en aceites, aplicando la espectroscopia del mediano infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR). El Instituto Politécnico Nacional.
- Machado, A., Henrique, F., & Flores, M. (2018). Determination of Total Sugar Content in Soy-Based Drinks Using Infrared Spectroscopy and Chemometrics. *Food Analytical Methods*, 1986–1993. doi:<https://doi.org/10.1007/s12161-018-1170-9>
- Mallqui, L. A., Canchumanya, M. L. B., Papa, H. A. R., & Paucar, G. N. R. (2023). Estudio comparativo de características fisicoquímicas y composición de ácidos grasos de aceites de semilla de calabaza (*Cucurbita ficifolia* B), semilla de zapallo (*Cucurbita maxima* D.) y soya (*Glycine max*) durante el tratamiento térmico. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*.
- Maxi, J. (2019). Establecer la influencia de tratamientos térmicos para la obtención de ácidos grasos. Recuperado de: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18220>
- Mero, M, Tuarez, M & Rosa, S. (2021). Oxidative stability of sunflower oil in different

- Montenegro, J & Perneth, G. (2019). Diseño del proceso de obtención de una resina alquídica elaborada a base de aceites vegetales a nivel laboratorio en Sigra S.A. Facultad de Ingenierías. Bogota.
- Muhammad, H , Tahir,M & Humera, R. (2021). Untapped Soybeans: A Genetic Reservoir for its Improvement. Genetic Improvement. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822137-2.00008-4>
- Mustafa, G. (2016). Variaciones de características de calidad entre extracciones de aceites de diferentes variedades de soja. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2015.10.002>
- Myint, L (2022). Densities of Vegetable Oils and Fatty Acids. Recuperado de: [https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1016&context=chemeng\\_biomaterials](https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1016&context=chemeng_biomaterials)
- Nadan, M & Glavac, N. (2022). Statistical FT-IR Spectroscopy for the Characterization of 17 Vegetable Oils. Recuperado de: <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/10/3190>
- Naranjo, J., Dueñas, Y., Caicedo, O., & Castrillón, A. (2015). Evaluación de propiedades fisicoquímicas de aceite de girasol ( *Helianthus annuus* ) adicionado con extracto de achiote ( *Bixa orellana* ) durante calentamiento en horno microondas. Perspectivas en Nutrición Humana. doi:<https://doi.org/10.17533/udea.penh.v17n2a02>
- Orozco, M. (2022). ¿Qué pasa con el precio del aceite en Ecuador? Primicias. Recuperado de: <https://www.primicias.ec/noticias/economia/que-pasa-con-el-precio-del-aceite-en-ecuador>

- Petraru, A., Ursachi, F., & Amariei, S. (17 de Noviembre de 2021). Nutritional Characteristics Assessment of Sunflower Seeds, Oil and Cake. Perspective of Using Sunflower Oilcakes as a Functional Ingredient. *Plants - Basel*. doi:10.3390/plants10112487
- Peyman, M (2019). Comparison of three different methods for detection of corn and sunflower oils in adulterated sesame oil. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/figure/Saponification-values-of-sunflower-oil-mixed-with-the-sesame-oil-in-different\\_fig1\\_335397436](https://www.researchgate.net/figure/Saponification-values-of-sunflower-oil-mixed-with-the-sesame-oil-in-different_fig1_335397436)
- Qin, P & Wang, T& Yangchao, L. (2022). “A review on plant-based proteins from soybean: Health benefits and soy product development”, *Journal and Agriculture Food*, Vol. 7. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100265>
- Reixach, S. (2020). A Study of Degradation in Vegetable Oils by Exposure to Sunlight Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy. Recuperado de: [https://www.scirp.org/pdf/msa\\_2020102115560264.pdf](https://www.scirp.org/pdf/msa_2020102115560264.pdf)
- Reyna, H. (2018). “Comparación de dos biopolímeros, una a base almidón y goma xantán”. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de San Carlos Guatemala.
- Road, L. (2019). *The Introduction to Soxhlet Extraction*. Hawach Scientific. Recuperado de: <https://www.hawachfilterpaper.com/the-introduction-to-soxhlet-extraction/>
- Rohman, A.(2019). Infrared spectroscopy for quantitative analysis and oil parameters of olive oil and virgin coconut oil: A review Recuperado de: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10942912.2016.1213742>
- Rojas Ramos, K. M. (2019) *Obtención y extracción de aceites vegetales*. Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle, Lima, Perú.

- Romanic, R. (2020). Evaluación de la estabilidad oxidativa de nuevos aceites de girasol prensados en frío durante pruebas aceleradas de estabilidad térmica. *Tecnología de la ciencia de los alimentos*. 42:e67320. doi: 10.1590/fst.67320
- Saanu, B., & Oluranti, O. (2020). Oilseed crop sunflower (*Helianthus annuus*) as a source of food: Nutritional and health benefits. *Food Science and Nutrition*, 4666–4684.
- Saha, A & Mandal, S. (2019). "Nutritional Benefit of Soybean and Its Advancement in Research", *Sustainable Food Production*, Vol. 5, pp. 6-16. Doi: <https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/SFP.5.6>
- Sánchez, F., Bastida, S., & Benedí, J. (2021). Sunflower Oil. *Encyclopedia of Food and Health*, 217-226.
- Schoch CL, et al. NCBI Taxonomy: a comprehensive update on curation, resources and tools. *Database (Oxford)*. 2020: baaa062. PubMed: 32761142 PMC: PMC7408187.
- Shea, Z & William, M. (2019). "Soybean Production, Versatility, and Improvement". *Legume Crops*. Recuperado de: <https://www.intechopen.com/chapters/71498>
- Singh, R. (2023). "Soybean: uses, benefits, side effects". Recuperado de <https://pharomeasy.in/blog/ayurveda-uses-benefits-side-effects-of-soybean/>
- Singh, R. (2018). FTIR Analysis. *Scientific*. Recuperado de: <https://rtilab.com/techniques/ftir-analysis/#>
- Solórsano Castro. (2019). Estudio de tres fuentes de proteína vegetal, *Lens culinaris* (Lenteja), *Cicer arietinum* (Garbanzo) y *Glycine max* (Soja) en sustitución parcial de la proteína animal). *Quevedo. UTEQ*. 98 p.

storage conditions. DOI: [https://doi.org/10.339836/la\\_tecnica.v0i26.4108](https://doi.org/10.339836/la_tecnica.v0i26.4108)

Subroto, E, Aldil,D & Vitra,P. (2020). Characteristics, Purification, and the Recent Applications of Soybean Oil in Fat-Based Food Products: A Review. Department of Food Industrial Technology, Doi: <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/20872020>

Sun, L , Wang, F & Zheng,X. (2020). Evaluation of Soybean Oil Quality and Establishment of a Predictive Model to Identify Suitable Soybean Varieties for Oil Processing. Authorea. Doi: 10.22541/au.158398051.10561722

Szpunar, K & Wondolowska, A. (2022). Quality Evaluation Indices for Soybean Oil in Relation to Cultivar, Application of N Fertiliser and Seed Inoculation with *Bradyrhizobium japonicum*. Food Chemistry. Doi: 10.3390/foods11050762

Toscano, G & Maldini, E. (2020) “ANALYSIS OF THE PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF VEGETABLE OILS AS FUEL”, Journal of Agricultural Engineering, 38(3), pp. 39–47. doi: 10.4081/jae.2007.3.39

Tupac, A. (2020). Características y Propiedades de la Soja. Universidad Nacional San Agustín Arequipa, Perú.

Turgut, N., Martínez, E., & Salas, J. (2021). Chapter 5 - High-oleic sunflower seed oil. In F. J., High Oleic Oils (pp. 109-124). India: Academic Press and AOCS Press.

Vásquez, C. (2022). “Importancia de la Soja (*Glycine max*) en la Industria Alimentaria”. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Vasyl, P., Andriy, T., Liudmyla , K., Yuliia, H., & Valeria, B. (2023). Profiling and geographical distribution of seed oil content of sunflower in Ukraine. Oil Crop Science, 111-120.

- Verduga, D (2014). Application of soybean oil obtained by mechanical method in the development of industrial processes. Recuperado de: <https://repositorio.espm.edu.ec/bitstream/42000/426/1/TESIS%20PROJECT%20SOYBEAN%20DE%20EXTRACTION%20.REN%c3%89-RUBEN%2012-11-2014.pdf>
- Walsh, M .( 2019). Immobilized enzyme technology for food applications . Technology Food . Doi: 10.1201/9781439823873.ch4
- Weigal, K & Walko, L. (2020). Soybean Oil Offers Performance and Sustainability . PCI Industry. Recuperado de: <https://www.pcimag.com/articles/107136-soybean-oil-offers-performance-and-sustainability>
- Yang, J., Vardar, U., Remko, B., Johannes, B., & Constantinos, N. (2023). Extraction of oleosome and protein mixtures from sunflower seeds. Food Hydrocolloids.
- Yu, G.(2020). Preparation of high- quality concentrated fragrance flaxseed oil by steam explosion pretreatment technology. Food Science . Doi: <https://doi.org/10,1002/fsn3.1505>
- Zahia G, Moussa, S & Smain, C . (2019). Vegetable Oils an Fats: Extraction, Composition and Applications. Green Chemistry and Sustainable Technology . Doi: [http://dx.doi.org/10.1007/978-981-13-3810-6\\_12](http://dx.doi.org/10.1007/978-981-13-3810-6_12)
- Zhang, M., Wang, O., Cai, S., Zhao, L., & Zhao, L. (2023). Composition, functional properties, health benefits and applications of oilseed proteins: A systematic review. Food Research International.

Ziegler-Devin, I., Chrusciel, L., & Brosse, N. (2021). Steam explosion pretreatment of lignocellulosic biomass: a mini-review of theoretical and experimental approaches. *Frontiers in Chemistry*, 860.

## ANEXOS

### Anexo 1. Proceso de recuperación del solvente.



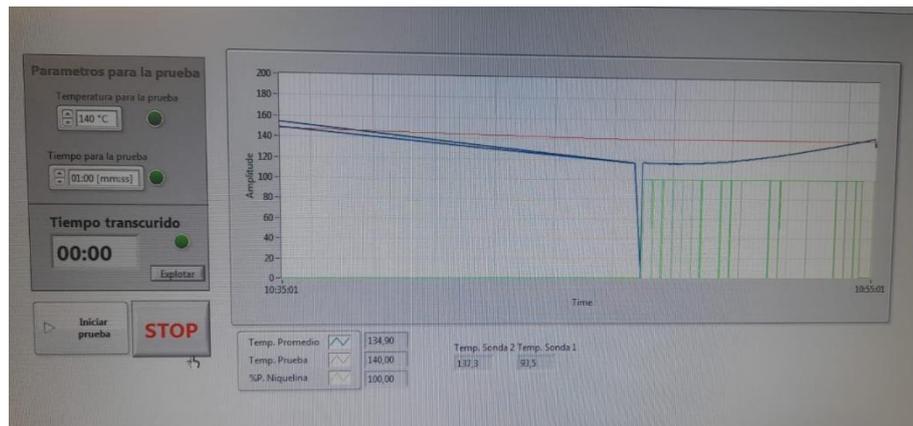
Fuente: Autoras.

### Anexo 2. Molido del material vegetal



Fuente: Autoras.

### Anexo 3. Condiciones para el pretratamiento de explosión por vapor.



Fuente: Autoras.

#### Anexo 4. Prueba de Shapiro-Wilks

```
R 4.2.2 . ~/
> # Realizar la prueba de Shapiro-wilk
> resultado_pretratado <- shapiro.test(grupo_pretratado)
> resultado_sin_pretratar <- shapiro.test(grupo_sin_pretratar)
> resultado_pretratado <- shapiro.test(grupo_pretratado)
> shapiro.test(grupo_pretratado)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  grupo_pretratado
W = 0.81524, p-value = 0.1514

> shapiro.test(grupo_sin_pretratar)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  grupo_sin_pretratar
W = 0.98684, p-value = 0.7804
```

Fuente: Autoras.

#### Anexo 5. Prueba ANOVA y Tukey

```
> # Realizar el ANOVA
> modelo_anova <- aov(Rendimiento ~ Grupo, data = datos)
> # Obtener los resultados del ANOVA
> resultado_anova <- summary(modelo_anova)
> summary(modelo_anova)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Grupo      1  18.691  18.691   45.22 0.00255 **
Residuals  4   1.653   0.413
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> # Realizar la prueba de Tukey
> TukeyHSD(modelo_anova)
      Tukey multiple comparisons of means
      95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Rendimiento ~ Grupo, data = datos)

$Grupo
          diff      lwr      upr      p adj
sin pretratar-Pretratado -3.53 -4.987456 -2.072544 0.0025485
```

Fuente: Autoras.