



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA**

EVALUACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE LINAZA (*LINUM  
USITATISSIMUM L.*) UTILIZANDO COMO PRETRATAMIENTO LA TÉCNICA DE  
EXPLOSIÓN DE VAPOR

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Biotecnólogo

AUTOR: CARLOS RAÚL ANDRADE ÁVILA  
TUTORA: DRA. INÉS PATRICIA MALO CEVALLOS, PHD.

Cuenca - Ecuador  
2023

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Yo, Carlos Raúl Andrade Ávila con documento de identificación N° 0350010450, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo 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, 02 de marzo del 2023

Atentamente,



---

Carlos Raúl Andrade Ávila

0350010450

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

Yo, Carlos Raúl Andrade Ávila con documento de identificación N° 0350010450, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Trabajo experimental: “Evaluación de la extracción de aceite de semillas de linaza (*Linum usitatissimum* L.) utilizando como pretratamiento la técnica de explosión de vapor”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Biotecnólogo, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Cuenca, 02 de marzo del 2023

Atentamente,



---

Carlos Raúl Andrade Ávila

0350010450

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Inés Patricia Malo Cevallos con documento de identificación N° 0102291044, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EVALUACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE LÍNAZA (*LINUM USITATISSIMUM L.*) UTILIZANDO COMO PRETRATAMIENTO LA TÉCNICA DE EXPLOSIÓN DE VAPOR, realizado por Carlos Raúl Andrade Ávila con documento de identificación N° 0350010450, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 02 de marzo del 2023

Atentamente,



---

Dra. Inés Patricia Malo Cevallos, PhD.

0102291044

## **DEDICATORIA**

A mi Alejita, a quién recuerdo todos los días

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis papás, por darme más de lo que merezco.

A mis abuelos, por apoyarme más de lo que pedí, sin que pidiese nada.

A mis profesores desde primero hasta décimo, por tanto conocimiento... y tanta paciencia.

A mis tíos y mis primos, por darme un hogar.

A mis amigos.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	7
<b>ABSTRACT</b>	8
<b>CAPÍTULO 1</b>	9
1.1 Introducción	9
1.2 Antecedentes	10
1.3 Pregunta de investigación	11
1.4 Justificación	11
1.5 Objetivos	12
1.5.1 General:	12
1.5.2 Específicos:	12
1.6 Hipótesis	13
1.6.1 Hipótesis Alternativa	13
1.6.2 Hipótesis Nula	13
<b>CAPÍTULO 2</b>	14
<b>MARCO TEÓRICO</b>	14
2.1 Estado de arte	14
2.2 Bases teóricas	14
2.3 Linaza ( <i>Linum usitatissimum</i> L.)	15
2.3.1 Origen	15
2.3.2 Descripción botánica	15
2.3.3 Taxonomía	16
2.3.4 Composición química	16
2.3.5 Perfil nutricional	17
2.3.6 Proteínas	19
2.3.7 Hidratos de carbono	20
2.3.8 Carbohidratos	20
2.3.9 Fibras dietéticas	20
2.3.10 Lignanos	21
2.3.11 Vitaminas y minerales	21
2.3.12 Lípidos	22
2.3.13 Clasificación de los lípidos	23
2.3.14 Péptidos	24
2.3.15 Ácidos grasos	25
2.3.15.1 Ácidos grasos saturados	26
2.3.15.2 Ácidos grasos insaturados	27
2.3.15.2.2 Ácidos grasos monoinsaturados	28
2.3.15.2.2 Ácidos grasos poliinsaturados	28
2.4 Aceites vegetales	29
2.5 Extracción del aceite	30
2.5.1 Extracción sólido - líquido	30

2.6 Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)	30
2.7 Explosión por vapor	31
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>32</b>
3.1 Nivel de investigación	32
3.2 Diseño de investigación	32
3.3 Población y muestra	33
3.3.1 Población	33
3.3.2 Muestra	33
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	33
3.4.1 Obtención de la materia prima	33
3.4.2 Explosión por vapor	34
3.4.3 Separación de residuos líquidos del material pretratado	34
3.4.4 Pesado	34
3.4.5 Molienda	35
3.4.6 Extracción	35
3.4.7 Obtención (rota vapor)	35
3.4.8 Almacenamiento	36
3.5 Métodos de manejo estadístico de datos	36
3.6 Procedimientos experimentales	37
3.6.1 Extracción del aceite esencial de linaza ( <i>Linum usitatissimum</i> L.) por extracción por solventes (Soxhlet)	37
3.6.1.1 Reactivos y sustancias	37
3.6.1.2 Materiales y equipos	37
3.6.1.3 Procedimiento	37
3.6.2 Determinación del índice de refracción	38
3.6.2.1 Materiales y equipos	39
3.6.2.2 Procedimiento	39
3.6.3 Determinación de la acidez del aceite	39
3.6.3.1 Materiales y equipos	40
3.6.3.2 Reactivos	40
3.6.3.3 Procedimiento	40
3.6.4 Determinación del índice de saponificación	40
3.6.4.1 Materiales y equipos	41
3.6.4.2 Reactivos	41
3.6.4.3 Procedimiento	41
3.6.5 Determinación del índice de yodo	42
3.6.5.1 Materiales y equipos	43
3.6.5.2 Reactivos	43
3.6.5.3 Procedimiento	43
3.6.6 Determinación del índice de peróxidos	44
3.6.6.1 Materiales y equipos	44
3.6.6.2 Reactivos	45
3.6.6.3 Procedimiento	45
3.6.7 Determinación de la densidad relativa	46



3.6.7.1 Materiales y equipos	46
3.6.7.2 Reactivos	46
3.6.7.3 Procedimiento	46
<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>48</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>48</b>
4.1 Extracción del aceite de la semilla de linaza	48
4.2 Caracterización de los extractos de las semillas linaza	50
4.2.1 Índice de refracción	50
4.2.2 Densidad relativa	51
4.2.3 Índice de acidez	52
4.2.4 Índice de saponificación	53
4.2.5 Índice de yodo	54
4.2.6 Índice de peróxidos	55
4.2.7 Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)	57
<b>CAPÍTULO 5</b>	<b>59</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>59</b>
5.1 Conclusiones	59
5.2 Recomendaciones	59
<b>REFERENCIAS</b>	<b>61</b>

## RESUMEN

Hoy en día, las técnicas de extracción tradicionales como el Soxhlet continúan utilizándose como métodos de extracción más económicos debido a sus grandes ventajas. Sin embargo, estas metodologías tienen varios inconvenientes, como largos tiempos de extracción y la necesidad de grandes cantidades de solvente. La linaza se ha convertido en un alimento primordial al ser una semilla oleaginosa con un gran aporte de ácidos grasos poliinsaturados reduciendo el LDL y aumentando el HDL. Sin embargo, el rendimiento de aceite de las semillas de linaza tiene porcentajes bajos por lo que en cuanto a su consumo y su producción es poco aprovechada; a partir de esto, se están explorando nuevos métodos de extracción de aceite de linaza para aumentar los rendimientos y mejorar la calidad del aceite. El objetivo de esta investigación es aplicar el pretratamiento de explosión de vapor a las semillas de linaza para determinar si existe un rendimiento mayor en el porcentaje de aceite. La extracción se realizó por el método sólido-líquido Soxhlet y el porcentaje de aceite obtenido de las semillas si pretratamiento fue de 28,91% mientras que el porcentaje de aceite obtenido con las semillas pretratadas fue un 77,5% mayor con un rendimiento del 50,69%.

## **ABSTRACT**

Today, traditional extraction techniques such as Soxhlet continue to be used as the most economical extraction methods due to their great advantages. However, these methodologies have several drawbacks, such as long extraction times and the need for large amounts of solvent. Flaxseed has become a prime food as an oilseed with a high supply of polyunsaturated fatty acids reducing LDL and increasing HDL. However, the oil yield of flaxseed has low percentages so that in terms of consumption and production is little exploited; from this, new methods of flaxseed oil extraction are being explored to increase yields and improve the quality of the oil. The objective of this research is to apply steam explosion pretreatment to flaxseed to determine if there is a higher yield in oil percentage. The extraction was carried out by the solid-liquid Soxhlet method and the percentage of oil obtained from the seeds without pretreatment was 28.91% while the percentage of oil obtained with the pretreated seeds was 77.5% higher with a yield of 50.69%.

# CAPÍTULO 1

## 1.1 Introducción

La biotecnología ha avanzado enormemente en los últimos años. Su implementación en varios sectores de la industria permitió un constante progreso de la misma con objetivos de producción industrial a través de la experimentación y alteración genética de los reactivos biológicos. Estos adelantos en la industria han generado diversas dificultades sobre todo en los países en vía de desarrollo, donde aún existen limitaciones tecnológicas que encarecen las vías de aprovechamiento de los recursos biológicos mediante inversión económica. La biotecnología actual, debe poner especial hincapié en cuanto al impacto de esta con el ambiente y la salud humana, debe evitar la biopiratería avalando la seguridad de sus productos, los efectos del libre comercio y la explotación indiscriminada de la biodiversidad (Ortega –Ante, 2020).

Desde 1940 en Ecuador se presenta un menor impacto en las empresas aceites a pesar de contar con una gran presencia de recursos naturales proclives a la industria principalmente en la región costa lo que ha permitido una mayor interacción con el mercado internacional (Negrete, J., & Valencia, J; 2018). Los aceites vegetales no solo son un recurso renovable respetuoso con el medio ambiente, sino que también ofrecen diferentes composiciones de ácidos grasos para diferentes aplicaciones. No solo son comestibles, sino que también se utilizan cada vez más en aplicaciones industriales como pinturas, lubricantes, jabones y biocombustibles (Kumar et al., 2016).

La linaza es uno de los principales alimentos estudiados por sus posibles relaciones con el cáncer de mama, aunque principalmente en estudios con animales de laboratorio y pocos estudios clínicos (Calado et al., 2018). Además, existe amplia evidencia de que la linaza (*Linum usitatissimum*) tiene varios beneficios para la salud, incluida la reducción del riesgo de cáncer y enfermedades cardiovasculares. Los ácidos grasos están involucrados en estos

beneficios de la linaza (Hu et al., 2019).

La finalidad del presente estudio es evaluar el pretratamiento de explosión de vapor previo a la obtención de aceite de las semillas de linaza (*Linum usitatissimum*) con el objetivo de determinar si este proceso influye en el porcentaje de aceite obtenido.

## **1.2 Antecedentes**

Las especies vegetales existentes en el territorio ecuatoriano, además de generar y abarcar propiedades nutricionales de gran importancia para la sociedad, poseen la capacidad de desarrollar compuestos fitoquímicos, como los aceites esenciales. Los cuales son utilizados en diferentes áreas de la industria, otorgando un valor agregado al producto final.

Yu y colaboradores (2020), en su investigación titulada “Preparación de aceite de linaza con fragancia concentrada de alta calidad mediante tecnología de pretratamiento por explosión de vapor” indicaron que la extensión del rango de presión de explosión de vapor aumentó el rendimiento del aceite de linaza, mejoró el contenido de micronutrientes, fortaleció significativamente la estabilidad a la oxidación y controló los índices de riesgo de seguridad alimentaria.

Según Ojeda, (Noguera & Ojeda, 2017) en su artículo titulado: “LA LINAZA (*Linum usitatissimum* L.) Y SU PAPEL NUTRACEÚTICO” afirman que con la semilla de linaza se puede producir harina y extracción de aceites. En las últimas décadas se han realizado diversos estudios con *Linum usitatissimum* L. debido a que los compuestos presentes en su semilla han demostrado un potencial bioactivo como el ácido  $\alpha$ -linolémico, la fibra y los lignanos.

Según Solís (2018), en su trabajo de investigación titulado: “Extracción y microencapsulación de aceite de linaza (*Linum usitatissimum*) para la adición en una matriz alimenticia” ha demostrado que el rendimiento obtenido de la semilla de linaza fue de un 32% de aceite y de un 64% de torta (residuos sólidos de poco valor) siendo el eje del embrión

el 4% del peso total restante de la semilla de lino.

Según Maxi (2019), en su trabajo de titulación titulado: “Establecer la influencia de tratamientos térmicos para la obtención de ácidos grasos a partir de la linaza (*Linum usitatissimum*)” demuestra que para las semillas sin tratamiento (ST) el linolenato de metilo fue el componente con mayor predominancia con 88,61%, en cuanto al tratamiento con calor húmedo (V) el elemento de mayor abundancia fue el ácido  $\alpha$ -linoleico con un 88,25%, para el tratamiento con calor seco (H) fue el ácido linoleico con 88,35%, mientras que con alta frecuencia (MO) fue el linolenato de metilo con un 88,85%.

### **1.3 Pregunta de investigación**

¿El tratamiento al que se somete la semilla de linaza antes de la extracción de su aceite influye en el rendimiento de este?

### **1.4 Justificación**

La producción mundial de linaza en 2020 fue de 3'367,331 toneladas, cosechadas en una superficie de 3'540,139 hectáreas siendo el rendimiento promedio de 1 tonelada por hectárea con Asia como el mayor productor mundial con el 46.4% seguido por Europa con el 28,5%. Entre 2019 y 2020 hubo un incremento en la producción de linaza de un 9.5%; además, el promedio de variación interanual para el periodo 2011-2020 fue de 6,8%, comparado con el 1,1% que se tuvo entre 2001 y 2010. Por otra parte, la producción mundial de aceite de linaza en 2019 fue de 738,940 toneladas, siendo un 48,56% superior a las 497,385 toneladas producidas en 2008 (FAOSTAT, 2020).

Según Condori & Mateo (2018) la extracción de aceite de semillas oleaginosas presenta varias desventajas como una baja eficiencia del proceso y la destrucción térmica de algunos compuestos con alto valor nutricional como lo son vitaminas, polifenoles y otros antioxidantes. La morfología de la semilla, composición, baja solubilidad de compuestos lipídicos respecto a solventes y la elevada temperatura necesarias para separar las grasas de

proteínas y carbohidratos son varias de las causas del bajo rendimiento de la extracción cuando se trabaja por prensado o por extracción sólido-líquido.

Herrera (2018), en su trabajo de titulación titulado “Influencia del aceite de linaza maleinizado (MLO) en la reología del polímero ácido poliláctico (PLA) para aplicaciones de impresión 3D” demuestra la utilidad del aceite de linaza en la industria mecánica al obtener un polímero natural a partir de este.

Debido a que casi todas sus partes se utilizan para diversos fines (Tandon et al., 2021) y que el aceite de linaza que representa el 40% del peso de su semilla es un aceite comestible demandado como suplemento dietético debido a sus múltiples beneficios para la salud (Frag et al., 2021) la linaza (*Linum usitatissimum*) se ha convertido en un alimento primordial para tratar un gran número de enfermedades proveyendo una gran cantidad de ácidos grasos poliinsaturados, reduciendo las lipoproteínas de baja densidad (LDL) y aumentando las lipoproteínas de alta densidad (HDL). Debido a estas propiedades se busca aplicar nuevas técnicas y protocolos para la extracción del aceite de semillas de linaza con la finalidad de aumentar el rendimiento y calidad del aceite (Maxi Jarrin, 2019).

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 General:**

- Evaluar el proceso de la extracción de aceite de semillas de linaza (*Linum usitatissimum L.*) determinando su eficacia.

### **1.5.2 Específicos:**

- Obtener el aceite esencial de linaza (*Linum usitatissimum L.*) con el pretratamiento de explosión de vapor evaluando la eficiencia de la misma.
- Analizar el aceite obtenido a partir de las semillas de linaza (*Linum usitatissimum L.*) por medio de técnicas de laboratorio para caracterizarlo.

- Comparar los resultados obtenidos del aceite con y sin pretratamiento de explosión por vapor a través de modelos estadísticos determinando su eficiencia.

## **1.6 Hipótesis**

### **1.6.1 Hipótesis Alternativa**

El pretratamiento de explosión por vapor que se le da a la materia prima influye en el rendimiento y en las características fisicoquímicas del aceite esencial de linaza (*Linum usitatissimum L.*).

### **1.6.2 Hipótesis Nula**

El pretratamiento de explosión por vapor que se le da a la materia prima no influye en el rendimiento ni en las características fisicoquímicas del aceite esencial de linaza (*Linum usitatissimum L.*).



## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Estado de arte**

Se han realizado diversas investigaciones sobre varios factores estudiados que puedan interferir en la calidad y el rendimiento del aceite de linaza. Varios de los factores más importantes estudiados son la densidad relativa del aceite, el índice de yodo, índice de peróxidos y la temperatura óptima para su estabilidad. Algunas investigaciones analizaron la composición de ácidos grasos y las propiedades físico - químicas del aceite de linaza obteniendo los siguientes resultados: el índice de yodo entre 170 y 196, índice de saponificación entre 178 y 191, índice de peróxidos entre 0,256 y 1,80, densidad entre 0,874 y 0,931, índice de refracción entre 1,478 y 1,482. El ácido linolénico representa un porcentaje de 49% siendo el de más presencia en el aceite de linaza (Herchi et al., 2016; Maxi Jarrin, 2019).

#### **2.2 Bases teóricas**

La semilla de linaza se ha convertido en una materia prima muy valiosa para las industrias que participan en el mercado mundial e incluso se puede convertir en un cultivo a escala industrial. El interés por la "química verde" y la promoción de polímeros biodegradables puede crear una gran demanda de aceite de linaza que sea altamente insaturado como sustrato industrial para la producción de precursores y polioles utilizados en la industria química (Kolodziejczyk et al., 2012).

Yu y colaboradores (2020), en su investigación aplicada al pretratamiento de la explosión de vapor a la semilla de linaza demostraron que el rendimiento del aceite era de un 77,5% cuando la presión de explosión de vapor alcanzó los 1,2 MPa. Así mismo, La composición de ácidos grasos del aceite de linaza producido por explosión de vapor a 1,2 MPa de

pretratamiento contenía: ácido palmítico (4,32%), ácido esteárico (5,46%), ácido oleico (19,36%), ácido linoleico (13,48%) y ácido linolénico (57,45%).

Por otra parte Yi y colaboradores (2017), en su investigación sobre el efecto del tratamiento de explosión de vapor sobre la composición de ácidos grasos del aceite de semilla de linaza mostraron que el rendimiento del aceite de linaza aumentó significativamente después de la explosión de vapor. Con las condiciones óptimas de extracción, el rendimiento del aceite de linaza fue del 43,88 % que fue 1,17 veces mayor que el del aceite de linaza sin tratar. Los resultados de la cromatografía de gases mostraron que el aceite de semilla de linaza era rico en ácidos grasos insaturados, y el contenido de ácido linolénico en el aceite era del 81,28 %, superior al 77,41 % del aceite sin tratar.

### **2.3 Linaza (*Linum usitatissimum* L.)**

#### **2.3.1 Origen**

Se cultivó por primera vez en Mesopotamia posiblemente su uso sea anterior a la agricultura (Devine, 2016).

#### **2.3.2 Descripción botánica**

El lino (*Linum usitatissimum* L.) es un importante cultivo de semillas oleaginosas el cual se cultiva principalmente en climas templados. Además de contar con muchas aplicaciones comerciales, la linaza también se utiliza como una especie fibrosa o para la alimentación del ganado (Saleem et al., 2020). El lino es la planta que produce las semillas de linaza a través de sus flores azules. Esta planta tiene un tallo con forma cilíndrica y hueco, crece de 7 a 12 cm y es usada comúnmente para la confección de prendas de ropa. Su semilla posee abundante ácido  $\alpha$ -linólico, fibra soluble y fitoestrógenos; tienen forma ovalada con el borde puntiagudo y mide de 4 a 6 mm (Wiesenborn et al., 2003).

### 2.3.3 Taxonomía

Según (ITIS, 2016) la linaza (*Linum usitatissimum L.*) tiene la siguiente clasificación taxonómica:

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la linaza (*Linum usitatissimum L.*)

<b>Reino</b>	Plantae
<b>Sub Reino</b>	Viridiplantae
<b>Infra Reino</b>	Streptophyta
<b>Super División</b>	Embryophyta
<b>División</b>	Tracheophyta
<b>Sub División</b>	Spermatophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Super Orden</b>	Rosanae
<b>Orden</b>	Malpighiales
<b>Familia</b>	Lináceas
<b>Género</b>	Linum L.
<b>Especie</b>	Usitatissimum L.

### 2.3.4 Composición química

La semilla de linaza está formada por sustancias ricas en grasa vegetal como el omega 3 ( $\omega$ -3) principalmente, también está formada por fibra dietética y otros nutrientes que la hacen distintiva de otras semillas oleaginosas como el girasol y la canola (López, 2010). Generalmente la semilla de linaza es rica en ácidos grasos AG. Por ser una planta oleaginosa puede estar compuesta hasta de un 40% de aceite, siendo 95% de este aceite insaturado. De este 95% el 55% son Ácidos grasos de la familia de la omega 3 ( $\omega$ -3), así mismo, la fibra dietética compone un 27% de la semilla de linaza, las proteínas son el 20% y tiene un 2% de antioxidantes entre los que encontramos fitoestrógenos, especialmente lignanos (Flax

Council of Canada, 2007). Los cotiledones son el principal tejido con la capacidad de almacenar aceite. Está compuesto por 98% de triacilgliceroles y se localizan en glóbulos de aceite de 1.3  $\mu\text{m}$  de diámetro (Solís Acosta, 2018).

Las semillas de linaza son muy ricas en ácidos grasos, las semillas café oscuras son ricas principalmente en ácido alfa-linoleico el cual es uno de los compuestos de mayor importancia en la familia omega 3 ( $\omega$ -3); por otro lado, las semillas con un color amarillento presenta dos variedades siendo la primera de estas producida en los Estados Unidos y denominada omega ( $\omega$ ) la cual al igual que las semillas café oscuras es rica en ácido alfa-linoleico; la segunda variedad de semillas amarillas es denominada “solin” y se usa en la producción de mantequilla por tener baja cantidad de ácido alfa-linoleico (López, 2010).

### **2.3.5 Perfil nutricional**

Los principales compuestos bioactivos de la linaza son el ácido  $\alpha$ -linolénico (ALA), los lignanos y la fibra dietética. Cuatro formas comunes de linaza que pueden ser consumidas por humanos incluye linaza entera, linaza molida, aceite de linaza y harina de linaza parcialmente desgrasada (Parikh et al., 2019). Las semillas de linaza tienen un alto valor nutricional gracias a las sustancias que contienen (Sargi et al., 2013). El ácido alfa-linoleico, que es un compuesto de la familia  $\omega$ -3; el secoisolariciresinol diglucósido (SDG), establecido como lignano vegetal y la fibra soluble, son componentes importantes de esta semilla que tienen ciertos beneficios para la salud (Betty et al., 2017).

El SDG, que se encuentra principalmente en la linaza, es uno de los lignanos esenciales. El SDG combinado con una composición beneficiosa de ácidos grasos y un alto contenido de fibra, hicieron de la linaza una fuente importante de alimentos funcionales e ingredientes nutraceuticos (Kezimana et al., 2018). En la siguiente tabla se encuentran varios de los efectos que tiene el SDG sobre el organismo:

Tabla 2. Beneficios para la salud del diglucósido de secoisolariciresinol (SDG)

Beneficios para la salud	Efectos
Efectos sobre el sistema cardiovascular	Disminución de la tasa de formación de trombos
	Disminución de la aterosclerosis
	Reducción del colesterol sérico y hepático y de los niveles de colesterol LDL
Actividad antidiabética	Aumento de la función del endotelio vascular
	Supresión o ralentización de la progresión y regresión de la aterosclerosis
	Efectos protectores en un modelo de hipertensión arterial pulmonar (HAP) inducido por monocrotalina
	Reducción de HbA1C en participantes con diabetes tipo 2
	Disminución de las concentraciones de insulina y leptina
	Retraso en la aparición de la diabetes en un 80%
Efectos anticancerígenos	Reducción de la incidencia de tumores mamarios
	Reducción de las estructuras de yema terminal en la glándula mamaria
	Disminución de la expresión de células de cáncer de colon humano COLO 201 en ratones atómicos
	Disminución del nivel de antígeno prostático específico y proliferación celular
	Supresión de la proliferación, migración y metástasis de las células cancerosas
Efectos sobre el estrés mental	Reducción del cortisol plasmático y pequeño aumento de los niveles de fibrinógeno plasmático durante el estrés mental
	Efecto antidepresivo de la linaza SDG
Efectos sobre el sistema reproductivo	Reducción del peso relativo de los ovarios inmaduros y retraso en la pubertad

Fuente: (Kezimana et al., 2018)

### **2.3.6 Proteínas**

Las semillas de linaza se infravaloran como fuente de proteínas a pesar de contener aproximadamente un 22% de proteína compuesta de niveles nutricionalmente equilibrados de aminoácidos además de poder liberar péptidos bioactivos que son fisiológicamente beneficiosos tras la digestión (Marambe et al., 2013). Estas proteínas están concentradas principalmente en los cotiledones de la semilla (Rabetafika et al., 2011). Por otro lado Daun y colaboradores (2003), y, Hall y colaboradores (2006), afirman que el contenido de proteínas de la linaza varía entre 22.5 y 31.6 %; de este porcentaje el 77% representa el contenido de globulinas mientras que el 27 % representa a las albúminas. Kajla et al., (2015) afirma que la proteína de linaza contiene niveles abundantes de aminoácidos como ácido glutámico, metionina, arginina, cisteína y ácido aspártico, junto con pequeñas cantidades de lisina, treonina y tirosina. Además, sostiene que varias condiciones de procesamiento afectan el contenido final de proteína de los productos de linaza. Asimismo, la linaza no es una fuente completa de proteína dietética (porque carece de ciertos aminoácidos esenciales como la lisina), pero la contribución de estas proteínas benéficas y compuestos bioactivos (principalmente péptidos) y su potencial de suplemento nutricional ha recibido mucha atención en la literatura.

La digestibilidad de la proteína de la linaza depende de si esta está aislada en forma pura o presente con otros componentes de la dieta (mucílago, aceite, etc.). Los extractos de proteínas son altamente digestibles (coeficiente de valor de digestibilidad del 89,6%). El procesamiento de la linaza para eliminar el aceite y el mucílago, concentrando así la proteína, mejoró la digestibilidad in vitro de la misma (Marambe et al., 2013). Además, Martinchik et al., (2012) menciona que la proteína de la linaza también tiene un valor biológico relativamente alto de 77,4%.

### **2.3.7 Hidratos de carbono**

Los azúcares solubles tienen una proporción muy baja en las semillas de linaza, estas van del 1 al 2% y se encuentra dentro del grupo de la fibra dietética (Daun et al., 2003). El mucílago es parte de la capa cerosa en la superficie de la linaza. Son de interés los carbohidratos higroscópicos, que son mezclas de fracciones de polisacáridos ácidos y neutros (Elboutachfaiti et al., 2017).

### **2.3.8 Carbohidratos**

Existe desacuerdo en la investigación nutricional sobre el contenido de carbohidratos de la linaza y si este grupo de ingredientes funcionales hace una contribución significativa a la nutrición fisiológica general a través de la ingesta dietética (Dzuvor et al., 2018). Kajla (2015) informa que el contenido de carbohidratos de la linaza es cercano al 29%. Por otro lado, Bernacchia (2014) afirma que los polisacáridos de linaza tienen dos componentes principales, ramnogalactrano y arabinoxilano. El ramnogalactran es un polisacárido ácido que consta de ácido L-fucótico, L-ramnosa, ácido D-galacturónico y D-galactosa, y representa aproximadamente el 25 % de los polisacáridos contenidos en la linaza. Los arabinoxilanos, por otro lado, son neutros, compuestos por arabinosa, galactosa y xilosa, y representan el 75% de los polisacáridos de la linaza. (Bernacchia et al., 2014; Kajla et al., 2015)

### **2.3.9 Fibras dietéticas**

La fibra y los compuestos fenólicos (ácidos fenólicos, flavonoides, lignanos) constituyen la mayor parte de la composición de la linaza. El mucílago de linaza soluble se usa ampliamente como ingrediente alimentario, como estabilizador en jugos de frutas y vegetales, o como ingrediente para prevenir la sinéresis y mejorar la textura de los productos lácteos (Rabetafika et al., 2011).

### 2.3.10 Lignan

La linaza, por otro lado, contiene aproximadamente de 75 a 800 veces más lignanos que otros granos (Kajla et al., 2015). La lignina más común que se encuentra en la linaza es el diglucósido secoisolariciresinol (Johnsson et al., 2000).

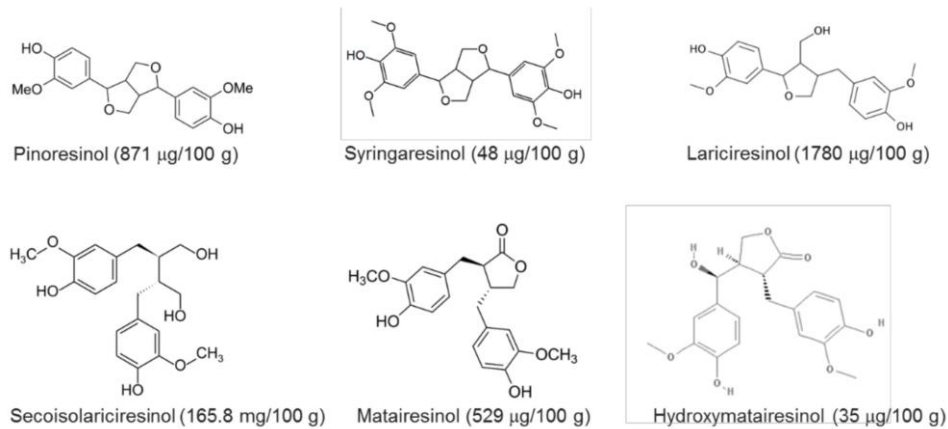


Figura 1. Cantidades y estructuras químicas de los lignanos en la linaza

Fuente: (Dzuvor et al., 2018)

Sok (2009) y Kajla (2015) mencionan que estos fitoestrógenos están asociados con varias propiedades que mejoran la salud, incluidas las enfermedades cardíacas y hepáticas, la protección contra la osteoporosis y los carcinógenos y la reducción del colesterol plasmático. Además, Korkina (2011) afirma que también se han estudiado las actividades antiinflamatorias y antioxidantes de los lignanos de linaza *in vitro* e *in vivo*. (Kajla et al., 2015; Korkina et al., 2011; Sok et al., 2009)

### 2.3.11 Vitaminas y minerales

Además de sus componentes principales, la linaza también es una fuente importante de micronutrientes como vitaminas, minerales y compuestos fenólicos. Entre las vitaminas, los tocoferoles (las tres formas:  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ ) y las niacinas se encuentran en cantidades abundantes en la linaza. Se han reportado alrededor de 0,039% de vitamina E en la linaza (Bernacchia et al., 2014; Kajla et al., 2015), y también está bien documentado su papel en la salud humana (propiedades antioxidantes, protección contra la hipertensión, enfermedades



cardíacas y la enfermedad de Alzheimer). La linaza contiene grandes cantidades de potasio (5,6% a 9,2%). cantidades significativas de calcio (0,25 %), magnesio (0,40 %), fósforo (0,65 %) y trazas de sodio (0,027 %). Alto contenido de potasio significa que la linaza protege contra los accidentes cerebrovasculares, promueve la eliminación de radicales libres e inhibe la formación de plaquetas (Carter, 1993; Morris et al., 2005).

### **2.3.12 Lípidos**

Los lípidos se consideran componentes esenciales del tejido adiposo y, junto con los carbohidratos y las proteínas, forman los componentes estructurales más importantes de las células. Desempeñan un papel importante en la nutrición al proporcionar ácidos grasos esenciales [AGEs] y calorías, transportar vitaminas liposolubles y mejorar las propiedades organolépticas de los alimentos (Arias Nuñuvero & Lopez Carranza, 2015). Estructuralmente, los lípidos se caracterizan por tener cadenas largas con predominio de hidrógeno y carbono debido a que son relativamente pobres en oxígeno y por ello adquieren hidrofobicidad (Durán Córdova, 2014).

Dentro del grupo de los lípidos se encuentra la grasa, que es una mezcla de triglicéridos, también llamados triacilglicéridos [TG]. Se componen de una molécula de glicerol y tres moléculas de ácidos grasos [AG]. La principal diferencia entre ellos radica en la estructura de los ácidos grasos, que difieren en el número de dobles enlaces y, por tanto, en el número de átomos de carbono. Estas grasas incluyen grasas visibles como la grasa de la carne, el aceite de oliva y la mantequilla, así como las grasas invisibles que se encuentran en el pescado, las nueces y la leche (Carbajal Azcona, 2013).

Los lípidos son uno de los componentes funcionales de alta calidad de la linaza. De todos los lípidos de la linaza, los componentes principales son el ácido  $\alpha$ -linoleico con alrededor del 53 %, seguido del ácido oleico con aproximadamente el 19 %, el ácido linoleico con 17 %, el ácido palmítico 5 % y el ácido esteárico 3% (Bernacchia et al., 2014; Riediger et al.,

2008). El aceite obtenido de la linaza contiene un porcentaje muy alto de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados (aproximadamente el 91%) y una pequeña cantidad de ácidos grasos saturados (alrededor del 9%). Los altos niveles de ácidos grasos insaturados son una de las razones por las que la linaza se considera un importante agente para mejorar la salud (Dubois et al., 2007).

Como componentes básicos de las membranas celulares, los lípidos juegan un papel importante en la salud humana y la función cerebral. El cerebro es muy rico en lípidos y el deterioro de la homeostasis de los lípidos se asocia con neuropatía y enfermedades neurodegenerativas como la enfermedad de Alzheimer. El envejecimiento está asociado con cambios en la composición lipídica. Se han encontrado alteraciones de ácidos grasos a nivel de balsas lipídicas y peroxidación lipídica cerebral en las primeras etapas de la enfermedad de Alzheimer. Los factores genéticos y ambientales, como el estado de transporte de apolipoproteínas y lípidos y los niveles de lípidos en la dieta, están asociados con la enfermedad de Alzheimer (Kao et al., 2020).

Para los vegetarianos, la linaza es una fuente importante de ácidos grasos omega-3, por lo que se han sugerido productos que contienen linaza y sus derivados como suplementos dietéticos en una variedad de dietas (Singh et al., 2011).

### **2.3.13 Clasificación de los lípidos**

Según Horianski y colaboradores (2016), los lípidos pueden clasificarse en: lípidos saponificables y no saponificables.

Los lípidos saponificables poseen ésteres, un alcohol y uno o más ácidos grasos en su estructura y se caracterizan porque, como su nombre lo indica, pueden sufrir saponificación la cual consiste en la hidrólisis básica de un éster para obtener un alcohol y una sal del ácido carboxílico. Los lípidos insaponificables son los que no poseen ácidos grasos o ésteres en su estructura y, por lo tanto, no pueden sufrir saponificación. Dentro de este

grupo sobresalen las prostaglandinas, terpenos y esteroides (Sanhueza Catalán et al., 2015).

Por otro lado, López (2010) da a conocer que los lípidos se encuentran divididos en tres grupos que se los diferencian de acuerdo a su estructura química

*Tabla 3. Clasificación de los lípidos*

<b>Lípidos simples</b>	Grasas Aceites Ceras
<b>Lípidos compuestos</b>	Fosfolípidos Flucolípidos Lipoproteínas
<b>Compuestos asociados</b>	Ácidos grasos Pigmentos Vitaminas liposolubles Esteroles Hidrocarburos

*Fuente: (López, 2010)*

#### **2.3.14 Péptidos**

La linaza también es una de las fuentes de péptidos cíclicos llamados ciclolinopéptidos y, hasta la fecha, se han identificado más de 25 de estos péptidos en la linaza. Por ejemplo, se ha demostrado que el péptido bioactivo ciclolinopéptido A y sus derivados tienen actividad antipalúdica (Bell et al., 2000), actividad inmunosupresora (Morita et al., 1999) y actividad para la salud ósea a través de la inhibición de la diferenciación de osteoclastos (Kaneda et al., 2016).

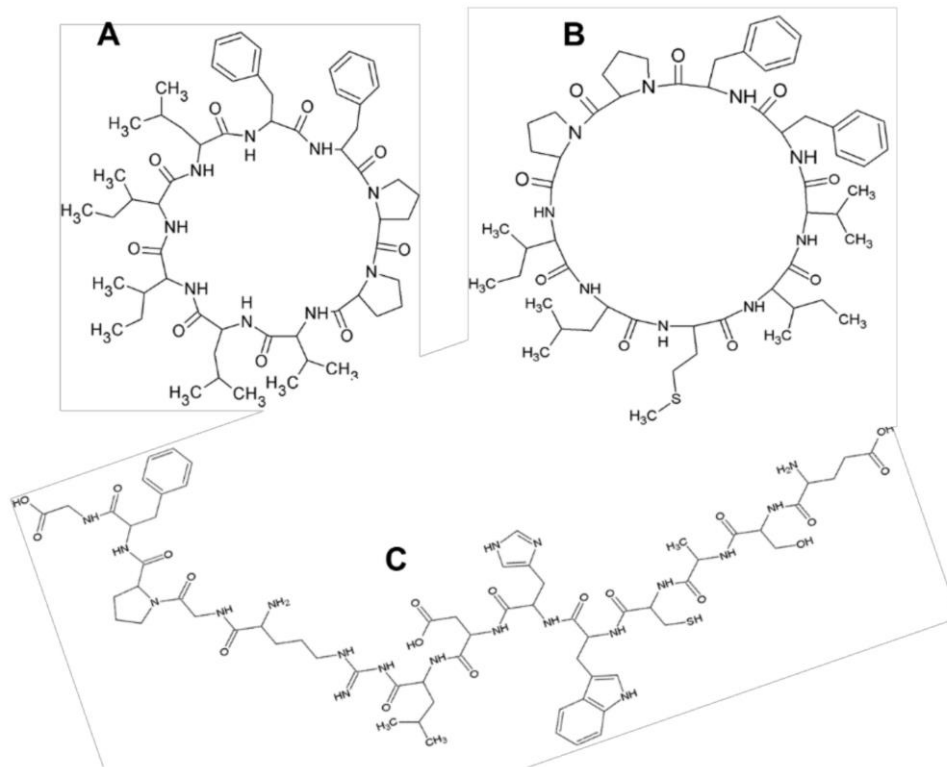


Figura 2. Estructuras químicas de algunos péptidos de linaza. ( A ) Ciclolino péptido-A; ( B ) ciclolino péptido-B; ( C ) péptido antioxidante derivado de alcalasa.

**Fuente:** (Dzuvor et al., 2018)

### 2.3.15 Ácidos grasos

Estructuralmente, los ácidos grasos son cadenas hidrocarbonadas con un grupo metilo en un extremo y un grupo carboxilo en el otro, estos pueden contener dobles enlaces que se consideran insaturados. Los ácidos grasos son solubles en disolventes no polares e insolubles en agua (Durán Córdova, 2014). Por otra parte, Ayerza (2019) menciona que los ácidos grasos generalmente tienen entre 4 y 22 átomos de carbono y se definen por la longitud de la cadena y la presencia de insaturación en el ácido graso, que define a las grasas como líquidos o sólidos. (Ayerza, 2019)

Lawrence (2010) sostiene que los ácidos grasos son uno de los lípidos más simples que hay. Asimismo, que los ácidos grasos forman parte también de lípidos complejos como los triglicéridos y los fosfolípidos. El carbono próximo al grupo carboxilo se llama carbono  $\alpha$ ,

el siguiente carbono se llama carbono  $\beta$ , y así sucesivamente hasta el último átomo de carbono llamado omega ( $\omega$ ) (Rustan & Drevon, 2005).

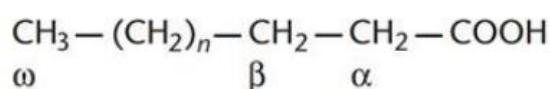


Figura 3. Estructura química de los ácidos grasos

Fuente: (Rodríguez et al., s.f.)

Según la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC por sus siglas en inglés), los ácidos grasos se clasifican según el número de átomos de carbono y el número y posición de los dobles enlaces. No hay dobles enlaces en la estructura de los ácidos grasos saturados. Estos se describen químicamente por la fórmula general R-COOH (FAO, 2008).

### 2.3.15.1 Ácidos grasos saturados

Los ácidos grasos saturados se encuentran en las grasas animales y algunas grasas vegetales como los aceites de palma y coco (Zamora & Hidalgo, 2004). La principal fuente de ácidos grasos volátiles de cadena corta proviene de la fermentación de carbohidratos no digeribles por parte de la microbiota intestinal. Los más comunes son el ácido acético, el ácido propiónico y el ácido butírico (den Besten et al., 2013; Ríos-Covián et al., 2016).

Tabla 4. Clasificación de los ácidos grasos saturados según el tamaño de su cadena.

Tamaño de la cadena	Número de átomos
Corta	3-7
Mediana	8-13
Larga	14-20
Muy larga	21 o más

Fuente: (FAO, 2008)

En la tabla cinco se muestran los ejemplos más comunes de ácidos grasos saturados.

Tabla 5. Ácidos grasos saturados más comunes

Nombre	Abreviación	Fuente de origen
Ácido fórmico Ácido acético	C1:0 (AF) C2:0 (AA2)	Fermentación de carbohidratos no digeribles por la microbiota intestinal.
Ácido propiónico	C3:0 (AP3)	Productos lácteos fermentados, Leche.
Ácido butírico Ácido caproico Ácido caprílico Ácido cáprico Ácido láurico	C4:0 (AB) C6:0 (AC6) C8:0 (AC8) C10:0 (AC10) C12:0 (AL12)	Grasa de leche Grasa de leche de cabra Grasa de leche, aceite de coco y almendra de palma Aceite de coco y almendra de palma
Ácido mirístico	C14:0 (AM)	Grasa de leche, aceite de coco y almendra de palma
Ácido palmítico Ácido esteárico Ácido araquídico Ácido behénico Ácido lignocérico	C16:0 (AP16) C18:0 (AE) C20:0 (AA20) C22:0 (AB) C24:0 (AL24)	Aceite de pescado Grasas vegetales Aceite de cacahuete

Fuente: (Al-Lahham et al., 2010; FAO, 2008; Lobb & Chow, 2007)

### 2.3.15.2 Ácidos grasos insaturados

Los ácidos grasos insaturados reciben su nombre porque tienen dobles enlaces en su estructura, y cuantos más dobles enlaces, más insaturados. La presencia de dobles enlaces limita la movilidad de la cadena (Rustan & Drevon, 2005). A nivel trófico, juegan un papel importante en los organismos. Dado que el organismo no puede producirlo por sí mismo, debe obtenerse de una fuente externa para poder sintetizarlo (Ortíz & Dorantes, 2010; Tabio et al., 2017).

Horianski y colaboradores (2016), y Solís Acosta (2018) establecen que dentro de los ácidos grasos insaturados los más comunes son el ácido alfa linolénico, ácido linoleico, ácido oleico, ácido palmitoleico, ácido eicosapentaenoico y el ácido araquidónico.

Los ácidos grasos insaturados a su vez se dividen en dos: los ácidos grasos

monoinsaturados (solo un enlace doble) y poliinsaturados (más de un enlace doble).

### 2.3.15.2.2 Ácidos grasos monoinsaturados

Estos ácidos grasos son considerados de los más importantes dentro de los alimentos de origen animal y vegetal encontrándose de manera abundante en el aceite de oliva, ya que ayuda a la prevención de enfermedades cardiovasculares por la capacidad que tienen de disminuir el colesterol lipoproteínas de baja densidad (LDL) que es calificado como malo y aumentar el colesterol lipoproteínas de alta densidad (HDL) calificado como bueno (Sánchez Sánchez & León, 2013).

Tabla 6. Ácidos grasos monoinsaturados

Nombre	Abreviatura	Fuente de origen
Ácido palmitoleico	16:1 $\Delta$ 9c (AP)	Aceites marinos, animales y vegetales, nuez de macadamia
Ácido oleico	18:1 $\Delta$ 9c (AO)	Aceite de oliva, canola, girasol y cártamo
Ácido cis-vaccénico Ácido gadoleico	18:1 $\Delta$ 11c (AV) 20:1 $\Delta$ 9c (AG9) 20:1 $\Delta$ 11c (AG11)	Aceites vegetales Aceites marinos
Ácido erúcico Ácido nervónico	22:1 $\Delta$ 13c (AE) 24:1 $\Delta$ 15c (AN)	Semilla de mostaza y de colza Aceites marinos

Fuente: (FAO, 2008)

### 3.3.15.2.2 Ácidos grasos poliinsaturados

Se clasifican de acuerdo a donde ocupa el primer doble enlace en relación al carbono omega ubicado dentro de la estructura de la cadena. Son reconocidos tres tipos de ácidos grasos poliinsaturados: omega 3 ( $\omega$ -3), omega 6 ( $\omega$ -6) y omega 9 (Sanhueza Catalán et al., 2015).

Los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) solo los producen las plantas y el fitoplancton. Los PUFA son esenciales para todos los organismos, incluidos los mamíferos y los peces. Los ácidos grasos omega-3 y omega-6 son las familias más importantes para el consumo y los beneficios para la salud humana (Rustan & Drevon, 2005).

Tabla 7. Aceites poliinsaturados omega 3 ( $\omega$ -3) y omega 6 ( $\omega$ -6).

Nombre	Abreviatura	Fuente de origen
Ácido $\alpha$ -linolénico	18:3n-3 (ALA)	Linaza, perilla, canola y soya
Ácido estearidónico	18:4n-3 (SDA)	Pescado, soya, semilla de grosella negra y cáñamo
Ácido linoleico	18:2n-6 (LA)	Vegetales
Ácido $\gamma$ -linolénico	18:3n-6 (GLA)	Semilla de grosella, onagra y borraja.
Ácido eicosapentaenoico	20:5n-3 (EPA) S	Salmón, arenque, anchoa y caballa
Ácido araquidónico	20:4n-6 (AA)	Hígado, pescado, huevo y grasas animales.
Ácido docosapentaenoico	22:5n-3 (DPA3)	Salmón, arenque, anchoa y caballa
Ácido docosahexaenoico	22:6n-3 (DHA)	
Ácido docosatetraenoico	22:4n-6 (DTA)	Menor composición en tejidos animales
Ácido docosapentaenoico	22:5n-6 (DPA6)	Menor composición en tejidos animales

Fuente: (FAO, 2008)

## 2.4 Aceites vegetales

Los aceites son ésteres formados por la combinación de glicerol y ácidos grasos. Son compuestos más estables, no se disuelven en agua, no se descomponen fácilmente y son menos densos que el agua. Pueden deteriorarse químicamente con el tiempo debido a un proceso oxidativo, también conocido como ranciedad. Este es uno de los principales factores que alteran la calidad de los aceites grasos (Chamorro Zárata et al., 2016; Flax Council of Canada, 2014).

Por otra parte, Arango (2011) y Nour (2018) mencionan que los aceites vegetales son productos de origen natural que se encuentran en estado líquido a una temperatura de 20 °C,



estos son obtenidos a partir de semillas o frutos mediante procesos como el prensado, la extracción por solventes o una combinación ambas técnicas.

## **2.5 Extracción del aceite**

### **2.5.1 Extracción sólido - líquido**

La extracción sólido-líquido es la técnica más simple para aislar carbohidratos bioactivos e involucra la transferencia de masa de solutos desde una matriz sólida a un solvente. El principal solvente utilizado para la extracción de carbohidratos es el agua (Farrán et al., 2015).

La extracción sólido-líquido tiene la ventaja de bajos costos de capital y rendimientos razonables. Los principales inconvenientes de utilizar estos métodos son los laboriosos procesos de purificación y las lentas tasas de transferencia de masa. Especialmente cuando se extraen carbohidratos de la linaza, estrategias como aumentar el área de superficie son obstáculos para la extracción (Dzuvor et al., 2018).

Según Caldas (2012) a la hora de elegir un solvente, debe ser el más adecuado para lograr un rendimiento óptimo y obtener las propiedades deseadas. Este solvente debe tener las ciertas características, tales como:

- Debe tener una presión de vapor baja
- Densidad baja
- Baja inflamabilidad y toxicidad
- Bajo coste
- Tensión superficial baja
- Debe ser fácil de recuperar

## **2.6 Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)**

Se trata de una técnica basada en la generación de bandas de reflexión de varios grupos funcionales que se encuentran en el material a tratar. Teniendo en cuenta que la espectroscopia FTIR dispone de una amplia biblioteca para comparar aceites vegetales, ácidos grasos, alimentos, productos farmacéuticos, etc., por lo tanto, se puede utilizar para identificar diferentes tipos de aceites vegetales.

## **2.7 Explosión por vapor**

Este es un proceso hidro-mecánico el cual ha sido utilizado para la ruptura del material lignocelulósico en fragmentos pequeños e incrementando la digestibilidad del sustrato en la deslignificación química o biológica. En este proceso se alcanzan altas presiones, entre 0.3 y 4.5 Mpa, y temperaturas entre 160 y 260 °C en un periodo de tiempo entre los 15 y 25 minutos. Se puede además calentar y enfriar el sustrato de forma inmediata aprovechando así la hemicelulosa antes de su degradación (Oliva Domínguez, 2003; Sánchez y Cardona, 2005).

## CAPÍTULO 3

### 3.1 Nivel de investigación

La metodología propuesta para este trabajo es experimental e investigativa. La parte investigativa se realizará en la fase I a través de la revisión bibliográfica acerca de las cualidades de la semilla de la linaza (*Linum usitatissimum L.*). En la fase II se llevará a cabo el enfoque experimental con el cual se analizarán las variables óptimas para generar un mayor rendimiento en la obtención del aceite esencial de linaza. En la fase III se procederá con el enfoque cuantitativo que delimitará el porcentaje de rendimiento obtenido utilizando el pretratamiento de explosión por vapor de la materia prima.

### 3.2 Diseño de investigación

Se establecieron tres fases para el estudio preciso de la investigación, mismas que cuentan con un cronograma de actividades que requieren una duración de 400 horas de trabajo independiente.

#### Fase I

Revisión bibliográfica de la técnica de explosión por vapor y de los métodos usados para la obtención del aceite esencial de linaza (*Linum usitatissimum L.*). Aquí se lleva a cabo la identificación de las características del aceite esencial de la semilla de linaza (*Linum usitatissimum L.*) y la clasificación de la información.

#### Fase II

Establecer y realizar la metodología óptima para la obtención del aceite esencial de linaza (*Linum usitatissimum L.*). Seguido a esto, se determinarán las variables influyentes en el rendimiento final del aceite esencial.

### **Fase III**

Aquí se analizará el rendimiento porcentual del aceite para determinar las variables óptimas y establecer la influencia del pretratamiento de explosión por vapor. Posterior a esto se realizarán pruebas de laboratorio para la caracterización del aceite obtenido y finalmente se realizará espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) para conocer la composición fisicoquímica del aceite. Al final y como conclusión, se discuten los resultados obtenidos que permitirá verificar si es posible desarrollar la “Evaluación de la extracción de aceite de semillas de linaza (*Linum usitatissimum L.*) utilizando como pretratamiento la técnica de explosión de vapor”.

### **3.3 Población y muestra**

#### **3.3.1 Población**

La linaza (*Linum usitatissimum L.*) obtenido del Mercado 9 de Octubre. El total adquirido será de 10 libras.

#### **3.3.2 Muestra**

Se someten a la explosión de vapor 300 g de linaza (*Linum usitatissimum L.*), posteriormente se utilizan 30 g de linaza pretratada en la extracción con el método Soxhlet.

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.4.1 Obtención de la materia prima**

La linaza se compra en la ciudad de Cuenca de la provincia del Azuay, en el Mercado 9 de Octubre que se encuentra en las siguientes coordenadas S= 2°53'43" y W= 79°0'4"

### 3.4.2 Explosión por vapor

Se procederá a realizar el pretratamiento de explosión por vapor (*steam explosion*) a 300 g de semillas de linaza.



Figura 4. Equipo de explosión de vapor

Fuente: Autor

### 3.4.3 Separación de residuos líquidos del material pretratado

Las semillas de linaza (*Linum usitatissimum L.*) salen del proceso de explosión por vapor muy húmedas por lo que hay que separar la parte líquida y la parte sólida.

### 3.4.4 Pesado

En esta etapa se utilizará la balanza analítica para saber el peso final de la parte sólida de la semilla producto del pretratamiento.

### 3.4.5 Molienda

Como se realizará un análisis comparativo entre el aceite esencial con pretratamiento y el aceite sin pretratamiento es recomendable triturar el material vegetal no pretratado para así aumentar la superficie de contacto que habrá entre el solvente y la muestra.



*Figura 5. Muestra de linaza molida.*

Fuente: Autor

### 3.4.6 Extracción

Durante esta etapa se desarrollará la extracción del aceite esencial de la linaza (*Linum usitatissimum L.*) a través del método Soxhlet usando al hexano como solvente.

### 3.4.7 Obtención (rota vapor)

Se destilará el hexano utilizado para recuperarlo y así obtener solamente el aceite esencial de la linaza.



*Figura 6. Equipo rota vapor*

Fuente: Autor

### **3.4.8 Almacenamiento**

Esta es la etapa final, se almacenará el aceite esencial en frascos ámbar considerando la temperatura óptima.

### **3.5 Métodos de manejo estadístico de datos**

El diseño experimental será basado en un diseño completamente al azar. Los resultados del rendimiento obtenidos correspondiente a la variable dependiente serán evaluados mediante un modelo ANOVA de una vía para confirmar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de todos los grupos, con un nivel de significancia de 0.05. Se evaluarán los supuestos de normalidad mediante una prueba de Shapiro Wilk.

### **3.6 Procedimientos experimentales**

#### **3.6.1 Extracción del aceite esencial de linaza (*Linum usitatissimum L.*) por extracción por solventes (Soxhlet)**

El procedimiento planteado se basa en los trabajos de Maxi (2019), y, Yu y colaboradores (2020).

##### **3.6.1.1 Reactivos y sustancias**

- Linaza
- Agua
- Hexano

##### **3.6.1.2 Materiales y equipos**

- Equipo de extracción sólido-líquido Soxhlet
- Balón esmerilado
- Cartucho de papel filtro
- Balanza analítica
- Probeta 25 mL
- Equipo rota vapor

##### **3.6.1.3 Procedimiento**

1. Obtención de la materia vegetal (semillas de linaza).
2. Someter 300 g de la materia vegetal en el equipo de explosión por vapor (*steam explosion*) a 1.2 Mpa.
3. Separar la parte sólida de la parte líquida producto de la explosión por vapor.
4. Se pesa el balón esmerilado registrando su masa inicial (Mi).
5. Se pesa 30 g de materia prima (Mm).
6. Se pasa a un cartucho de papel filtro y se coloca en el cuerpo del Soxhlet.



7. Al balón esmerilado se le agrega 150 mL de hexano y se somete a una temperatura de 69 °C por cuatro horas con nueve sifonadas para cada extracción.
8. Se deja enfriar durante 10 minutos y se recupera el solvente registrando la masa final (Mf) y determinando su rendimiento.

***Ecuación 1. Porcentaje % de rendimiento***

$$\%Aceite = \frac{\text{Resultado obtenido}}{\text{Gramos utilizados}} \times 100$$



*Figura 7. Equipo de extracción sólido-líquido Soxhlet*

Fuente: Autor

### **3.6.2 Determinación del índice de refracción**

El índice de refracción es una medida que determina la disminución de la velocidad de la luz a medida que se propaga a través de un medio homogéneo. Más precisamente, el índice de refracción es el cambio de fase por unidad de longitud (INEN, 2012a).

De acuerdo a la metodología propuesta por el Instituto de Normalización del Ecuador [INEN], el índice de refracción se mide con un refractómetro marca ABBE precalibrado en agua destilada a 20 °C. Se coloca una gota de la muestra en el prisma inferior y déjela reposar

durante unos minutos antes de continuar con la medición. Cada muestra se analiza por triplicado (INEN, 2012a).

Para determinar el índice de refracción del aceite esencial de linaza (*Linum usitatissimum* L.) se toma como base la Normativa INEN para Grasas y Aceites Comestibles No. 42.

#### **3.6.2.1 Materiales y equipos**

- Refractómetro de marca ABBE
- Cuenta gotas
- Aceite esencial de linaza (*Linum usitatissimum* L.)
- Agua destilada

#### **3.6.2.2 Procedimiento**

1. Calibrar el equipo con agua destilada a 20 °C.
2. Colocar una gota del aceite esencial en el centro de la superficie del prisma.
3. Ajustar la lámpara para que brille sobre el prisma.
4. Observar y leer el índice de refracción anotando la temperatura del termómetro.
5. Limpiar el prisma.

#### **3.6.3 Determinación de la acidez del aceite**

La acidez se considera como iones de hidrógeno en exceso presentes en soluciones acuosas. Esta prueba se puede utilizar para expresar o determinar la cantidad de miligramos de hidróxido de potasio (KOH) necesarios para neutralizar un gramo de muestra. El alto índice de acidez resultante indica que la muestra se ha degradado, lo que lleva a un proceso de rancidez (Carvajal & Quintero, 2012).

Para determinar el índice de acidez del aceite esencial de linaza (*Linum usitatissimum* L.) se toma como base la Normativa INEN para Grasas y Aceites Comestibles No. 38.

### 3.6.3.1 Materiales y equipos

- Balanza analítica
- Equipo de titulación
- Erlenmeyer 250 mL y 500 mL
- Bureta
- Soporte

### 3.6.3.2 Reactivos

- Alcohol etílico al 95%
- Fenolftaleína
- Aceite esencial de linaza
- Hidróxido de potasio 0.1 N

### 3.6.3.3 Procedimiento

1. Pesar 2 g de aceite esencial en un matraz Erlenmeyer.
2. Agregar 10 mL de alcohol etílico al 95%.
3. Se agita hasta homogenizar y se agregan 5 gotas de fenolftaleína.
4. Titulamos la muestra con hidróxido de potasio 0.1 N hasta obtener una coloración rosada durante 30 segundos.
5. Calcular el índice de acidez.

**Ecuación 2.** Índice de acidez (NMZ-K-418-1976, 1998)

$$IA = \frac{5,61 * V}{M}$$

### 3.6.4 Determinación del índice de saponificación

Es una medida relacionada con el peso molecular, o el tamaño promedio de la cadena, de los ácidos grasos que componen el aceite o la grasa. Se cuantifica como miligramos de

hidróxido de potasio necesarios para saponificar 1 gramo de material graso. Las grasas elaboradas a partir de ácidos grasos de cadena larga tienen relativamente pocos grupos funcionales carboxilo por unidad de masa de grasa y, por lo tanto, pesos moleculares altos y, por lo tanto, valores de índice de saponificación bajos (de los Ángeles Hernández, 2017).

Para determinar el índice de saponificación del aceite esencial de linaza (*Linum usitatissimum L.*) se toma como base la Normativa INEN para Grasas y Aceites Comestibles No. 40.

#### **3.6.4.1 Materiales y equipos**

- Matraz Erlenmeyer 250 mL
- Bureta
- Balanza analítica
- Agitador magnético
- Matraz
- Pinzas
- Pipeta

#### **3.6.4.2 Reactivos**

- Alcohol etílico 95%
- Fenolftaleína
- Aceite esencial de linaza (*Linum usitatissimum L.*)
- Hidróxido de potasio 0.5 N
- Ácido clorhídrico 0.5 N

#### **3.6.4.3 Procedimiento**

1. Pesar un gramo del aceite esencial de linaza.
2. Agregar 12.5 mL de hidróxido de potasio 0.5 N.

3. Colocar el matraz a un condensador para reflujo y hervirlo por 30 minutos y dejarlo enfriar.
4. Añadir 0.5 mL de fenolftaleína.
5. Titular la muestra con ácido clorhídrico 0.5 N.
6. Calcular el índice de saponificación del aceite esencial de linaza.

**Ecuación 3. Índice de saponificación**

$$\text{Índice de saponificación} = \frac{(56,1)(V_B - V_M)(N)}{P}$$

Siendo:

- **Índice de saponificación** = Reflejado en miligramos de hidróxido de potasio sobre gramos de aceite:  $\frac{mg\ KOH}{g\ aceite}$ .
- **V<sub>B</sub>**= Hace referencia al volumen de HCL empleado en el blanco.
- **V<sub>m</sub>**= Hace referencia al volumen de HCL empleado en la muestra.
- **N**= Concentración normal del ácido clorhídrico.
- **P** = Masa de la muestra en gramos (g).
- **56.1**= Peso molecular del hidróxido de potasio.

**3.6.5 Determinación del índice de yodo**

El índice de yodo (IY) es el número de miliequivalentes o partes de yodo absorbidas por 100 partes en peso de una sustancia. Este valor indica el número de insaturaciones de ácidos grasos en el aceite. Un aceite completamente saturado tiene un índice de yodo de cero, pero una mayor insaturación fija la relación de yodo y aumenta este valor (Tabio et al., 2017).

Para determinar el índice de yodo del aceite esencial de linaza (*Linum usitatissimum L.*) se tomará como base la Normativa INEN para Grasas y Aceites Comestibles No. 37.

### **3.6.5.1 Materiales y equipos**

- Matraz Erlenmeyer 500 mL
- Agitador magnético
- Bureta de 50 mL
- Pinzas
- Pipetas aforadas
- Balanza analítica

### **3.6.5.2 Reactivos**

- Aceite esencial linaza
- Reactivo de Hanus
- Yoduro de potasio
- Cloroformo
- Indicador de almidón 1%
- Tiosulfato de sodio 0.1 M

### **3.6.5.3 Procedimiento**

1. Se pesa 0.30 g del aceite esencial de linaza (*Linum usitatissimum L.*) en un matraz Erlenmeyer de 500 mL.
2. Se agrega 10 mL de cloroformo.
3. Colocar 25 mL de reactivo de Hanus y reposar por 30 minutos en la oscuridad.
4. Agregar 5 mL de yoduro de potasio (KI) al 15% y se homogeniza agitando.
5. Añadir 100mL de agua destilada.
6. Se titula la muestra con tiosulfato de sodio 0.1 M hasta que desaparezca la coloración amarilla de la mezcla.
7. Añadir 1 mL de indicador de almidón 1%.
8. Titular hasta que desaparezca la coloración azul.

9. Agitar el Erlenmeyer para que el yodo restante en la capa de cloroformo vaya a la capa de yoduro de potasio.
10. Correr un blanco con la muestra.
11. Calcular el índice de yodo.

**Ecuación 4. Índice de yodo**

$$\text{Índice de yodo} = \frac{12,69(V - V_m)N}{m}$$

Siendo:

- **Índice de yodo:** Expresado en gramos de yodo molecular sobre gramos de aceite .
- **V=** Media aritmética de los volúmenes de solución de tiosulfato de sodio empleados en la titulación de las muestras, en mL.
- **V<sub>m</sub>=** Volumen de tiosulfato que se emplea para poder titular la muestra, expresado en mL.
- **N=** Concentración normal del tiosulfato de sodio.
- **12,69=** Peso molecular del yodo.

### 3.6.6 Determinación del índice de peróxidos

Este es el número de miliequivalentes de oxígeno por kilogramo de muestra (INEN, 1978).

Para determinar el índice de peróxidos del aceite esencial de linaza (*Linum usitatissimum* L.) se toma como base la Normativa INEN para Grasas y Aceites No. 277.

#### 3.6.6.1 Materiales y equipos

- Pipeta de Mohr
- Matraz Erlenmeyer de 250 mL con tapa esmerilada.

- Balanza analítica.

### 3.6.6.2 Reactivos

- Aceite esencial de linaza (*Linum usitatissimum L.*)
- Cloroformo
- Disolución saturada de yoduro de potasio
- Agua desmineralizada
- Solución de almidón
- Ácido acético glacial

### 3.6.6.3 Procedimiento

1. Pesar 1.25 g del aceite de linaza en el Erlenmeyer de 250 mL.
2. Añadir 2.5 mL de cloroformo.
3. Agregar 3.75 mL de ácido acético glacial.
4. Adicionar 0.25 mL de disolución saturada de yoduro de potasio.
5. Tapar y agitar el Erlenmeyer por 1 minuto para homogeneizar y reposar por cinco minutos en la oscuridad.
6. Agregar 18.75 mL de agua desmineralizada.
7. Añadir 0.125 mL de almidón al 1%.
8. Evaluar el yodo liberado en la muestra y el blanco.
9. Calcular el índice de peróxido.

#### **Ecuación 5. Índice de peróxidos**

$$\text{Índice de peróxidos} = \frac{(V)(N)1000}{m}$$

Siendo:

- Índice de peróxidos = Expresado en  $\frac{Eq O_2}{Kg \text{ de aceite}}$ .



- $V$  = Volumen de disolución de tiosulfato que se emplea para poder titular la muestra.
- $N$  = Concentración normal del tiosulfato de sodio.
- $M$  = Masa de la muestra en gramos.

### **3.6.7 Determinación de la densidad relativa**

Es la relación que existe entre la masa de un volumen dado de sustancia a 25 °C y la masa de un volumen idéntico de agua a la misma temperatura (INEN, 2012).

Para determinar la densidad relativa del aceite esencial de linaza (*Linum usitatissimum* L.) se toma como base la Normativa INEN para Grasas y Aceites Comestibles No. 35.

#### **3.6.7.1 Materiales y equipos**

- Picnómetro de 5 mL

#### **3.6.7.2 Reactivos**

- Etanol al 96%
- Mezcla sulfocrómica
- Agua destilada

#### **3.6.7.3 Procedimiento**

1. Calibrar el picnómetro.
2. Lavar el picnómetro con la mezcla sulfocrómica, agua destilada y etanol 96%.
3. Secar el picnómetro con una corriente de aire seco, posteriormente registrar la masa (M).
4. Llenar con agua destilada al picnómetro y registrar la masa (M1).
5. Se vacía el picnómetro y vuelve a secar con la corriente de aire.
6. Llenar con la muestra y enrasar el capilar registrando la masa (M2).

Cuando se tiene aceites a 20 °C la índice densidad relativa viene dada por la ecuación:

$$\rho = \frac{M_2 - M}{M_1 - M}$$

Siendo:

- **M2:** Masa del picnómetro con la muestra, medido en gramos (g).
- **M1:** Masa del picnómetro con el agua destilada, medido en gramos (g).
- **M:** Masa del picnómetro, medido en gramos (g).



*Figura 8. Picnómetro con la muestra*

Fuente: Autor

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Extracción del aceite de la semilla de linaza

La extracción del aceite de linaza se lo realiza por triplicado tanto con la linaza pretratada como con la linaza sin pretratamiento sacando un valor promedio indicado en la siguiente tabla:

*Tabla 8. Porcentaje de aceite obtenido*

<b>Tratamiento</b>	<b>% aceite</b>
Sin pretratamiento	28,91
Con pretratamiento	50,69

*Fuente: Autor*

Los resultados anteriormente mostrados indican porcentajes relativamente bajos en comparación de los resultados obtenidos por Yu y colaboradores (2020); los cuales obtienen un rendimiento del 77,5%. Por otro lado, el rendimiento fue superior al de Yi y colaboradores (2017), los cuales en su estudio habían logrado obtener un rendimiento del 43,88%. La frecuencia con la que se producen estos resultados puede estar basada en muchos factores, tales como: el tamaño de la partícula (lo cual influirá en la superficie de contacto de la semilla), el método de extracción, presión y temperatura utilizados en la explosión de vapor, cantidad y tipo de solvente utilizado.

De esta manera, el método Soxhlet es el más empleado ya que es superior a otros métodos como el prensado, sin embargo, López (2010) ha demostrado que el proceso de Bligh y Dayer mejora la producción de grasa en un 6 % en comparación con el proceso convencional mencionado anteriormente.

Con respecto a la explosión de vapor, se estableció que las condiciones adecuadas para pre tratar las semillas de linaza fueron 160 °C durante un minuto llegando de esta manera 120 psi de presión, equivalente a 0,83 MPa.

Para determinar la influencia del pretratamiento en la obtención del aceite se realizó una prueba de normalidad Shapiro Wilks en el programa estadístico R studio para su posterior análisis ANOVA.

*Tabla 9. Valores p.*

<b>Tratamiento</b>	<b>Valor p</b>
Sin pretratamiento	0,7156
Con pretratamiento	0,8316

En la tabla se encuentra el valor de  $p > 0,100$ , los mismos que son mayores que el nivel de significancia, que corresponde a  $\alpha = 0,05$ , de acuerdo con la prueba de normalidad empleada de Shapiro-Wilks; si el coeficiente de correlación se encuentra proximal a 1, es muy probable que exista una población normal; por lo tanto, se ha realizado una prueba F para determinar si existe igualdad de varianzas; la cual, con resultado de 0,7529, se confirma la igualdad entre las varianzas al ser un valor  $> 0,05$ .

Se ha tenido en cuenta que los datos presentan homocedasticidad, y sabiendo esto, se realizó una prueba t test con varianzas iguales, ya que la prueba ANOVA es solamente una generalización de esta. Se emplea un modelo completamente al azar que presenta un nivel de confianza de 95%, considerando que se tiene un solo factor, que corresponde a un factor de entrada, que es la aplicación o no del pretratamiento de explosión de vapor y un factor de salida que es el porcentaje de rendimiento obtenido en el proceso de extracción. El valor de p del t test fue de  $1,543e^{-6}$  siendo este inferior al valor de significancia  $\alpha = 0,05$  de manera

tal que se puede establecer que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa lo que significa que el pretratamiento de explosión por vapor que se le da a la materia prima influye en el rendimiento y en las características fisicoquímicas del aceite esencial de linaza (*Linum usitatissimum L.*).

## 4.2 Caracterización de los extractos de las semillas linaza

En la tabla 7 se muestran los valores promediados de las diferentes muestras que se las realizó por triplicado para cada análisis físico-químico.

Tabla 10. Resultados de pruebas físico-químicas

Análisis		Resultados	
		Sin pretratamiento	Con pretratamiento
Físicas	Índice de refracción	1,479	1,473
	Densidad	0,926	0,915
Química	Índice de acidez	1,756	2,805
	Índice de saponificación	186,76	195,57
	Índice de yodo	248,87	291,13
	Índice de peróxidos	2,755	7,294

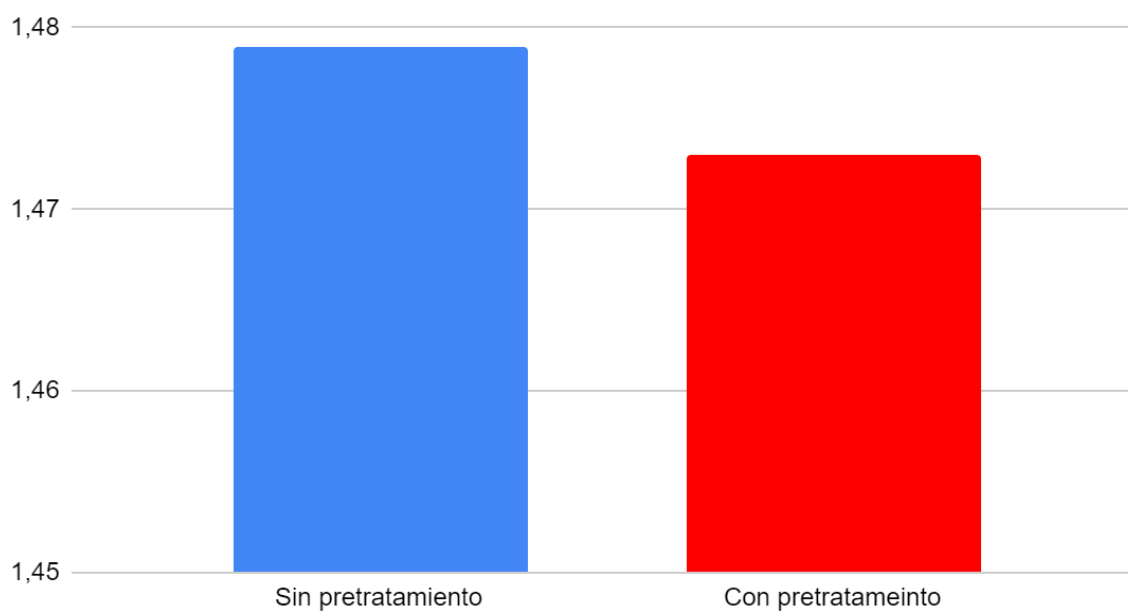
Fuente: Autor

### 4.2.1 Índice de refracción

En cuanto a las propiedades físicas, el resultado del índice de refracción fue de 1,479 para el aceite obtenido sin pretratamiento y de 1,473 para el aceite obtenido con pretratamiento de explosión de vapor, estos valores presentan una variación mínima de apenas el 0,006 siendo muy cercanos al 1,48 que es el índice de refracción que establece la

compañía Roth, (2017).

### Índice de refracción del aceite de linaza comparado con y sin tratamiento



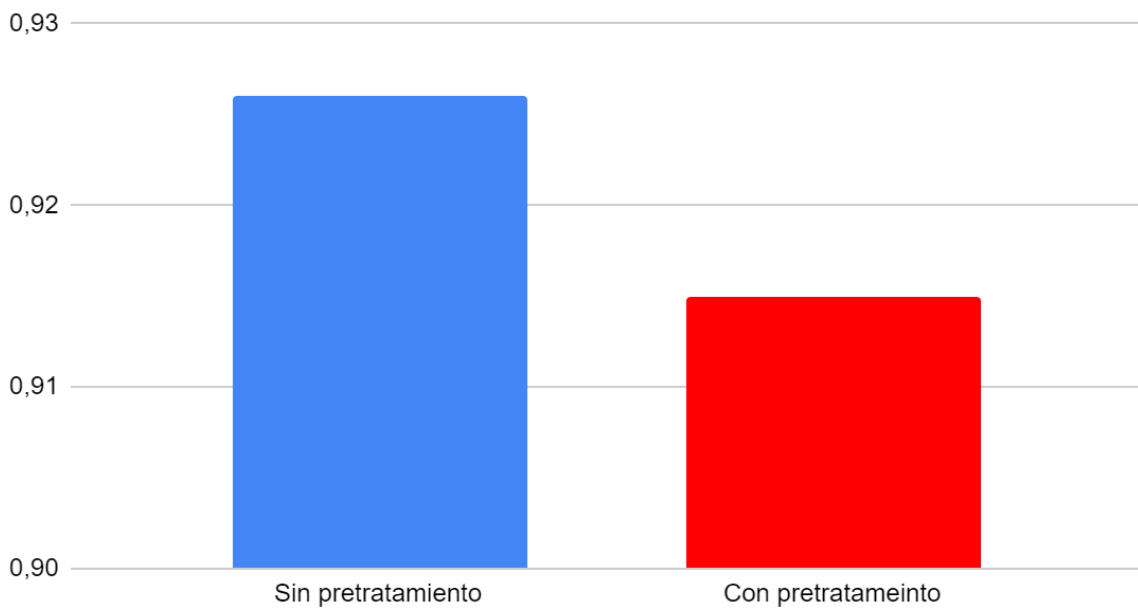
*Gráfica 1. Índice de refracción de aceite de linaza obtenido con y sin pretratamiento de explosión de vapor*

Fuente: Autor

#### **4.2.2 Densidad relativa**

La densidad relativa presenta valores cercanos a los de GTM (2016) en donde se da a conocer que la densidad relativa a 20 °C es de 0.93 g/cm<sup>3</sup>. Asimismo Jaimes y colaboradores (2013), obtuvieron una densidad relativa de 0.93 g/cm<sup>3</sup>, teniendo en consideración que la obtención del aceite lo realizaron utilizando métodos de extracción mecánica.

## Densidad relativa del aceite de linaza comparado con y sin tratamiento



Gráfica 2. Densidad relativa de aceite de linaza obtenido con y sin pretratamiento de explosión de vapor

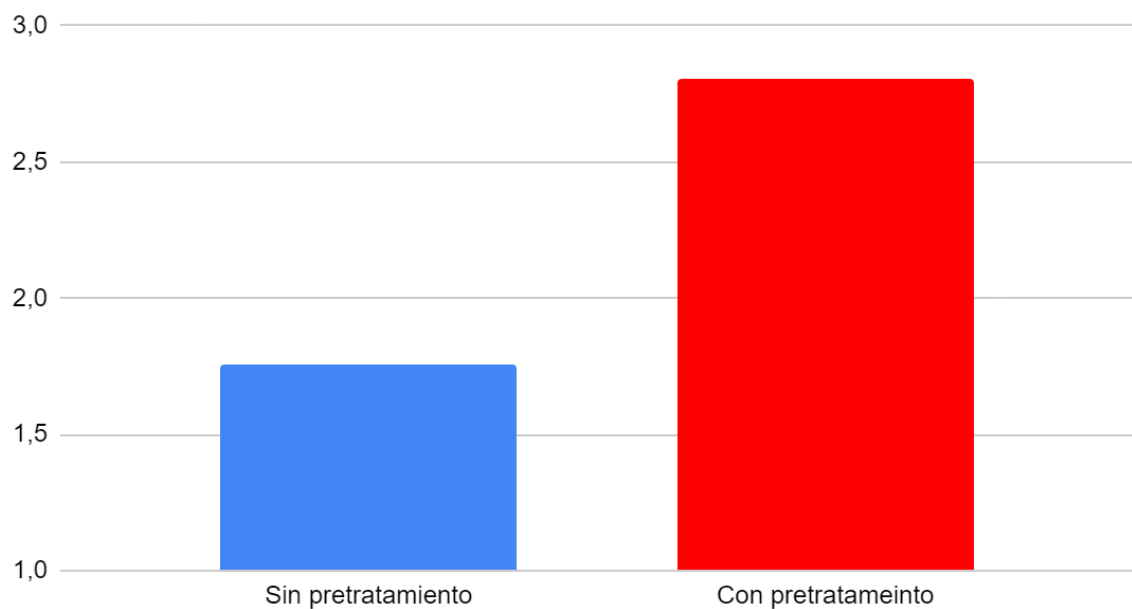
Fuente: Autor

### 4.2.3 Índice de acidez

El índice de acidez del aceite obtenido sin pretratamiento fue de 1,756 KOH/g de aceite y 2,805 KOH/g de aceite para el aceite obtenido con el pretratamiento de explosión por vapor. Estos valores varían con respecto a los resultados obtenidos por Arias y Lopez, (2015) de 0.36-0.53 mg KOH/g de aceite; de igual manera, Jaimes y colaboradores (2013) había obtenido unos valores entre 0,588 y 0,811 mg KOH/g de aceite, ambos utilizando métodos mecánicos para la extracción del aceite. Por otro lado Caneli, (1946) utilizó éter de petróleo y éter sulfúrico como solventes para la extracción del aceite a partir de la linaza; presentando el Éter de Petróleo un índice de acidez de 3.46 KOH/g de aceite, mientras que el éter sulfúrico presentó un índice de 3.95 KOH/g de aceite. Podemos afirmar así que el índice de acidez de la linaza puede variar considerablemente dependiendo del método de extracción y

del solvente utilizado en caso de una extracción sólido-líquido. Además, Hassanein y colaboradores (2003), demostraron que existe un mayor índice de acidez cuando se aplican temperaturas altas por un tiempo prolongado.

### Índice de acidez del aceite de linaza comparado con y sin tratamiento



Gráfica 3. Índice de acidez de aceite de linaza obtenido con y sin pretratamiento de explosión de vapor

Fuente: Autor

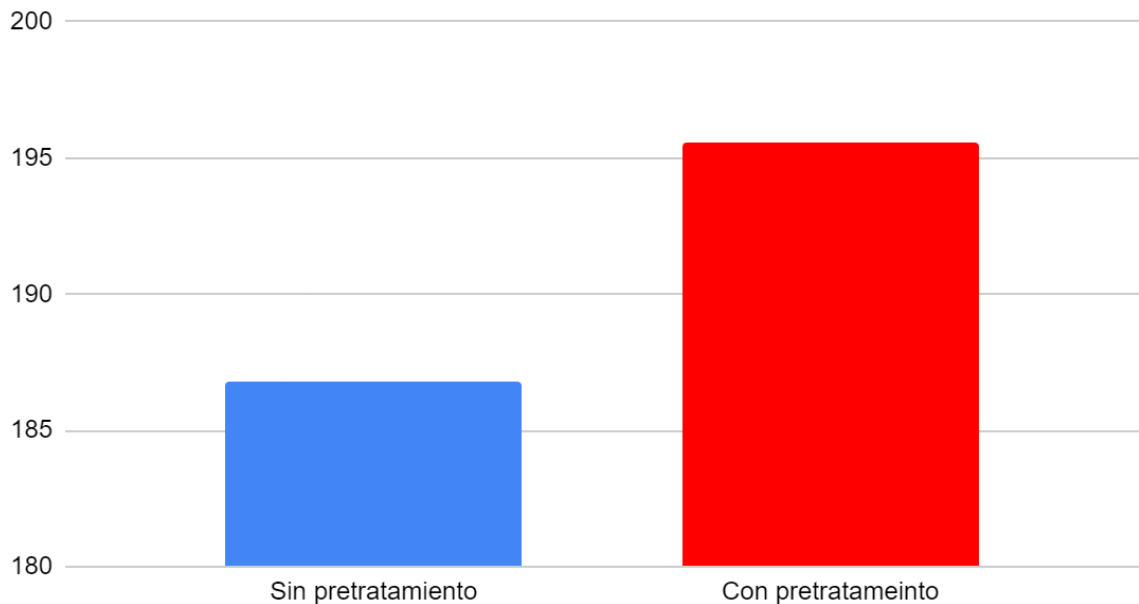
#### 4.2.4 Índice de saponificación

Para el aceite de linaza sin pretratar el índice de saponificación fue de 186,76 mg/g mientras que el aceite obtenido de las semillas pretratadas dio un índice de 195,57 mg/g. Estos valores coinciden con los establecidos por Jaimes y colaboradores (2013), quienes obtuvieron un índice de saponificación entre 189,68 mg KOH/g y 191,58 mg KOH/g. Los aceites y grasas que contienen ácidos grasos de cadena corta consumen una gran cantidad de KOH para la saponificación y tienen un alto índice de saponificación, mientras que los



aceites y grasas que contienen ácidos grasos de cadena larga consumen poco álcali y tienen un índice de saponificación pequeño.

### Índice de saponificación del aceite de linaza comparado con y sin tratamiento



Gráfica 4. Índice de saponificación de aceite de linaza obtenido con y sin pretratamiento de explosión de vapor

Fuente: Autor

#### 4.2.5 Índice de yodo

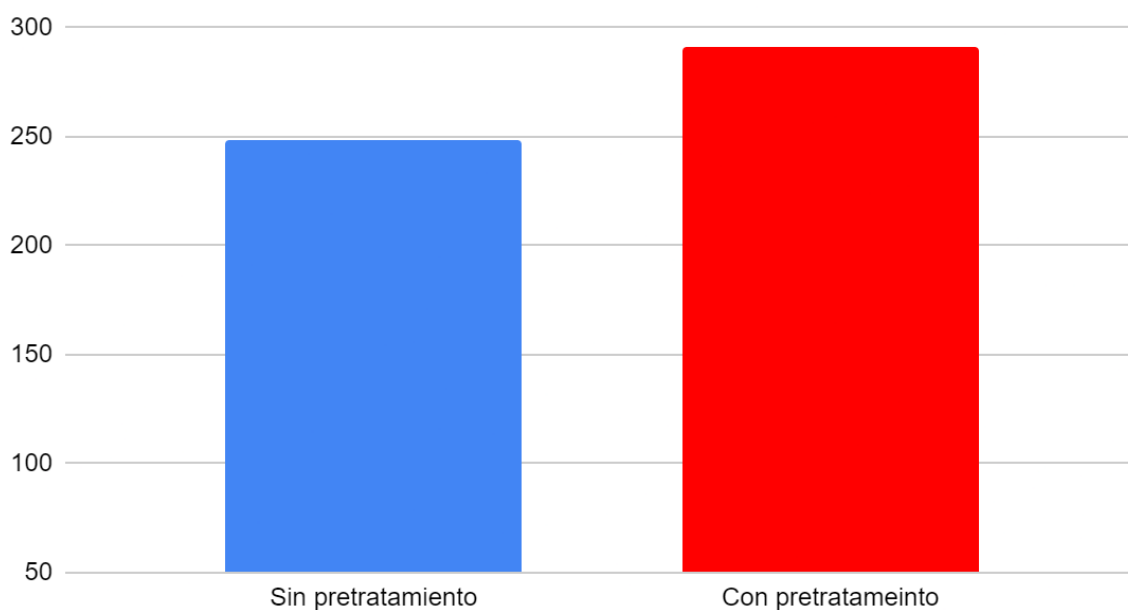
Para el aceite obtenido a partir de las semillas no pretratadas se obtuvo un índice de yodo de 248,87 g I<sub>2</sub>/100g mientras que el índice de yodo para el aceite obtenido de las semillas pretratadas fue de 291,13 g I<sub>2</sub>/100g. Arias y Lopez, (2015) habían obtenido un índice de yodo entre 196.02-195.07 g I<sub>2</sub>/100g aceite; Por otra parte, Jaimes y colaboradores (2013), consiguieron un índice de yodo entre 195.985 y 196.386 g I<sub>2</sub>/100g.

Dentro de este análisis se alcanzaron valores relativamente altos de índice de yodo, por lo que se considera que los aceites obtenidos presentan un elevado número de insaturaciones lo que indica que poseen una alta cantidad de ácidos grasos poli insaturados. Estos valores

coinciden en medida con los obtenidos por (Maxi Jarrin, 2019).

Las grasas con un número de yodo superior a 140 se consideran como secantes. Debe considerarse entonces de los resultados obtenidos que no se puede descartar un índice de yodo alto ya que el aceite se vuelve más susceptible a la oxidación a medida que aumenta el número de insaturaciones y la aplicación de calor es un factor clave en su desarrollo Castillo, Larios, Hernández, y Jerónimo (2013).

### Índice de yodo del aceite de linaza comparado con y sin tratamiento



Gráfica 5. Índice de yodo de aceite de linaza obtenido con y sin pretratamiento de explosión de vapor

Fuente: Autor

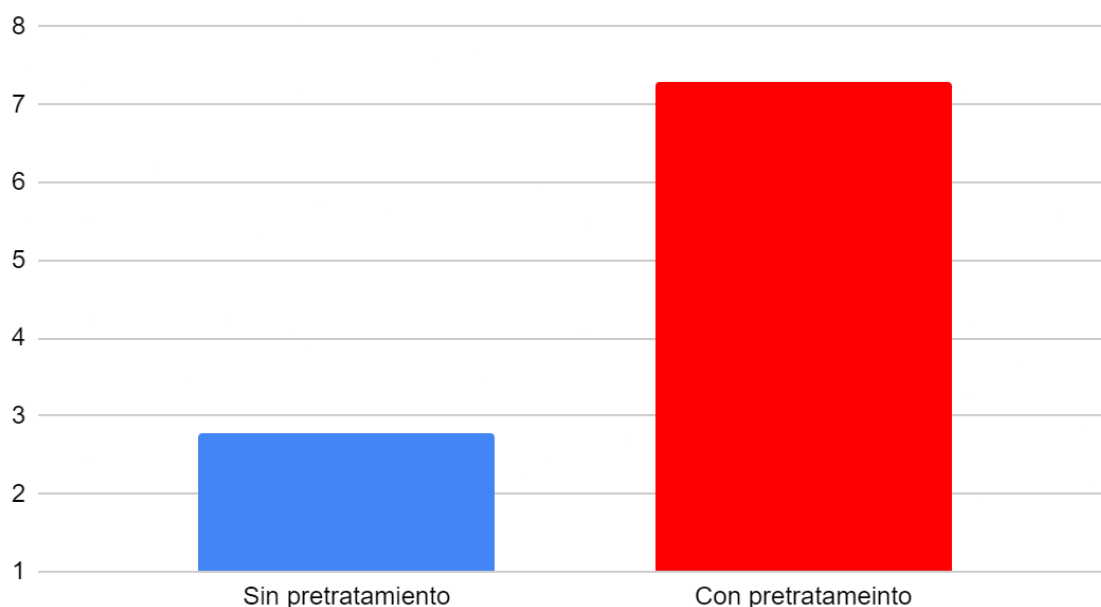
#### 4.2.6 Índice de peróxidos

Los resultados obtenidos para el índice de peróxido fueron de 2,775 meq. de O<sub>2</sub>/Kg para el aceite extraído de las semillas de linaza sin pretratar mientras que este valor fue de 7,294 meq. de O<sub>2</sub>/Kg. Jaimes y colaboradores (2013), habían obtenido un índice de peróxidos

entre 0,256-1,123 meq. de O<sub>2</sub>/Kg con un método de extracción mecánico. Aunque el índice de peróxido obtenido presenta valores relativamente altos, la norma NTE-INEN-277-ISO-3960 (2012) establece que el nivel máximo del índice de peróxidos es de 10 meq. de O<sub>2</sub>/Kg, por lo que los resultados obtenidos están dentro del rango de límite aceptado. El aumento del índice de peróxido en el aceite se debe a las elevadas temperaturas a las que fueron sometidas las semillas de linaza durante el proceso de extracción, generando la formación de peróxidos en las muestras (Esquivel et al., 2014).

Por otro lado, Sigüencia Sojos y Saritama Valle (2022), también habían obtenido un índice de peróxidos entre 9,5-10,66 meq. de O<sub>2</sub>/Kg, muy superior a los 0,8 meq. de O<sub>2</sub>/Kg que investigadores como Villanueva López y colaboradores (2013), habían obtenido con extracción en frío por prensa.

### Índice peroxidos del aceite de linaza comparado con y sin tratamiento

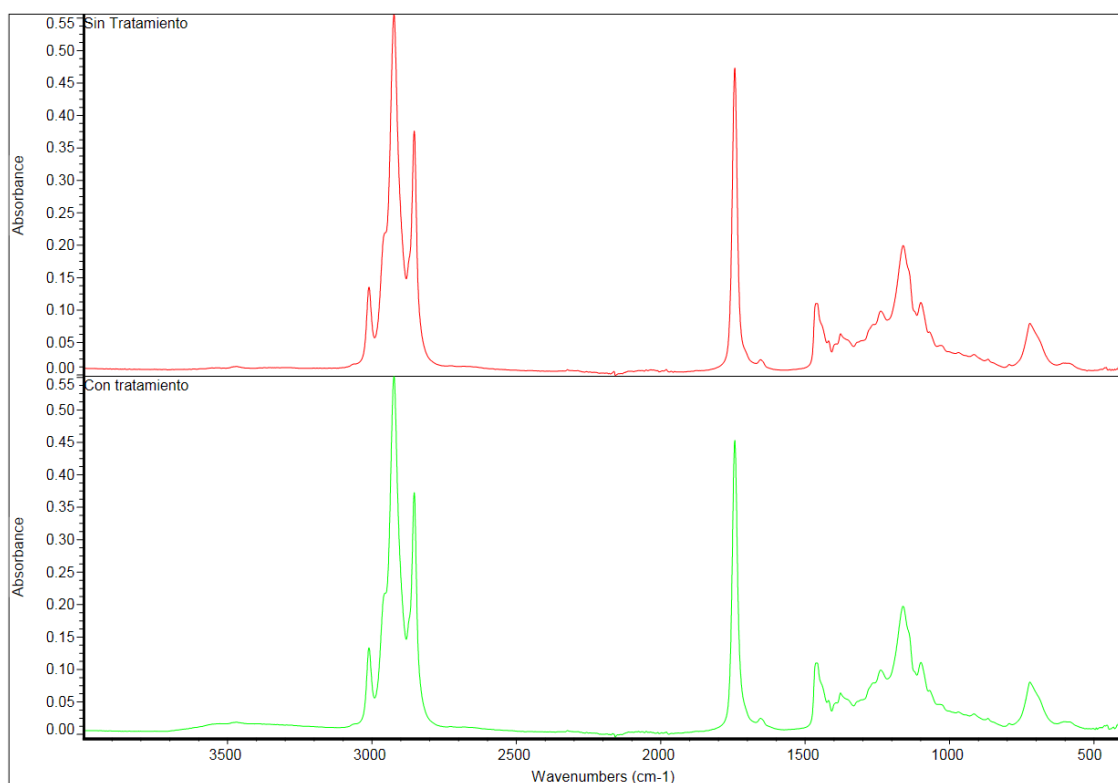


Gráfica 6. Índice de peróxidos de aceite de linaza obtenido con y sin pretratamiento de explosión de vapor

Fuente: Autor

#### 4.2.7 Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

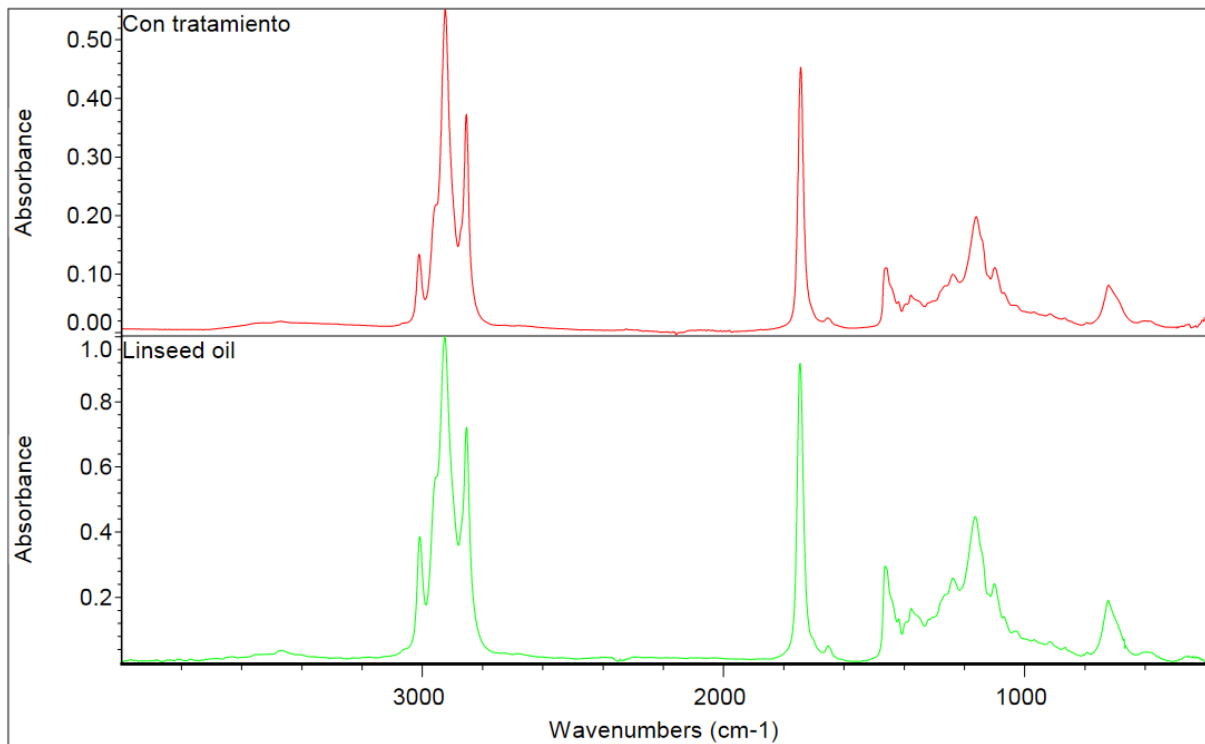
Las muestras de aceite de linaza obtenidas con pretratamiento y sin pretratamiento fueron analizadas a través de un espectrofotómetro infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR). En las gráficas a continuación se puede apreciar la presencia de picos similares en los mismos números de onda. Para el aceite obtenido con pretratamiento, se observa en el número de onda 1850 que existe una disminución de la absorbancia de 0.03 unidades, correspondiente a enlaces C=O.



Gráfica 7. Espectroscopia infrarroja de ambos aceites comparados entre sí

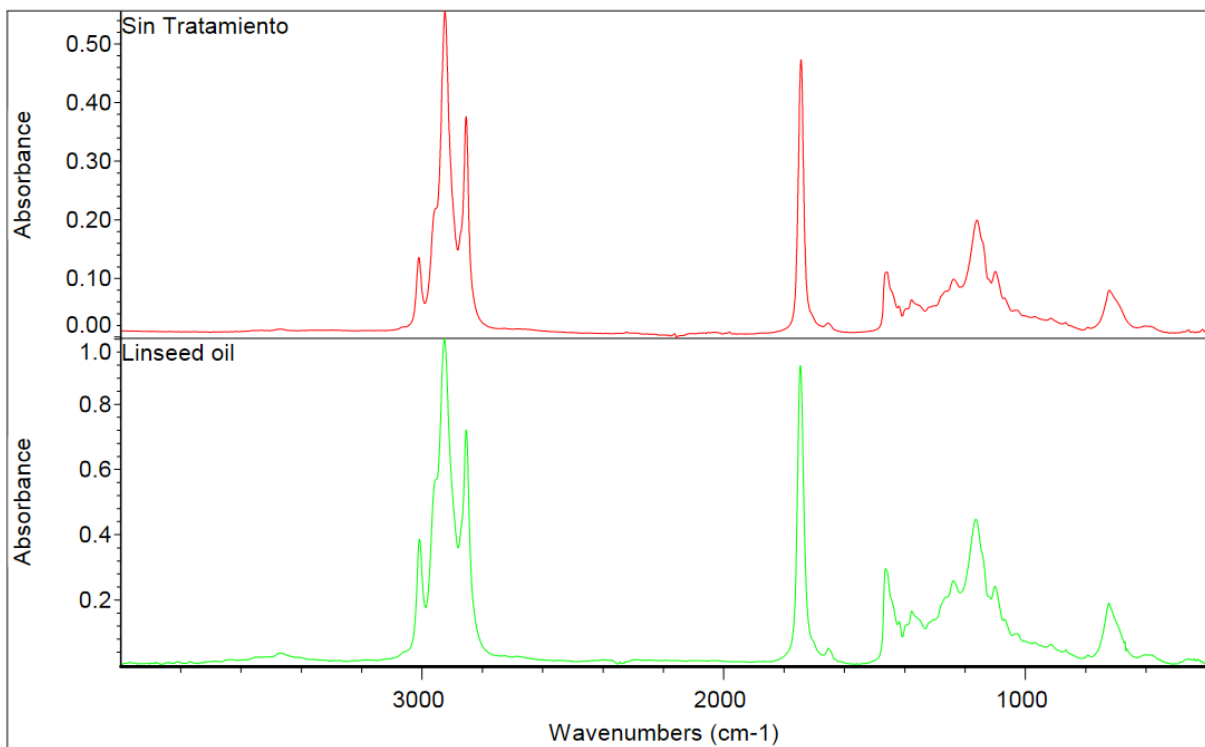
Fuente: Autor

Tanto el espectro resultante del FTIR del aceite extraído con pretratamiento, como el del aceite extraído sin el pretratamiento de explosión de vapor mostraron una similitud elevada con el espectro FTIR del aceite de linaza puro, lo cual se puede apreciar en las gráficas 8 y 9.



Gráfica 8. Espectroscopia infrarroja del aceite con pretratamiento comparado con la biblioteca.

Fuente: Autor



Gráfica 9. Espectroscopia infrarroja del aceite sin pretratamiento comparado con la biblioteca.

Fuente: Autor

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

Los resultados obtenidos en la presente investigación demuestran una muy favorable optimización en el proceso de obtención de aceite en las semillas oleaginosas en cuanto al rendimiento, lo que implica el poder considerar el pretratamiento de explosión de vapor dentro de la industria de aceites vegetales, así como un replanteamiento de los métodos de extracción, adaptando estos para obtener un rendimiento mayor teniendo esto consecuencias prácticas directas.

Las condiciones a las que se someten las semillas de linaza tanto en el pretratamiento como en el proceso mismo de extracción del aceite tienen una consecuencia apreciable dentro de las características fisicoquímicas del producto final por lo que estandarizar estas variables como la temperatura, presión y el solvente utilizado para la extracción son necesarias para tener un mayor control sobre la naturaleza del producto e incluso sobre sus propiedades nutricionales.

#### **5.2 Recomendaciones**

Es recomendable utilizar otros métodos de extracción para la obtención de aceite para evaluar su eficacia utilizando diferentes solventes. También es importante asegurarse de que el tamaño de las partículas sea el óptimo para que el solvente pueda circular de forma eficaz a través de la muestra.

El almacenamiento del aceite resultante debe darse en botellas color ámbar previamente desinfectadas, almacenadas en la oscuridad y refrigeradas para evitar procesos de oxidación.

Eliminar previamente el mucílago de las semillas de linaza dejándolas reposar durante algunas horas en agua para que no cause dificultades al momento de secar el material pretratado por explosión de vapor.

El análisis de las propiedades fisicoquímicas de los aceites debe realizarse lo antes posible después de la extracción para evitar la alteración de los resultados debido a factores químicos o enzimáticos que pueden ocurrir durante el almacenamiento de la muestra.

Se recomienda someter las muestras a cromatografía de gases para una identificación de los componentes del aceite de linaza. En cuanto al análisis cualitativo, cuantitativo y estructural la cromatografía de gases (GC) y la cromatografía de gases acoplado a masas (GC-MS) son las principales herramientas en el análisis de lípidos vegetales.

## REFERENCIAS

- Al-Lahham, S. H., Peppelenbosch, M. P., Roelofsen, H., Vonk, R. J., & Venema, K. (2010). Biological effects of propionic acid in humans; metabolism, potential applications and underlying mechanisms. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1801(11), 1175-1183. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2010.07.007>
- Arias Nuñuvero, J. O., & Lopez Carranza, N. A. (2015). Estabilidad oxidativa y perfil de ácidos grasos del aceite de semilla de lino (*linum usitatissimum*) procedentes de corongo y otuzco, extraído por prensado en frío. *Universidad Nacional del Santa*. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3340040>
- Ayerza, R. (2019). Seed characteristics, oil content and fatty acid composition of moringa (*Moringa oleifera* Lam.) seeds from three arid land locations in Ecuador. *Industrial Crops and Products*, 140. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20193478996>
- Bell, A., McSteen, P. M., Cebrat, M., Picur, B., & Siemion, I. Z. (2000). Antimalarial activity of cyclolinopeptide A and its analogues. *Acta Poloniae Pharmaceutica*, 57 Suppl, 134-136.
- Bernacchia, R., Preti, R., & Venci, G. (2014). *Chemical Composition and Health Benefits of Flaxseed*.
- Betty, B., Joseph, O., María, O., Yasmina, B., Lisbeth, R., & Zoila, R. (2017). Formulación y evaluación fisicoquímica, microbiológica y sensorial de galletas enriquecidas con linaza como alimento funcional. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 36(4), 106-113.
- Brands, M., Gutbrod, P., & Dörmann, P. (2021). Lipid Analysis by Gas Chromatography and Gas Chromatography–Mass Spectrometry. En D. Bartels & P. Dörmann (Eds.), *Plant Lipids: Methods and Protocols* (pp. 43-57). Springer US.



[https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1362-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1362-7_4)

Calado, A., Neves, P. M., Santos, T., & Ravasco, P. (2018). The Effect of Flaxseed in Breast Cancer: A Literature Review. *Frontiers in Nutrition*, 5, 4.

<https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00004>

Caldas Avila, A. P. (2012). *Optimización escalamiento y diseño de una planta piloto de extracción sólido líquido* [BachelorThesis].

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2468>

Caneli, H. J. F. (1946). *Aceite de linaza: Su determinación en semilla; su empleo como combustible* [Tesis de posgrado]. Universidad de Buenos Aires.

Carbajal Azcona, Á. (2013, septiembre). *Manual de Nutrición y Dietética* [Info:eu-repo/semantics/book]. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/22755/>

Carter, J. F. (1993). Potential of flaxseed and flaxseed oil in baked goods and other products in human nutrition. *Cereal Foods World (USA)*.

[https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Potential+of+flaxseed+and+flaxseed+oil+in+baked+goods+and+other+products+in+human+nutrition&author=Carter%2C+J.F.&publication\\_year=1993](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Potential+of+flaxseed+and+flaxseed+oil+in+baked+goods+and+other+products+in+human+nutrition&author=Carter%2C+J.F.&publication_year=1993)

Carvajal Vallejo, C. V., & Quintero Góngora, M. B. (2012). *Caracterización fitoquímica, actividad antimicrobiana y antimicótica del aceite esencial de congona (Peperomia inaequalifolia Ruiz&Pav.) Piperaceae* [BachelorThesis].

<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/4073>

Chamorro Zárata, A. L., Pacheco Barraza, M. D. J., & Tamayo Restrepo, M. C. (2016). *Estudio científico sobre la adición de Omega-3 (DHA/EPA) para el mejoramiento cognitivo de niños menores de cinco (5) años* [Doctoral dissertation]. Corporación Universitaria Lasallista.

Condori Callata, V. R., & Mateo Lovo, E. R. (2018). “Condiciones favorables para la

- extracción de aceite de linaza (*Linum Usitatissimum*) en un equipo SOXHLET modificado". *Repositorio institucional - UNAC*.  
<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/2768>
- Daun, J. K., Barthet, V. J., Chornick, T. L., & Duguid, S. (2003). Structure, composition, and variety development of flaxseed. *Flaxseed in Human Nutrition, Ed.2*, 1-40.
- de los Ángeles Hernández, B. M. (2017). *Determinación del índice de saponificación en aceite de maíz usando una lipasa de procedencia nacional*.
- den Besten, G., van Eunen, K., Groen, A. K., Venema, K., Reijngoud, D.-J., & Bakker, B. M. (2013). The role of short-chain fatty acids in the interplay between diet, gut microbiota, and host energy metabolism. *Journal of Lipid Research*, 54(9), 2325-2340.  
<https://doi.org/10.1194/jlr.R036012>
- Devine, C. E. (2016). *Food Products and Ingredients: Primary Food Production*.  
[https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference\\_id/6209089](https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference_id/6209089)
- Dubois, V., Breton, S., Linder, M., Fanni, J., & Parmentier, M. (2007). Fatty acid profiles of 80 vegetable oils with regard to their nutritional potential. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109(7), 710-732. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200700040>
- Durán Córdova, J. del P. (2014). Comparación de ácidos grasos omega 3,6 y 9 en la semilla de lino (*Linum usitatissimum*) ecuatoriana y canadiense por cromatografía de gases [BachelorThesis, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. En *Pontificia Universidad Católica del Ecuador*.  
<http://repositorio.puce.edu.ec:80/handle/22000/7118>
- Dzuvor, C. K. O., Taylor, J. T., Acquah, C., Pan, S., & Agyei, D. (2018). Bioprocessing of Functional Ingredients from Flaxseed. *Molecules*, 23(10), Art. 10.  
<https://doi.org/10.3390/molecules23102444>
- Elboutachfai, R., Delattre, C., Quéro, A., Roulard, R., Duchêne, J., Mesnard, F., & Petit, E.

- (2017). Fractionation and structural characterization of six purified rhamnogalacturonans type I from flaxseed mucilage. *Food Hydrocolloids*, 62, 273-279. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.08.005>
- Esquivel, A., Castañeda, A., & Ramirez, J. (2014). Cambios químicos de los aceites comestibles durante el proceso de fritura. Riesgos en la salud. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 2(3), Art. 3. <https://doi.org/10.29057/icbi.v2i3.526>
- FAO. (2008). *Fats and fatty acids in human nutrition. Report of an expert consultation. FAO Food and Nutritios Paper.*
- FAOSTAT. (2020). *Producción de linaza (semilla de linaza) en 2020; Cultivos/Regiones/Lista mundial/Cantidad de producción (a partir de listas de selección)". Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, División de Estadística.*
- Farag, M. A., Elimam, D. M., & Afifi, S. M. (2021). Outgoing and potential trends of the omega-3 rich linseed oil quality characteristics and rancidity management: A comprehensive review for maximizing its food and nutraceutical applications. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 292-309. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.041>
- Farrán, A., Cai, C., Sandoval, M., Xu, Y., Liu, J., Hernáiz, M. J., & Linhardt, R. J. (2015). Green Solvents in Carbohydrate Chemistry: From Raw Materials to Fine Chemicals. *Chemical Reviews*, 115(14), 6811-6853. <https://doi.org/10.1021/cr500719h>
- Flax Council of Canada. (2007). *Linaza Un Producto Premier de Salud y Nutrición.*
- Flax Council of Canada. (2014). *Flax a Healthy Food.*
- Hall, C., Tulbek, M. C., & Xu, Y. (2006). Flaxseed. En *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 51, pp. 1-97). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(06\)51001-0](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(06)51001-0)

- Hassanein, M. M., El-Shami, S. M., & El-Mallah, M. H. (2003). Changes occurring in vegetable oils composition due to microwave heating. *Grasas y Aceites*, 54(4), Art. 4. <https://doi.org/10.3989/gya.2003.v54.i4.219>
- Herchi, W., Ammar, K. B., Bouali, I., Abdallah, I. B., Guetet, A., & Boukhchina, S. (2016). Heating effects on physicochemical characteristics and antioxidant activity of flaxseed hull oil (*Linum usitatissimum* L). *Food Science and Technology*, 36, 97-102. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.0109>
- Herrera Ordoñez, A. E. (2018). *Influencia del aceite de linaza maleinizado (MLO) en la reología del polímero ácido poliláctico (PLA) para aplicaciones de impresión 3D* [BachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15606>
- Horianski, M. A., Peralta, J. M., & Brumovsky, L. A. (2016). In vitro digestibility and pasting properties of epichlorohydrin modified cassava starch. *Nutrition & Food Science*, 46(4), 517-528. <https://doi.org/10.1108/NFS-11-2015-0151>
- Hu, T., Linghu, K., Huang, S., Battino, M., Georgiev, M. I., Zengin, G., Li, D., Deng, Y., Wang, Y. T., & Cao, H. (2019). Flaxseed extract induces apoptosis in human breast cancer MCF-7 cells. *Food and Chemical Toxicology: An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association*, 127, 188-196. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.03.029>
- ITIS. (2016). *ITIS - Report: Linum usitatissimum*. [https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search\\_topic=TSN&search\\_value=29226#null](https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=29226#null)
- Jaimes, M. S., Camarena, G. G., & Chapman, G. P. (2013). Caracterización físico-química del Aceite de Linaza (*Linum usitatissimum* L.) del Departamento Cajamarca, Perú. *Infinitum...*, 3(2), Art. 2. <https://doi.org/10.51431/infinitum.v3i2.382>
- Johnsson, P., Kamal-Eldin, A., Lundgren, L. N., & Åman, P. (2000). HPLC Method for

- Analysis of Secoisolariciresinol Diglucoside in Flaxseeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(11), 5216-5219. <https://doi.org/10.1021/jf0005871>
- Kajla, P., Sharma, A., & Sood, D. R. (2015). Flaxseed—A potential functional food source. *Journal of Food Science and Technology*, 52(4), 1857-1871. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1293-y>
- Kaneda, T., Yoshida, H., Nakajima, Y., Toishi, M., Nugroho, A. E., & Morita, H. (2016). Cyclolinopeptides, cyclic peptides from flaxseed with osteoclast differentiation inhibitory activity. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 26(7), 1760-1761. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2016.02.040>
- Kao, Y.-C., Ho, P.-C., Tu, Y.-K., Jou, I.-M., & Tsai, K.-J. (2020). Lipids and Alzheimer's Disease. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(4), Art. 4. <https://doi.org/10.3390/ijms21041505>
- Kezimana, P., Dmitriev, A. A., Kudryavtseva, A. V., Romanova, E. V., & Melnikova, N. V. (2018). Secoisolariciresinol Diglucoside of Flaxseed and Its Metabolites: Biosynthesis and Potential for Nutraceuticals. *Frontiers in Genetics*, 9. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fgene.2018.00641>
- Kolodziejczyk, P., Ozimek, L., & Kozłowska, J. (2012). 11—The application of flax and hemp seeds in food, animal feed and cosmetics production. En R. M. Kozłowski (Ed.), *Handbook of Natural Fibres* (Vol. 2, pp. 329-366). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857095510.2.329>
- Korkina, L., Kostyuk, V., De Luca, C., & Pastore, S. (2011). Plant Phenylpropanoids as Emerging Anti-Inflammatory Agents. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, 11(10), 823-835. <https://doi.org/10.2174/138955711796575489>
- Kumar, A., Sharma, A., & C. Upadhyaya, K. (2016). Vegetable Oil: Nutritional and Industrial Perspective. *Current Genomics*, 17(3), 230-240.

- Lawrence, G. D. (2010). *The Fats of Life: Essential Fatty Acids in Health and Disease*. Rutgers University Press.
- Lobb, K., & Chow, C. K. (2007). Fatty Acid Classification and Nomenclature. En *Fatty Acids in Foods and their Health Implications* (pp. 15-30). CRC Press.  
<https://doi.org/10.1201/9781420006902-4>
- López, L. (2010). *Caracterización de distintas variedades de linaza (Linum usitatissimum L.) mediante la determinación del contenido de materia grasa y perfil lipídico* [Tesis de pregrado]. Universidad austral de Chile.
- Marambe, H. K., Shand, P. J., & Wanasundara, J. P. D. (2013). In vitro digestibility of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) protein: Effect of seed mucilage, oil and thermal processing. *International Journal of Food Science & Technology*, 48(3), 628-635.  
<https://doi.org/10.1111/ijfs.12008>
- Martinchik, A. N., Baturin, A. K., Zubtsov, V. V., & Molofeev, V. I. (2012). [Nutritional value and functional properties of flaxseed]. *Voprosy pitaniia*, 81(3), 4-10.
- Maxi Jarrin, R. A. (2019). *Establecer la influencia de tratamientos térmicos para la obtención de ácidos grasos a partir de la linaza (Linum usitatissimum)* [BachelorThesis].  
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18220>
- Morita, H., Shishido, A., Matsumoto, T., Itokawa, H., & Takeya, K. (1999). Cyclolinopeptides B - E, new cyclic peptides from *Linum usitatissimum*. *Tetrahedron*, 55(4), 967-976.  
[https://doi.org/10.1016/S0040-4020\(98\)01086-2](https://doi.org/10.1016/S0040-4020(98)01086-2)
- Morris, M. C., Evans, D. A., Tangney, C. C., Bienias, J. L., Wilson, R. S., Aggarwal, N. T., & Scherr, P. A. (2005). Relation of the tocopherol forms to incident Alzheimer disease and to cognitive change. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(2), 508-514.  
<https://doi.org/10.1093/ajcn.81.2.508>
- Noguera, N., & Ojeda, L. (2017). *LA LINAZA (Linum usitatissimum L.) Y SU PAPEL*

NUTRACEÚTICO. 29.

- Oliva Domínguez, J. M. (2003). *Efecto de los productos de degradación originados en la explosión por vapor de biomasa de chopo sobre «Kluyveromyces marxianus»* [Info:eu-repo/semantics/doctoralThesis]. Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/4804/>
- Ortega –Ante, D. A. (2020). Enfoque de la Biotecnología Industrial en Ecuador y la Provincia de Esmeraldas. *Polo del Conocimiento*, 5(8), Art. 8. <https://doi.org/10.23857/pc.v5i8.1655>
- Ortíz, A., & Dorantes, L. (2010). *Ácidos Grasos Omega Epa Y Dha*.
- Parikh, M., Maddaford, T. G., Austria, J. A., Aliani, M., Netticadan, T., & Pierce, G. N. (2019). Dietary Flaxseed as a Strategy for Improving Human Health. *Nutrients*, 11(5), Art. 5. <https://doi.org/10.3390/nu11051171>
- Parrales, A., Reyes Vera, M., & Pine Tobar, W. (2012). *Cromatografía del Gas Natural* [BachelorThesis, ESPOL. FICT]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/32277>
- Rabetafika, H. N., Van Remoortel, V., Danthine, S., Paquot, M., & Blecker, C. (2011). Flaxseed proteins: Food uses and health benefits. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(2), 221-228. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02477.x>
- Riediger, N. D., Othman, R., Fitz, E., Pierce, G. N., Suh, M., & Moghadasian, M. H. (2008). Low n-6:n-3 fatty acid ratio, with fish- or flaxseed oil, in a high fat diet improves plasma lipids and beneficially alters tissue fatty acid composition in mice. *European Journal of Nutrition*, 47(3), 153-160. <https://doi.org/10.1007/s00394-008-0709-8>
- Ríos-Covián, D., Ruas-Madiedo, P., Margolles, A., Gueimonde, M., de los Reyes-Gavilán, C. G., & Salazar, N. (2016). Intestinal Short Chain Fatty Acids and their Link with Diet and Human Health. *Frontiers in Microbiology*, 7.

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2016.00185>

Rodríguez, R., García, J., & Espinoza, H. (s. f.). *ÁCIDOS GRASOS: CLASIFICACIÓN E IMPORTANCIA EN LA SALUD HUMANA*.

Roth. (2017). *Ficha datos de seguridad: Aceite de linaza*.

Rustan, A., & Drevon, C. (2005). *Fatty Acids: Structures and Properties*.  
<https://doi.org/10.1038/npg.els.0003894>

Saleem, M. H., Ali, S., Hussain, S., Kamran, M., Chattha, M. S., Ahmad, S., Aqeel, M., Rizwan, M., Aljarba, N. H., Alkahtani, S., & Abdel-Daim, M. M. (2020). Flax (*Linum usitatissimum* L.): A Potential Candidate for Phytoremediation? Biological and Economical Points of View. *Plants*, 9(4), Art. 4. <https://doi.org/10.3390/plants9040496>

Sánchez, Ó. J., & Cardona, C. A. (2005). Producción biotecnológica de alcohol carburante I: Obtención a partir de diferentes materias primas. *Interciencia*, 30(11), 671-678.

Sánchez Sánchez, G. L., & León, G. (2013). *Caracterización y cuantificación de los ácidos grasos omega 3 y omega 6 presentes en el aceite de Sacha inchi (Plukenetia volubilis L)*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11657>

Sanhueza Catalán, J., Durán, S., & Torres, J. (2015). LOS ÁCIDOS GRASOS DIETARIOS Y SU RELACIÓN CON LA SALUD. *NUTRICION HOSPITALARIA*, 3, 1362-1375.  
<https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.3.9276>

Sargi, S. C., Silva, B. C., Santos, H. M. C., Montanher, P. F., Boeing, J. S., Santos Júnior, O. O., Souza, N. E., & Visentainer, J. V. (2013). Antioxidant capacity and chemical composition in seeds rich in omega-3: Chia, flax, and perilla. *Food Science and Technology*, 33, 541-548. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612013005000057>

Siguencia Sojos, E. T., & Saritama Valle, R. A. (2022). *Evaluación del rendimiento del aceite esencial de ajonjolí (Sesamum indicum L.) a partir de dos pretratamientos para su aplicación en la industria* [BachelorThesis].



<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23422>

Singh, K. K., Mridula, D., Rehal, J., & Barnwal, P. (2011). Flaxseed: A Potential Source of Food, Feed and Fiber. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(3), 210-222.

<https://doi.org/10.1080/10408390903537241>

Sok, D.-E., Cui, H. S., & Kim, M. R. (2009). Isolation and Bioactivities of Furfuran Type Lignan Compounds from Edible Plants. *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*, 1(1), 87-95.

Solís Acosta, M. E. (2018). *Extracción y microencapsulación de aceite de linaza (linum usitatissimum) para la adición en una matriz alimenticia* [MasterThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Maestría en Tecnología de Alimentos].

<https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/28251>

Tabio, D., Díaz, Y., Rondón, M., Fernández, E., & Piloto, R. (2017). *Extracción de aceites de origen vegetal*. Universidad tecnologica de la Habana José Antonio Echeverría.

Tandon, K., Awasthi, H. K., Pandey, P. K., & Dwivedi, S. K. (2021). Problems faced by the linseed farmers during the adoption of recommended linseed production technology in Kanker district of Chhattisgarh. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 10(1S), 560-562.

Villanueva López, E., Castillo Benites, D., & Rodríguez Páucar, G. (2013). Influence of the Rancimat parameters on the determination of oxidative stability index of Sesamum Indicum L. Oil. *Scientia agropecuaria*, 173-180.

<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2013.03.03>

Wiesenborn, D., Tostenson, K., & Kangas, N. (2003). Continuous abrasive method for mechanically fractionating flaxseed. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80(3), 295-300. <https://doi.org/10.1007/s11746-003-0692-2>

- Yi, J., Li, B., Zhang, Q., Wang, S., & Zhu, W. (2017). Effect of Steam Explosion Treatment on Fatty Acid Composition of Flax Seed Oil. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 32, 88-93.
- Yu, G., Guo, T., Huang, Q., Shi, X., & Zhou, X. (2020). Preparation of high-quality concentrated fragrance flaxseed oil by steam explosion pretreatment technology. *Food Science & Nutrition*, 8(4), 2112-2123. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1505>
- Zamora, R., & Hidalgo, F. J. (2004). *Handbook of Food Analysis: Physical characterization and nutrient analysis*. CRC Press.