

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA DE  
LOS RECURSOS NATURALES**

*Trabajo de titulación previo a la  
obtención del título de Ingeniero en  
Biotecnología de los Recursos Naturales*

**TRABAJO EXPERIMENTAL:**

**“ESTABLECER LA INFLUENCIA DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS  
PARA LA OBTENCIÓN DE ÁCIDOS GRASOS A PARTIR DE LA LINAZA  
(*Linum usitatissimum*)”**

**AUTOR:**

ROMMEL ADRIEL MAXI JARRIN

**TUTORA:**

DRA. MYRIAM XIMENA MANCHENO CÁRDENAS

CUENCA-ECUADOR

2019

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Rommel Adriel Maxi Jarrin con documento de identificación N°0302058110, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana, la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: **“ESTABLECER LA INFLUENCIA DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS PARA LA OBTENCIÓN DE ÁCIDOS GRASOS A PARTIR DE LA LINAZA (*Linum usitatissimum*)”**, mismo que se ha desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero en Biotecnología de los Recursos Naturales*, en la Universidad Politécnica Salesiana, está la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado por la Ley de Prioridad Intelectual, en condición de autor, me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que entrego el trabajo en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, diciembre del 2019



Rommel Adriel Maxi Jarrin

C.I. 0302058110

## CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que, bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“ESTABLECER LA INFLUENCIA DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS PARA LA OBTENCIÓN DE ÁCIDOS GRASOS A PARTIR DE LA LINAZA (*Linum usitatissimum*)”**, realizado por Rommel Adriel Maxi Jarrin, obteniendo el *Trabajo Experimental* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, diciembre del 2019



Dra. Myriam Ximena Mancheno Cárdenas

C.I. 0602018160

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Rommel Adriel Maxi Jarrin con documento de identificación N°0302058110, autor del trabajo de titulación: “**ESTABLECER LA INFLUENCIA DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS PARA LA OBTENCIÓN DE ÁCIDOS GRASOS A PARTIR DE LA LINAZA (*Linum usitatissimum*)**”, certifico que el total contenido de *Trabajo Experimental* es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, diciembre del 2019



Rommel Adriel Maxi Jarrin

C.I. 0302058110

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo va dedicado a mi abuelo Ángel, que fue la persona que me dejó bellos recuerdos durante mi infancia y que me enseñó a sonreír a pesar de cualquier situación adversa.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por bendecirme y darme fuerzas para seguir adelante.

A mis padres y hermana, por ser los que me han apoyado en todos los momentos difíciles y ser parte fundamental para que pueda cumplir mis metas.

A mis abuelos, por ser las personas que me han llenado de alegría y me han sabido apoyar en todo instante.

Agradezco a Lorena, por ser la persona que me ha ayudado a superarme día a día y ser el pilar fundamental en mi vida.

A la Dra. Myriam Mancheno y a la Dra. Inés Malo, que más que docentes las considero mi segunda familia; por haberme compartido su sabiduría y guiado en el transcurso de la vida universitaria, además de consejos que me han hecho convertir en una mejor persona.

A mis amigos, que se han convertido en hermanos; por dejarme ser parte de la vida de ellos y compartir todas las experiencias vividas que sin duda han dejado una huella en mi vida.

A mis docentes, por compartirme sus conocimientos y enseñanzas que naturalmente me servirán en el campo laboral.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>CAPITULO 1</b> .....	1
<b>1.1 Introducción</b> .....	1
<b>1.2 Antecedentes</b> .....	2
<b>1.3 Problema de investigación</b> .....	3
<b>1.4 Formulación del problema o pregunta de investigación</b> .....	4
<b>1.5 Objetivos</b> .....	4
<b>1.5.1 General</b> .....	4
<b>1.5.2 Específicos</b> .....	4
<b>1.6 Hipótesis</b> .....	4
<b>1.7 Justificación</b> .....	5
<b>1.8 Limitaciones</b> .....	6
<b>CAPITULO 2</b> .....	7
<b>2.1 Estado del arte</b> .....	7
<b>2.2 Bases teóricas</b> .....	8
<b>2.3 Linaza <i>Linum usitatissimum</i> L.</b> .....	8
<b>2.4 Clasificación taxonómica</b> .....	9
<b>2.5 Características de la semilla</b> .....	10
<b>2.6 Composición de la semilla</b> .....	10
<b>2.7 Perfil nutricional</b> .....	11

<b>2.8 Lípidos</b> .....	12
<b>2.9 Clasificación de los lípidos</b> .....	12
<b>2.10 Ácidos grasos [AG]</b> .....	13
<b>2.10.1 Ácidos grasos insaturados [AGIs]</b> .....	16
<b>2.10.1.1 Ácidos grasos monoinsaturados [AGM]</b> .....	16
<b>2.10.1.2 Ácidos grasos poliinsaturados [AGPIs]</b> .....	17
<b>2.11 Ácidos grasos esenciales [AGEs]</b> .....	17
<b>2.12 Composición de ácidos grasos presentes en la Linaza</b> .....	18
<b>2.13 Beneficios de la linaza</b> .....	18
<b>2.14 Aceites vegetales</b> .....	19
<b>2.15 Extracción del aceite</b> .....	20
<b>2.15. 1 Extracción con solventes</b> .....	20
<b>2.16 Pruebas fisicoquímicas del aceite</b> .....	22
<b>2.17 Cromatografía de Gases [CG]</b> .....	23
<b>CAPITULO 3</b> .....	24
<b>3.1 Nivel de investigación</b> .....	24
<b>3.2 Diseño de investigación</b> .....	24
<b>3.3 Variables</b> .....	24
<b>3.4 Población y muestra</b> .....	24
<b>3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos</b> .....	25
<b>3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos</b> .....	25
<b>3.7 Procedimiento</b> .....	25



3.7.1 Fase 1. Obtención del extracto .....	25
3.7.1.1 Adquisición de la materia prima .....	25
3.7.1.2 Aplicación de tratamientos térmicos .....	26
3.7.1.3 Obtención de extractos lipídicos mediante método Soxhlet .....	27
3.7.1.4 Determinación de la cantidad de lípidos extraídos.....	27
3.7.2 Fase 2. Caracterización de los extractos.....	28
3.7.2.1 Índice de acidez .....	28
3.7.2.2 Índice de yodo.....	29
3.7.2.3 Índice de refracción.....	31
3.7.2. 4 Determinación de la densidad relativa .....	31
3.7.3 Fase 3. Cuantificación mediante cromatografía de gases acoplado a masas [GC-MS] .....	34
<b>CAPITULO 4.....</b>	<b>35</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>35</b>
4.1 Extracción de los lípidos de la semilla de linaza .....	35
4.2 Caracterización de los extractos de la semilla de linaza .....	36
4.3 Cuantificación de ácidos grasos de los extractos de la semilla de linaza.....	40
<b>CAPITULO 5.....</b>	<b>46</b>
5.1 Conclusiones .....	46
5.2 Recomendaciones .....	48
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>49</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>57</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Linaza <i>Linum usitatissimum</i> L .....	11
Figura 2. Muestras de Linaza, <i>Linum usitatissimum</i> L .....	26
Figura 3. Equipo extractor Soxhlet .....	27
Figura 4. Pesaje de la muestra para la determinación del índice de acidez.....	29
Figura 5. Determinación del índice de refracción a 20 °C [1.481 índice de refracción de una muestra sometida a vapor] .....	31
Figura 6. Pesaje de picnómetro con la muestra.....	33
Figura 7. Pesaje de picnómetro vacío.....	33
Figura 8. Equipo GC-MS .....	34
Figura 9. Hexano .....	58
Figura 10. Neutralización de la muestra con KOH 0,1 N para la determinación del índice de acidez .....	58
Figura 11. Reactivo Wijs .....	58
Figura 12. Titulación con tiosulfato de sodio 0,1 N para la determinación del índice de yodo.....	58
Figura 13. Muestra con almidón al 1%.....	58
Figura 14. Punto final de la titulación para determinar el índice de yodo .....	58
Figura 15. Cromatograma de la muestra S/T.....	58
Figura 16. Cromatograma de la muestra V.....	58
Figura 17. Cromatograma de la muestra H.....	58
Figura 18. Cromatograma de la muestra MO .....	58

## ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1. Índice de acidez mg KOH/g aceite de las muestras pretratadas térmicamente	38
Gráfica 2. Índice de yodo g I <sub>2</sub> /100g aceite de las muestras pretratadas térmicamente.....	39
Gráfica 3. Prueba de Normalidad.....	43

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Clasificación taxonómica de la linaza <i>Linum usitatissimum</i> L .....</b>	<b>9</b>
<b>Tabla 2. Clasificación de los lípidos.....</b>	<b>13</b>
<b>Tabla 3. Ácidos grasos comunes .....</b>	<b>15</b>
<b>Tabla 4. Solventes más utilizados y su temperatura de ebullición.....</b>	<b>22</b>
<b>Tabla 5. Tratamientos térmicos aplicados .....</b>	<b>26</b>
<b>Tabla 6. Porcentaje de grasa de las semillas pre-tratadas térmicamente .....</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 7. Resultados de pruebas físico-químicas.....</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 8. Resultados del análisis cromatográfico .....</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 9. Planteamiento de las hipótesis.....</b>	<b>43</b>
<b>Tabla 10. Análisis de varianza .....</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 11. Método de Tukey aplicado a las medias de los tratamientos térmicos.....</b>	<b>44</b>

## RESUMEN

Durante los últimos años la utilización de ácidos grasos ha tomado fuerza para la aplicación dirigida hacia diferentes fines por las capacidades que poseen estos. La linaza *Linum usitatissimum L.* al ser una semilla oleaginosa se ha convertido en uno de los alimentos primordiales para contrarrestar un sin número de enfermedades aportando una gran cantidad de ácidos grasos poliinsaturados, reduciendo el LDL y aumentando HDL. Sin embargo, al poseer tales cualidades, la semilla de linaza es poco aprovechada en cuanto a su consumo y a su producción; a partir de esto, se buscan aplicar nuevos métodos para la obtención del aceite de la semilla de linaza con el fin de aumentar su rendimiento y mejorar la calidad del aceite. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación tiene como finalidad aplicar tratamientos térmicos a la semilla de linaza previos a su extracción para determinar si es que existe un rendimiento mayor en sus porcentajes de ácidos grasos. La semilla se trató previamente con tres procesos térmicos: Calor Húmedo (V), Calor Seco (H), Alta Frecuencia (MO) y una muestra sin tratar (ST). La obtención de lípidos se realizó por el método Soxhlet, se analizaron sus características físico-químicas y posteriormente el porcentaje de ácidos grasos mediante cromatografía de gases. Los resultados obtenidos en cuanto a la extracción indicaron que el de mayor porcentaje de grasa fue: H con 19,43%. Para las características físicas en cuanto a densidad el mayor fue MO con 0,949 y para el índice de refracción fue V con 1,481. En cuanto las características químicas MO presentó un valor de 1,803 mg KOH/g de aceite para el índice de acidez y 292,53 g I<sub>2</sub>/100g para el índice de yodo.

La cromatografía de gases reflejo que los componentes de mayor abundancia fueron: Ácido Oleico con un 19%, Linoleato de metilo con un 88%, Ácido  $\alpha$ -Linoleico con un 88%, y Ácido linoleico con un 88%. Finalmente se realizó un análisis estadístico ANOVA en el programa Minitab 18, concluyéndose que las aplicaciones térmicas previas no resultaron significativamente diferentes en comparación con la muestra sin tratamiento para el rendimiento de ácidos grasos.

## ABSTRACT

During the last years, the use of fatty acids has gained strength for the application directed towards different fines for the capacities that these have. *Linum usitatissimum L.* flaxseed, being an oilseed seed, has become one of the primary foods to counteract a number of diseases by providing a large amount of polyunsaturated fatty acids, reducing LDL and increasing HDL. However, by possessing such qualities, flaxseed is little used in terms of consumption and production; From this, we seek to apply new methods to obtain flaxseed oil in order to increase its yield and improve the quality of the oil. Therefore, the aim of the present investigation is to apply thermal treatments to the flaxseed seed prior to its extraction to determine if there is a noticeable yield in its percentages of fatty acids. The seed was previously treated with three thermal processes: Wet Heat (V), Dry Heat (H) and High Frequency (MO) and an untreated sample (ST). The obtaining of lipids was carried out by the Soxhlet method, its physical-chemical characteristics were analyzed and subsequently the percentage of fatty acids by gas chromatography. The results obtained regarding the extraction indicated that the highest percentage of fat was: H with 19.43%. For the physical characteristics in terms of the highest density it was MO with 0.949 and for the refractive index it was V with 1.481. Regarding the chemical characteristics, MO has a value of 1,803 mg KOH / g of oil for the acidity index and 292.53 g I<sub>2</sub> / 100g for the iodine index. Gas chromatography indicated that the components of greatest abundance were: Oleic Acid with 19%, Methyl Linoleate with 88%,  $\alpha$ -Linoleic Acid with 88%, and Linoleic Acid with 88%.

Finally, an ANOVA statistical analysis was performed in the Minitab 18 program, concluding that the previous thermal applications were not significantly different compared to the sample without treatment.



## CAPITULO 1

### 1.1 Introducción

Los ácidos grasos [AG] poseen diferentes características al ser un conjunto diverso de moléculas con funciones especializadas, entre las cuales se encuentran los ácidos grasos de cadena corta, cadena larga, saturados e insaturados y una combinación de todos estos. En el caso de los AG insaturados su nomenclatura se diferencia por poseer dobles enlaces entre los átomos de carbono-carbono tomando en cuenta el grupo metilo [CH<sub>3</sub>]; es decir el grupo omega como punto de inicio. A partir de esto se puede clasificar a los AG como omega-3, omega-6 y omega-9 (Sanhueza, Durán, & Torres, 2015). Los AG mencionados tienen propiedades benéficas cumpliendo diferentes funciones a nivel del organismo, contrarrestando varias enfermedades y contribuyendo a llevar una vida sana y equilibrada.

Durante los últimos años la utilización de alimentos que contienen ácidos grasos poliinsaturados [AGPIs] han incrementado notoriamente, ya que aporta efectos positivos para el ser humano mejorando el funcionamiento del Sistema Nervioso Central. Gómez, Bermejo, Kohem (2011) citado por Chamorro, Pacheco, & Tamayo (2016), especifica que la ingesta adecuada de aquellos AGPIs que poseen cadena larga que se encuentran dentro del grupo omega-3 como el ácido docosahexaenoico [DHA] y el ácido graso eicosapentaenoico [EPA], son de suma importancia dentro de la alimentación ya que promueve un buen funcionamiento cerebral incrementando la fluidez de las membranas neuronales y especialmente el ácido araquidónico [AA] y [EPA], funcionan interviniendo en varios de los procesos neuronales.

Durante las últimas décadas el AG DHA ha sido propuesto como agente neuroprotector, ayudando a disminuir el envejecimiento y el desarrollo progresivo de Alzheimer, además de contribuir en los primeros años de vida tanto para el desarrollo visual como para el

sistema nervioso central; mientras que el ácido graso EPA actúa como cardioprotector (Morales *et al.*, 2012).

La finalidad que tiene el presente trabajo es el de establecer tratamientos térmicos; calor húmedo [vapor], calor seco [horno] y alta frecuencia [microondas], previos a la obtención de lípidos de la semilla de linaza *Linum usitatissimum L.* con el objetivo de determinar si los diferentes procesos influyen de manera considerable en el porcentaje de ácidos grasos extraídos.

## **1.2 Antecedentes**

El interés que ha habido en los últimos años por el uso de las semillas de perilla, linaza y chíá han incrementado radicalmente, esto debido a que, al ser semillas oleaginosas, han logrado convertirse en alimentos populares por los beneficios que aportan combatiendo enfermedades neurológicas, cardiovasculares, actividades antioxidantes, cáncer y en contra de trastornos hormonales. La linaza es una semilla con grandes beneficios, por tal motivo, sus investigaciones han aportado significativamente en el área de enfermedades y dietas por las propiedades que presenta para la prevención y control de riesgos que puedan presentarse a la salud (Sargi *et al.*, 2013).

La extracción asistida por microondas como un método para la extracción de ácidos grasos resultó ser eficiente y confiable para altos rendimientos de ácidos grasos en el estudio realizado por Afolabi, Kholijah, Mudalip, & Alara, (2018); en dónde se analizaron tres parámetros: tiempo de irradiación, temperatura del microondas y potencia del microondas, dando como resultados positivos un máximo rendimiento de extracción del 16.13% m/m a una potencia de 800 W.

Por otro lado Silva, Gallardo, & Pascual, (2013) evaluaron las características físico-químicas del aceite de linaza obtenido por diferentes procesos de molienda dando como

resultados de densidad de 0.931 g/ml ( $p>0.05$ ), índice de refracción de 1.482 ( $p>0.05$ ), índice de acidez entre 0.588 y 0.811 mg KOH/g de aceite ( $p<0.05$ ), índice de peróxido entre 0.256- 1.123 ( $p>0.05$ ), índice de yodo entre 195.985 y 196.386 meq de oxígeno activo/kg de aceite ( $p<0.05$ ), índice de saponificación entre 189.675 y 191.584 mg KOH/g aceite ( $p<0.05$ ).

### **1.3 Problema de investigación**

Se consideran que los AGPIs son esenciales ya que proporcionan ciertas funciones que el organismo no puede sintetizar y debido a esto se deben de obtener a través de diversos alimentos, por lo que se debe contar con una fuente dietética rica en semillas de girasol, linaza, y soja con la finalidad de conservar concentraciones óptimas en los tejidos centrales y periféricos (Messamore & McNamara, 2016). El déficit de estos ácidos grasos esenciales [AGEs] no es común en personas adultas y niños que llevan una dieta balanceada en AAL y AL. Por otra parte, se debe tener en cuenta el riesgo que puede ocurrir con la deficiencia de AGEs en aquellas poblaciones que sufren síndromes de mala absorción u otras características que provoquen o limiten la asimilación de estos (Mogensen, 2017).

Investigaciones recientes han demostrado que dentro del grupo omega-3, el DHA es el AG que se encuentra en mayor proporción en el cerebro, dando como resultado un mejoramiento de la memoria en personas mayores y su capacidad cognitiva. El desarrollo de productos que contengan este tipo de grasas ha llevado a una producción que demanda 110 000 toneladas de aceite que se encuentren terminados, siendo los más utilizados los aceites concentrados y los aceites refinados. La materia prima más utilizada para su producción es obtenida a partir de la anchoa y mayormente de la anchoaveta, explicó Aldo Bernasconi de GOED (Acuicola, 2019).

Teniendo en cuenta esto, se busca encontrar nuevas fuentes de origen vegetal que sean ricas en omega-3. Además, al momento de la producción de estos aceites, pueda que no se estén aprovechando en su totalidad el rendimiento de ciertos alimentos de los cuales se obtienen los aceites, por lo que se implementaron tratamientos térmicos para determinar si se potencian sus características.

#### **1.4 Formulación del problema o pregunta de investigación**

¿Los tratamientos a los que se someten las semillas antes de su extracción influyen en el rendimiento de ácidos grasos?

#### **1.5 Objetivos**

##### **1.5.1 General**

Establecer la influencia de tratamientos térmicos para la obtención de ácidos grasos a partir de la linaza (*Linum usitatissimum*) determinando el pretratamiento más eficiente.

##### **1.5.2 Específicos**

- Extraer los lípidos de las semillas pre-tratadas térmicamente a través de procesos químicos estableciendo el mejor tratamiento.
- Caracterizar los extractos de linaza (*Linum usitatissimum*) a través de pruebas de laboratorio determinando sus propiedades fisicoquímicas.
- Cuantificar los ácidos grasos de los extractos obtenidos mediante pruebas de laboratorio estableciendo cuál de los pretratamientos aplicados da un mejor resultado.

#### **1.6 Hipótesis**

Los tratamientos térmicos influyen en la extracción de ácidos grasos de linaza *Linum usitatissimum* L. aumentando la eficiencia de extracción.

## 1.7 Justificación

Con el tiempo diversas enfermedades avanzan y afectan significativamente la calidad de vida de muchas personas. Se busca plantear alternativas para el tratamiento de enfermedades de relativa importancia dentro de las cuales están diabetes mellitus, enfermedades cardiovasculares, trastornos hormonales, prevención del cáncer y Alzheimer. Varias investigaciones se enfocan en la utilización de ácidos grasos para el tratamiento de dichas enfermedades, en las que destacan principalmente los AGPIs.

Dentro de la clasificación de los AG se hace hincapié a los omega-3 y omega-6 siendo de gran importancia el ácido alfa linolénico [AAL o ALA] que al metabolizarse produce EPA y DHA, mientras que los omega-6 el de igual importancia es el ácido linoleico [AL] que al metabolizarse de igual manera produce ácido graso  $\gamma$ - linoleico [GLA], ácido dihomo- $\gamma$ -linolénico [DGLA] y ácido araquidónico [AA] que en relaciones adecuadas con los del omega-3 pueden contrarrestar enfermedades ya mencionadas.

Las citocinas proinflamatorias se ven relacionadas íntimamente con el síndrome de respuesta inflamatoria sistémica; EPA proporciona un rol importante en cuando la supresión del aumento de estas.

Se ha comprobado que las dietas suplementadas con AAL en algunos estudios realizados con animales, intervienen en la concentración de lipoproteínas en el plasma. Esta capacidad que contribuyen a la disminución de lipoproteínas de baja densidad [LDL] puede ser de gran importancia, ya que elevados niveles de LDL en plasma se encuentran correlacionados con el riesgo de desarrollar aterosclerosis.

A su vez; se han realizado estudios a 50 000 mujeres, encontrándose que el aumento en la ingesta de AAL redujeron los síntomas depresivos. Estudios previamente realizados en ratones con AAL mostraron valores similares, el cual ejerció efectos antidepresivos. Este

efecto estuvo asociado con una elevada sinaptogénesis y un aumento en los niveles de ARNm de factor neurotrófico derivado del cerebro maduro.

Por lo tanto; tras investigaciones realizadas se puede establecer las semillas de linaza aportan cantidades significativas de AAL, por lo que su uso está en auge e investigaciones han confirmado que su consumo regular evita la aparición de enfermedades ya señaladas.

Tras lo antes mencionado se ejecutó varios métodos en los cuales se aplicaron tratamientos térmicos a las semillas, esto con el propósito de dar a conocer si es que sus características varían dando un rendimiento más óptimo en cuanto al porcentaje de AG, potenciando así sus características para sus diversos usos en un futuro.

### **1.8 Limitaciones**

El presente proyecto se ejecutó en los laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, durante el lapso de seis meses; en consecuencia, las limitantes posibles fueron: el tiempo, presupuesto, infraestructura y el tiempo que llevó el análisis cromatográfico de las muestras.

## CAPITULO 2

### 2.1 Estado del arte

Científicos han investigado diversos factores los cuales fueron estudiados para determinar el rendimiento y la calidad que posee el aceite de linaza, dentro de estos se destaca la densidad, el valor del Índice de Yodo, el valor del Índice de Peróxido y la temperatura en cuanto a su estabilidad. Algunos investigadores estudiaron la composición de ácidos grasos y las características fisicoquímicas del aceite de la cáscara de linaza siendo los resultados los siguientes: Índice de Yodo 170, Índice de Saponificación 178, Índice de Peróxido 1.80 y en cuanto al principal ácido graso que se encontró, fue el ácido linolénico en un 49%. A su vez hubo evidencia de ácidos grasos saturados que están entre 11 % y 12 % (Herchi *et al.*, 2016).

A su vez, se han determinado que el consumo de linaza como aceite o extracto produce efectos antiinflamatorios ya que contribuye a la inhibición de la producción de prostaglandinas [PGE<sub>2</sub>], ciclooxigenasas [COX] y lipooxigenasas [LOX] a través de la ruta metabólica del araquidonato. Sacha Inchi, *Plukenetia volubilis* es una semilla originaria del Perú que posee propiedades similares, es rica en omega 3 siendo su principal componente el ácido linoleico. El consumo de 15 mL/día colabora a aumentar el nivel plasmático de dicho ácido a partir de las 2 horas de su ingestión cumpliendo un rol de protector cardiovascular (Caballero & Gonzáles, 2016). Por otra parte; se sabe que el consumo de ácidos grasos tanto omega-6/omega-3 son esenciales para que el organismo produzca efectos fisiológicos adecuados, en relaciones 3:1 de estos ácidos grasos ayuda a pacientes con problemas de artritis reumatoide a disminuir la inflamación, mientras que un consumo en una proporción 15:1 puede provocar el desarrollo de enfermedades inflamatorias, cancerígenas o cardiovasculares (Sanhueza *et al.*, 2015).

## **2.2 Bases teóricas**

La semilla de linaza se ha estado convirtiendo en una valiosa materia prima para las industrias involucradas en los mercados mundiales pudiendo llegar a convertirse en un cultivo industrial. El interés en el avance de la "química verde" y los polímeros biodegradables, podría crear una gran demanda de aceite de linaza que sea de elevadas insaturaciones como sustrato industrial para la producción materias primas y polioles utilizados en la industrialización química (Kolodziejczyk, Ozimek, & Kozłowska, 2012).

Herchi *et al.*, (2016) en su investigación aplica procesos de calentamiento a la cáscara de la semilla de la linaza. Estos procesos provocaron una disminución en cuanto a los porcentajes relativos de los ácidos grasos insaturados [AGIs]. La disminución de los AGPIs en el aceite de la cáscara de la semilla de linaza fue menor (55.46%).

Por otra parte Haruna, Siti, & Oluwaseun (2018) establecieron la técnica de extracción asistida por microondas para la extracción de AG a partir de anguila *Monopterus albus* utilizando como solvente de extracción etanol. El rendimiento máximo de extracción fue de 16.13% p / p con un índice de acidez de 1.35 y 2.69 mg de KOH / g. Los resultados reportados constituyeron una manera confiable y eficiente para la obtención de altos rendimientos de AG con un gran potencial para la aplicación en la industria.

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

La linaza, conocida también como "semilla de Lino" es conocida alrededor del mundo por sus usos alimenticios y medicinales (Challco & Huaman, 2013; Morris, 2007). Los términos "linaza" y "semilla de Lino" varían acorde al uso. Por ejemplo, en Norteamérica se denomina linaza al producto para alimentación humana y el término de semilla de lino cuando el producto es usado con fines industriales (Morris, 2007).



Varios estudios han definido que la linaza es una fuente muy alta en proteínas, grasas y fibra dietética para el consumo humano. Dentro de su estructura se encuentran componentes ricos en grasa vegetal, especialmente omega-3 y otros nutrientes, que la distingue de otras semillas oleaginosas como el girasol, *Helianthus annuus* y la canola, *Brassica napus* (Adolphe & Fitzpatrick, 2014; Sanhueza *et al.*, 2015). Así también, su uso industrial es por la alta producción de aceite como materia prima para la industria textil y la oleaginosa (Canali, 1946).

Dentro de los principales componentes de la semilla se destacan: AAL que es un AGPIs perteneciente al grupo de los  $\omega$ -3 [omega-3], el lignano vegetal secoisolariciresinol diglucósido [SDG] y la fibra soluble (Adolphe & Fitzpatrick, 2014).

## 2.4 Clasificación taxonómica

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

<b>Nombre Científico</b>	<i>Linum usitatissimum</i>
<b>Nombre Botánico</b>	<i>Linum usitatissimum</i>
<b>Nombre común</b>	Linaza, Lino
<b>Familia</b>	Linaceae
<b>Género</b>	<i>Linum</i>
<b>Especie</b>	<i>L. usitatissimum</i>

Fuente: (Jebe&lo, 2012)

## **2.5 Características de la semilla**

La semilla está comprendida por un germen o embrión, dos cotiledones y un endospermo. Se localizan en la parte interna del fruto con una longitud de 4-6 mm; son de forma alargada y aplanada de color marrón brillante y poseen alta cantidad de mucilagos y otros tipos de fibras y pigmentos que le dan el color marrón característico de la semilla. Posee un sabor aceitoso y carece de olor (Challco & Huaman, 2013; L. López, 2010). Solís (2018) indica que el principal tejido que tiene la capacidad de almacenar el aceite son los cotiledones. Está compuesto por 98% de triacilgliceroles y se localizan en glóbulos de aceite de 1.3  $\mu\text{m}$  de diámetro.

Es importante conocer el color de la semilla, ya que con esta característica se puede diferenciar entre las distintas variedades, presentando una menor cantidad de aceite aquellas de color café-oscuro en comparación con las de color amarillo-claro. Además, las semillas de linaza presentan un alto contenido de ácidos grasos [AG]. Principalmente las de color café-oscuro son más ricas en AAL, el cual es uno de los componentes más importantes de la familia  $\omega$ -3; mientras que la de color amarillo puede ser de dos variedades, la primera que se encuentra producida en Estados Unidos, denominada como  $\omega$ , que de la misma manera es rica en AAL como las semillas de linaza café-oscuro; y otra variedad completamente diferente que adquiere el nombre de solin. Esta última se utiliza generalmente en la producción de margarinas por presentar cantidades bajas de AAL (L. López, 2010).

## **2.6 Composición de la semilla**

Dentro de su composición se encuentran componentes ricos en grasa vegetal, especialmente  $\omega$ -3, fibra dietética y otros nutrientes, que la distingue de otras semillas oleaginosas como el girasol y la canola (L. López, 2010).

En general la semilla de linaza es rica en AG. Por su característica de ser oleaginosa puede contener aceite hasta un 40%, siendo 95% insaturados. De este 95%, el 55% está representado por AG de la familia  $\omega$ -3. Así mismo, posee un 27% de fibra dietética, 20% de proteína y 2% de antioxidantes en los que se encuentran fitoestrógenos, especialmente



*Figura 1. Linaza Linum usitatissimum L*

*Fuente: Autor*

lignanós (Flax Council of Canada, 2007).

## **2.7 Perfil nutricional**

La linaza posee un alto nivel nutricional gracias a los compuestos que se encuentran presentes (Sargi et al., 2013). El AAL, que es un compuesto perteneciente a la familia  $\omega$ -3; el SDG, establecido como un lignano vegetal y la fibra soluble, son componentes esenciales de esta semilla, los cuales aportan ciertos beneficios para la salud (Benítez *et al.*, 2017).

En el trabajo realizado por Adolphe & Fitzpatrick (2014) se da a conocer que el SDG está considerado como un fitoestrógeno con características parecidas al estrógeno. La linaza posee 800 veces más lignanos en comparación con otras semillas oleaginosas. El

SDG contrarresta varias enfermedades graves y posee un alto poder oxidativo. De la misma manera, la linaza posee un nivel mayor de AG  $\omega$ -3 que de  $\omega$ -6; por lo que recomienda una ingesta de AAL de 1.1 g/día para mujeres y 1.6 g/día para hombres.

## **2.8 Lípidos**

Los lípidos son considerados como componentes primordiales del tejido adiposo, que en conjunto con hidratos de carbono y las proteínas forman los principales componentes estructurales de las células. Desempeñan una función significativa dentro de la nutrición al suministrar ácidos grasos esenciales [AGEs] y calorías, para transportar vitaminas liposolubles y además mejorar las características organolépticas de los alimentos (J. Arias & López, 2015). Están caracterizados estructuralmente por sus cadenas largas, en las cuales predomina el hidrógeno y el carbono, siendo el oxígeno relativamente escaso y por esta razón se les otorgan propiedades hidrofóbicas (Durán, 2014).

Dentro del grupo de lípidos se encuentran las grasas que son una mezcla de triglicéridos [TG] o también denominados como triacilglicéridos. Estos están formados por 1 molécula de glicerol y por 3 moléculas de AG. La principal diferencia entre ellas radica en la estructura de AG que difieren por el número de dobles enlaces y a su vez en el número de átomos de carbono. Estas grasas no solamente incluyen aquellas grasas perceptibles como la grasa de la carne, el aceite de oliva o la mantequilla, sino que también aquellas grasas imperceptibles como las que disponen los pescados, los frutos secos o la leche (Carbajal, 2013).

## **2.9 Clasificación de los lípidos**

Los lípidos según Brumovsky & Horianski (2016) pueden clasificarse en saponificables e insaponificables.

Los saponificables son ésteres, un alcohol y uno o más AG. Son caracterizados como su nombre lo dice por sufrir saponificación. Este consiste en la hidrólisis básica de un éster que da lugar a un alcohol y a una sal del ácido carboxílico.

Los insaponificables son los que no poseen AG o ésteres en su estructura, por ende, no sufren saponificación. Dentro de este grupo sobresalen las prostaglandinas, terpenos y esteroides (Sanhueza *et al.*, 2015).

Por otro lado, L. 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 2].

*Tabla 2. Clasificación de los lípidos*

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

*Fuente: (L. López, 2010)*

## **2.10 Ácidos grasos [AG]**

Estructuralmente los AG son cadenas de hidrocarburos con un grupo metilo [CH<sub>3</sub>] en un extremo y con un grupo carboxilo [COOH] en el otro, que pueden poseer dobles enlaces, a

los cuales se les consideran como insaturaciones. Son solubles en disolventes apolares e insolubles en el agua (Durán, 2014).

Por otra parte (A. López, 2014; Rodrigues et al., 2016) recalcan que los AG vienen definidos como ácidos orgánicos monocarboxílicos de cadena lineal larga de 12 a 26 átomos de carbono. Ayerza (2019) especifica que generalmente los ácidos grasos en su totalidad poseen entre 4 a 22 átomos de carbono, definiéndose así por la longitud de la cadena y la presencia de insaturaciones que posee un AG, influenciando de esta manera sobre la grasa para determinar si es líquida o sólida. Son estables e inertes, pueden almacenarse por largos periodos de tiempo y soportar altas temperaturas (L. López, 2010).

Los AG se clasifican según su cadena o según su grado de saturación (Tontul, Eroglu, & Topuz, 2017).

De acuerdo a su cadena se clasifican en:

- Cadena corta
- Cadena media, y,
- Cadena larga

y según su grado de saturación en:

- Saturados
- Insaturados

En la tabla 3 se indican los AG más comunes en los alimentos.

Tabla 3. Ácidos grasos comunes

Nombre sistemático	Nombre común	Estructura
<b>Ácidos saturados</b>		
n-Butanoico	Butírico	4:0
n-Hexanoico	Caproico	6:0
n-Octanoico	Caprílico	8:0
n-Decanoico	Cáprico	10:0
n-Dodecanoico	Láurico	12:0
n-Tetradecanoico	Mirístico	14:0
n-Hexadecanoico	Palmítico	16:0
n-Octadecanoico	Estearico	18:0
n-Eicosanoico	Araquídico	20:0
n-Docosanoico	Behénico	22:0
<b>Ácidos insaturados</b>		
cis-9-Hexadecenoico	Palmitoleico	16:1, $\omega$ -7
cis-9-Octadecenoico	Oleico	18:1, $\omega$ -9
cis-cis-9,12- Octadecadienoico	Linoleico	18:2, $\omega$ -6
cis-9,12,15- Octadecatrienoico	Alfa-linolénico	18:3, $\omega$ -3
cis-5,8,11,14- Eicosatetraenoico (ÁA)	Araquidónico	20:4, $\omega$ -6
cis-5,8,11,14,17- Eicosapentaenoico (EPA)	Eicosapentaenoico	20:5, $\omega$ -3
cis-4,7,10,13,16,19- docosahexaenoico (DHA)	Docosahexaenoico	22:6, $\omega$ -3

Fuente: (L. López, 2010)

### **2.10.1 Ácidos grasos insaturados [AGIs]**

Los AGIs están denominados así por poseer dobles enlaces en su estructura, por lo tanto, a mayor número de dobles enlaces más insaturados se encuentran. Desempeñan un rol importante dentro del organismo a nivel nutricional. El organismo no puede producir por sí mismo, por lo que debe de obtenerse de fuentes externas para poder sintetizarlos (Ortiz & Dorantes, 2010; Tabio, Díaz, Rondón, Fernández, & Piloto, 2017). Los autores Brumovsky & Horianski, (2016); Solís (2018) dan a conocer que dentro de este grupo los más frecuentes son el alfa linolénico, linoleico, oleico, palmitoleico, eicosapentaenoico y el araquidónico.

Por otro lado Rustan & Drevon (2005) indican que los AGIs presentan alta reactividad y a causa de esto pueden sufrir isomerizaciones y transformaciones oxidativas. Estos AG se encuentran en mayor proporción en aceites marinos y vegetales, su punto de fusión disminuye al aumentar los dobles enlaces. Así de esta manera, el punto de fusión de los ácidos grasos saturados siempre será mayor que la de los insaturados (Sargi et al., 2013).

Los AGIs a su vez se dividen en dos diferentes grupos: los ácidos grasos monoinsaturados y los ácidos grasos poliinsaturados.

#### **2.10.1.1 Ácidos grasos monoinsaturados [AGM]**

Estos AG son considerados como uno de los más importantes dentro de los alimentos de origen animal y vegetal encontrándose en mayor proporción en el aceite de oliva, ya que ayuda a la prevención de enfermedades cardiovasculares por la capacidad que tienen de disminuir el colesterol LDL que es calificado como malo y aumentar el HDL calificado como bueno (León, 2012; Programa Perseo, 2014).



### **2.10.1.2 Ácidos grasos poliinsaturados [AGPIs]**

Los AGPIs se clasifican según el lugar que ocupa el primer doble enlace respecto al carbono omega que se encuentra dentro de la estructura de la cadena. Se reconocen tres tipos de AGPIs: omega 3 ( $\omega$ -3), omega 6 ( $\omega$ -6) y omega 9 (Sanhueza *et al.*, 2015).

Los alimentos de origen animal como el pescado y otros de origen vegetal como el aceite de girasol, son alimentos que poseen altos niveles de AGPIs; siendo los más esenciales e importantes los AGPIs que pertenecen al grupo  $\omega$  -3 y  $\omega$  6. Para la prevención de enfermedades degenerativas los AGPIs pertenecientes a la familia  $\omega$ -3 desempeñan una función sumamente importante; siendo el pescado uno de los alimentos principales que aportan estos AG (Programa Perseo, 2014).

### **2.11 Ácidos grasos esenciales [AGEs]**

Los AGEs son una fuente importante para la dieta humana, estos no pueden ser sintetizados por los seres humanos por lo que se debe obtener de otras fuentes alimenticias. Son primordiales dentro de la célula, ya que contribuyen a la generación de la estructura de las membranas y las mantienen flexibles (Mogensen, 2017). Son factores importantes ya que son precursores de varios AG de cadena larga, estos se transforman en componentes esenciales en diferentes procesos biológicos como: la señalización de las células, respuestas antibacterianas, inflamaciones, etc (Tontul *et al.*, 2017).

Los AG como el AAL y el AL pertenecen a este grupo y poseen características atribuibles para mejorar la calidad de vida y además de encontrarlos en fuentes vegetales y animales, están presentes en gran porción en la leche materna (Swanson, Block, & Mousa, 2012). El AAL mediante elongasas y desaturasas pueden transformarse en EPA y después en DHA. Por otra parte, el AL perteneciente a la familia  $\omega$ -6 sirve como precursor para obtener el AA. El DHA y el EPA son componentes de suma importancia para la estructura

de la membrana de los fosfolípidos y sirven como sustrato para la formación de los lípidos eicosanoicos (Chamorro *et al.*, 2016).

El consumo de alimentos ricos en  $\omega$ -6 y  $\omega$ -3 han incrementado notoriamente en los últimos años, por lo que se recomienda una relación  $\omega$ -6 / $\omega$ -3 de 5:1 y máximo 10:1. (Paula, Lilia, & Vilma, 2013).

### **2.12 Composición de ácidos grasos presentes en la Linaza**

La linaza está considerada como una composición de AG, la que es rica en AGPIs sobretodo en AAL, siendo este uno de los componentes principales de la linaza, evidenciándose un 57% de AG totales (Caballero & Gonzáles, 2016). En el estudio de L. López (2010), se da a conocer que la linaza posee un 0.25 y 4.6 % de ácido esteárico, 5.1 y 6.7% de ácido palmítico, 17.8 y 24.3% de ácido oleico, 16.3 y 20% de ácido linoleico y 45.1 y 55% de ácido alfa-linoleico.

La cubierta de la semilla de linaza es escasa en lípidos, generalmente 22%, pero posee ácido palmítico en abundancia. A pesar de esto los predominantes son el AL, AAL, y ácido oleico que naturalmente se encuentran en los cotiledones (L. López, 2010; Solís, 2018). La semilla de linaza es la única que posee mayor cantidad de ácidos grasos  $\omega$ -3 en comparación con los ácidos grasos de la familia  $\omega$ -6 (Morris, 2006).

### **2.13 Beneficios de la linaza**

Las grasas *trans* y los AGS presentan características no deseables al ser ingeridas por el ser humano y son consideradas como factores de riesgo para enfermedades cardiovasculares y diferentes tipos de cáncer. Se recomienda un aumento en el consumo de grasas monoinsaturadas y poliinsaturadas para disminuir el índice de colesterol LDL (Cabezas, Hernández, & Vargas, 2016).

Los lignanos, benefician al ser humano contrarrestando varias enfermedades que afectan gravemente a la salud como: enfermedades autoinmunes, enfermedades cardiovasculares, diabetes y cáncer, aminorando la inflamación en el crecimiento de células cancerígenas (Swanson *et al.*, 2012). Los ácidos grasos  $\omega$ -3 sirven como precursores de prostaglandinas, los cuales regulan la presión arterial, la inmunidad, la coagulación y otras actividades fisiológicas (E. Pérez *et al.*, 2013).

Durán (2014); Lane, Derbyshire, Li, & Brennan (2014) indican que se realizaron estudios acerca del consumo de aceite de linaza en comparación con el aceite de nuez de nogal para tratar la hipercolesterolemia moderada en mujeres y hombres, revelando que la ingesta del aceite de la semilla de linaza tiene efectos positivos al reducir el colesterol.

Messamore & McNamara (2016) explican que a la linaza se la considera como uno de los alimentos más importantes del siglo XXI por su capacidad de reducir y/o prevenir el riesgo de distintas enfermedades como el lupus, diabetes, arterioesclerosis, nefritis y tipos de cánceres que son dependientes de hormonas

#### **2.14 Aceites vegetales**

Los aceites son ésteres que se encuentran formados por la unión del glicerol con los ácidos grasos. Estos constituyen compuestos más estables, son insolubles en agua, no se degradan fácilmente y poseen menor densidad que el agua. Pueden deteriorarse químicamente con el tiempo ya que sufre un proceso de oxidación o también conocido como rancidez, el cual es uno de los factores principales en la alteración de la calidad del aceite con una cantidad de lípidos elevada (Chamorro *et al.*, 2016; Flax Council of Canada, 2014).

Los aceites vegetales se definen como compuestos orgánicos obtenidos principalmente de las semillas de las plantas. Se encuentran comúnmente en los tejidos como fuente de

energía (Tabio *et al.*, 2017). Entre la descripción que algunos autores realizan (Programa Perseo, 2014; Tabio *et al.*, 2017), definen a los aceites vegetales como un líquido graso, que pueden ser utilizados con fines energéticos, lubricantes o alimenticios. Dentro de su composición química en su mayoría corresponde a 5% de ácidos grasos libres, ceras, esteroides y otros componentes en menor proporción y a un 95% de TG, los cuales son triésteres formados por la reacción de los ácidos grasos (Brumovsky & Horianski, 2016; Durán, 2014).

Acorde a Knothe, G, *et al.* (2005) citado por Tabio *et al.* (2017) hace mención a que los aceites menos idóneos y peligrosos para el consumo humano diario son el algodón, *Gossypium sp.*, ricino, *Ricinus communis* o jatropa, *Jatropha curcas*.

## **2.15 Extracción del aceite**

La extracción de los aceites vegetales puede realizarse por dos diferentes métodos: con solventes y por prensado (Solís, 2018). El primero es el más efectivo ya que posee la capacidad de extraer la mayor cantidad de lípidos que se encuentran en la semilla (Universidad Pablo de Olavide, 2004).

### **2.15.1 Extracción con solventes**

La extracción que se realiza a través de solventes para muestras sólidas; por lo general son denominadas como lixiviación o extracción sólido-líquido. Estos métodos se basan en la separación de componentes antioxidantes que tiene la muestra en su forma sólida. Para la obtención de estos componentes se requiere el uso de solventes orgánicos que deben ser selectivos dependiendo del tipo de muestra que se tenga (Tabio *et al.*, 2017).

La viscosidad del solvente a utilizarse debe ser baja para que pueda circular fácilmente por el material (Canali, 1946). Al principio se lo realiza con un solvente altamente puro ya que a medida que avance la extracción la pureza disminuirá, en primer lugar, debido al

gradiente de concentración y en segundo lugar, debido a que la solución se torna más viscosa (Guarín, n.d.).

Caldas (2012) menciona que, al seleccionarse un solvente, este debe ser el más adecuado; con la finalidad de que de un rendimiento óptimo y se obtenga las características necesarias. Este solvente debe tener características requeridas como las siguientes:

- Presión de vapor baja
- Densidad baja
- Inflamabilidad y toxicidad baja
- Costo bajo
- Tensión superficial baja
- Fácil de recuperar

Existen diferentes solventes que sirven para la extracción de aceites [tabla 4]. Uno de los más utilizados es el hexano (Tabio *et al.*, 2017).

Tabla 4. Solventes más utilizados y su temperatura de ebullición

<b>Solventes</b>	<b>Temperatura de ebullición (°C)</b>
Éter	35
Diclorometano	40
Éter de petróleo	35-50
Cloroformo	62
Metanol	65
Etanol- benceno	65
Hexano	69
Etanol-tolueno	73
Acetato de etilo	77
Etanol	78
Benceno	80
Ciclohexano	81
Ácido fórmico	101
Dioxano	102
Tolueno	111

Fuente: (Tabio et al., 2017)

### **2.16 Pruebas fisicoquímicas del aceite**

Los aceites esenciales posterior a su extracción son sometidos a diversas pruebas tanto físicas como químicas. Estas pruebas se realizan con el propósito de identificar distintas propiedades que poseen y a su vez determinar la calidad que presenta el aceite. Dentro de las pruebas que logran establecer la calidad del aceite se encuentran: índice de yodo, índice de acidez, índice de saponificación, índice de peróxido, índice de refracción y la densidad.

## **2.17 Cromatografía de Gases [CG]**

La CG ha desempeñado un rol importante para el estudio de las diferentes clases de lípidos que han sido encontrados de varias fuentes naturales, ya sea de origen animal como vegetal. De acuerdo con Stambuk, J. 1970 citado por L. López (2010), dice que la CG se considera como una técnica analítica que se utiliza para separar, identificar y cuantificar aquellos componentes que posee una mezcla a través de un cromatógrafo de gases. Su principio se basa en la diferencia que presenta las velocidades de migración de los componentes al ser arrastrado por un gas inerte a través de una columna.

López, (2014) cita a Christie (1989) mencionando que los AGs habitualmente son transformados a ésteres metílicos de ácidos grasos (EMAGs) previos a su estudio; esto con la finalidad de incrementar la volatilidad, lograr una resolución mucho más alta de los relativos derivados de AGs y optimizar la forma de picos.

Los elementos de la muestra que se desea analizar se inyectan y posteriormente se volatilizan en la columna cromatografía. La elución es producida por el flujo del gas inerte que se encuentra constituida por la fase móvil. La columna cromatográfica es atravesada por la corriente del gas y arrastra los diferentes elementos de la muestra que se separan en función del grado en el que interactúan con la fase estacionaria (Solís, 2018).

## **CAPITULO 3**

### **3.1 Nivel de investigación**

El presente trabajo tiene un nivel de investigación descriptivo, ya que se estudiarán las variables independientes, las cuales son los tratamientos térmicos a las que se someterán las semillas de linaza, dándose a conocer de manera científica el estudio realizado. La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento (F. Arias, 2012).

### **3.2 Diseño de investigación**

El diseño de investigación es experimental, debido a que al aplicar tratamientos térmicos a la materia prima se establecerá cual influye, aumentando la eficiencia de extracción. Esto implica el someter a un grupo de objetos a determinadas condiciones, estímulos o tratamientos, para observar los efectos o reacciones que se producen (F. Arias, 2012).

### **3.3 Variables**

- Variable independiente: los tratamientos térmicos
- Variable dependiente: rendimiento de extracción y características del aceite.
- Variables intervinientes: la temperatura ambiente, variedad de linaza, estado de maduración y conservación de las semillas.

### **3.4 Población y muestra**

Se va a tener una población finita accesible que se obtendrá de uno de los locales del Centro Comercial El Arenal, tomando como muestra una cantidad de 1 kg, con la finalidad de obviar variaciones en los resultados durante el desarrollo de la investigación.



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

Dentro de las técnicas e instrumentación para la recolección de datos se utilizan varias fuentes como: artículos científicos, tesis, libros y artículos de revistas.

### **3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Para las técnicas de procesamiento y análisis de datos, se aplicará análisis estadístico mediante diseño completamente al azar, para determinar la incidencia de los diferentes procesos con la finalidad de dar a conocer cuál de los tres pre-tratamientos térmicos [V, H, MO] es el que produce mejores rendimientos de ácidos grasos.

### **3.7 Procedimiento**

#### **3.7.1 Fase 1. Obtención del extracto**

En esta fase se proporcionan los métodos necesarios para la realización del primer objetivo específico, el cual se refiere a la aplicación de tratamientos térmicos y la extracción de sus lípidos detallando los procedimientos aplicados durante la investigación.

##### **3.7.1.1 Adquisición de la materia prima**

La linaza se obtiene como materia prima en el mercado “El Arenal” ubicado en la ciudad de Cuenca-Ecuador, tomando tres muestras de 500 g para la aplicación de tres tratamientos térmicos, y uno al que no se lo someterá a ningún tratamiento.



Figura 2. Muestras de Linaza, *Linum usitatissimum* L.

Fuente: Autor

### 3.7.1.2 Aplicación de tratamientos térmicos

Tras la toma de las muestras se procede a la aplicación de 3 tratamientos térmicos [tabla5].

Tabla 5. Tratamientos térmicos aplicados

Tratamiento	Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)
Calor Húmedo (V)	5	100
Calor Seco (H)	5	100
Alta Frecuencia (MO)	5	100

Fuente: Autor

Posteriormente la semilla es molida para reducir el tamaño a partículas más finas con la finalidad de aumentar el contacto entre el solvente y la muestra y obtener un mejor rendimiento durante su extracción; a continuación, se almacena en bolsas herméticas a temperatura ambiente y en la oscuridad con su respectiva etiqueta.

### 3.7.1.3 Obtención de extractos lipídicos mediante método Soxhlet

Para la obtención de los extractos lipídicos se utiliza el método Soxhlet. Inicialmente se pesa un balón esmerilado registrando su masa inicial ( $M_i$ ); seguidamente 30 g de materia prima ( $M_m$ ) se pesan en un cartucho de papel filtro y se lo coloca en el cuerpo del Soxhlet; posteriormente al balón esmerilado se le agrega 150 mL de hexano y se somete a una temperatura de 69 °C, por un periodo de 4 horas con 9 sifonadas para cada extracción. Se deja enfriar por 10 minutos y se recupera el solvente registrando la masa final ( $M_f$ ).

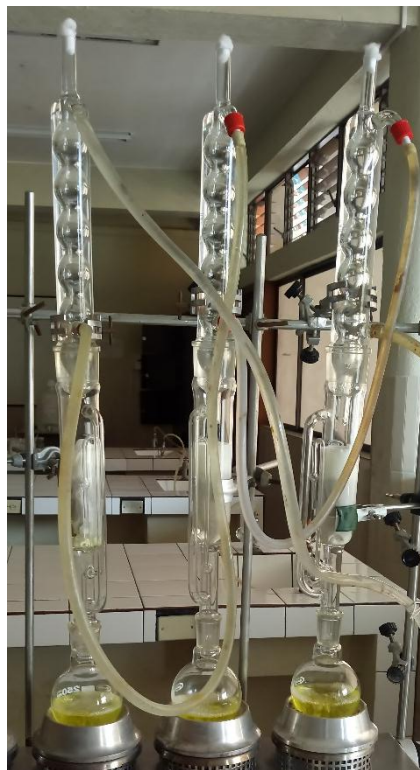


Figura 3. Equipo extractor Soxhlet

Fuente: Autor

### 3.7.1.4 Determinación de la cantidad de lípidos extraídos

Para este paso se realiza el cálculo correspondiente para determinar el porcentaje de grasa obtenido según la siguiente ecuación (Durán, 2014):

$$\% \text{ Grasa} = \frac{M_f - M_i}{M_m} * 100$$

Siendo:

*Mf*: masa final en gramos del balón esmerilado con el aceite

*Mi*: masa inicial en gramos del balón esmerilado vacío

*Mm*: masa en gramos de la muestra

Las muestras se almacenan en botellas ámbar previamente etiquetadas, en refrigeración y en la oscuridad para evitar la acción de la luz y el calor.

### **3.7.2 Fase 2. Caracterización de los extractos**

#### **3.7.2.1 Índice de acidez**

La acidez está considerada como el exceso de iones de hidrogeno que se encuentran presentes en una solución acuosa. Mediante la aplicación de esta prueba se puede expresar o determinar el número de miligramos de KOH que se necesitan para la neutralización de 1 g de muestra. Un Índice de Acidez elevado en el resultado indicará que la muestra se encuentra en deterioro, por lo que se ha dado un proceso de enranciamiento (Quintero, 2012).

En un matraz Erlenmeyer se pesa 2 g de aceite y se añade 10 mL de alcohol etílico al 96%, se agita hasta homogenizar la muestra y se agrega 5 gotas de fenolftaleína. Mediante un equipo de titulación se procede a valorar la muestra con hidróxido de potasio 0.1 N hasta su neutralización, esta vendrá indicada por el viraje persistente a un color rosado, considerándose este como el punto final de la titulación.

El cálculo del índice de acidez se lo realiza mediante la siguiente fórmula (NMX-K-418-1976, 1998):

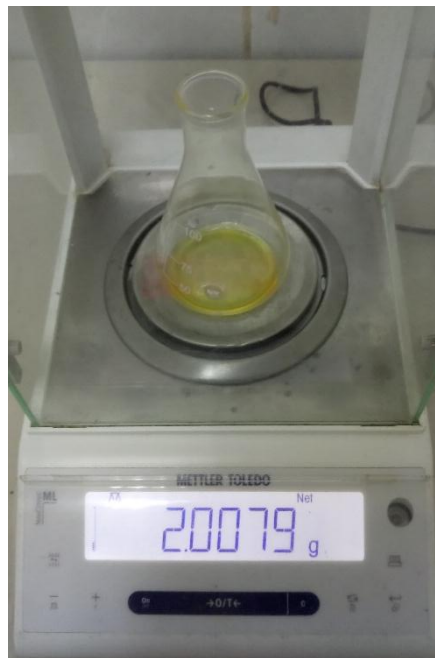
$$IA = \frac{5.61 * V}{M}$$

Siendo:

*IA*: índice de acidez

*V*: volumen en mL de KOH consumidos en la titulación

*M*: masa del aceite en gramos



*Figura 4. Pesaje de la muestra para la determinación del índice de acidez*

*Fuente: Autor*

5.61: peso equivalente del KOH

### **3.7.2.2 Índice de yodo**

El IY viene determinado como el número de miliequivalentes o partes de yodo que se encuentra absorbido por cada 100 partes de peso de la muestra (Croos, 2012). Este índice da a conocer la cantidad de insaturaciones que presentan los ácidos grasos en la muestra. Una muestra que se encuentra saturada totalmente su índice va a ser igual a 0, por otra parte, mientras mayor número de insaturaciones tenga el IY va a aumentar. De la misma

manera la determinación del grado de insaturaciones representa una parte importante para establecer el punto de fusión del muestra; ya que mientras menor insaturación presente la muestra, el punto de fusión disminuirá (Tabio *et al.*, 2017)

Se pesa aproximadamente de 0.25 – 0.30 g de aceite en un frasco con rosca y se agrega 10 mL de cloroformo. Se agita hasta homogenizar la muestra y se añade 25 mL de reactivo Wijs dejándose en reposo durante 60 minutos en la oscuridad. A continuación, se agrega 15 mL de KI al 15 % y 100 mL de agua destilada. Se titula la muestra con tiosulfato de sodio 0.1 N hasta que la solución cambie a un color amarillo paja persistente. Se añade 1 mL de almidón al 1 % el cual sirve como indicador y se continua con la titulación hasta que el color negro de la solución desaparezca y se mantenga persistente, considerándose, así como el punto final de la titulación. Consecutivamente se corre un blanco.

El índice de yodo viene dado por la siguiente fórmula (Croos, 2012):

$$IY = \frac{(VB - VM) * N * 12.67}{masa\ de\ la\ muestra}$$

Siendo:

*VB*: volumen en mL de tiosulfato consumidos en el blanco

*VM*: volumen en mL de tiosulfato consumidos en la muestra

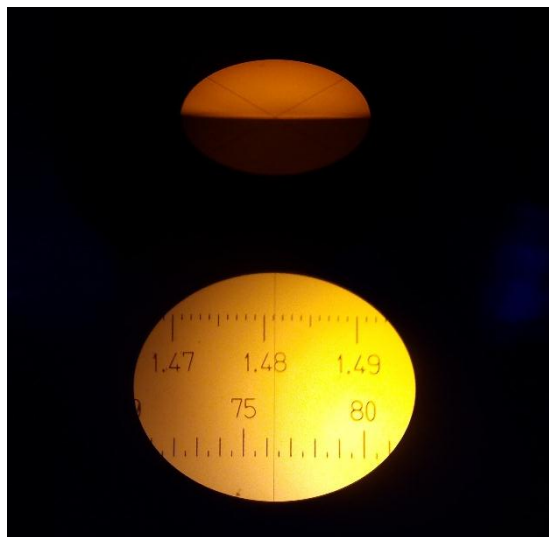
*N*: normalidad de la solución de tiosulfato

*12.67*: miliequivalentes de yodo

### 3.7.2.3 Índice de refracción

El índice de refracción es una medida que determina la reducción de la velocidad de la luz al propagarse por un medio homogéneo. De forma más precisa, el índice de refracción es el cambio de la fase por unidad de longitud (INEN, 2012a).

Siguiendo la metodología propuesta por el Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN] el índice de refracción es medido mediante un refractómetro de marca ABBE; el cual fue previamente calibrado con agua destilada a 20 °C. Se coloca 1 gota de la muestra problema sobre el prisma inferior dejándolo reposar por unos minutos y se prosigue a su lectura. Cada muestra se realiza por triplicado (INEN, 2012a).



*Figura 5. Determinación del índice de refracción a 20 °C  
[1.481 índice de refracción de una muestra sometida a vapor]*

*Fuente: Autor*

### 3.7.2. 4 Determinación de la densidad relativa

La densidad relativa según INEN (2012b) viene definido como la relación existente entre la masa de un volumen semejante al del agua a una temperatura de 25 °C y la masa de un volumen de una sustancia igualmente a 25 °C.

Para la determinación de la densidad se utiliza el método del picnómetro basándose en la Normativa INEN para Grasas y Aceites Comestibles No. 35. Se utiliza un picnómetro de 5 mL, el cual se lava con etanol al 96 %, mezcla sulfocrómica y agua destilada; se seca con una corriente de aire seco y se registra la masa ( $M$ ). A dicho picnómetro se lo llena con agua destilada y de la misma manera se registra la masa ( $M_1$ ). Posterior a esto se vacía el picnómetro y se vuelve a secar con la corriente de aire, se llena con la muestra enrasando el capilar y se registra la masa ( $M_2$ ).

Para los aceites a 20 °C la densidad relativa viene dada por la siguiente ecuación (INEN, 2012b):

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

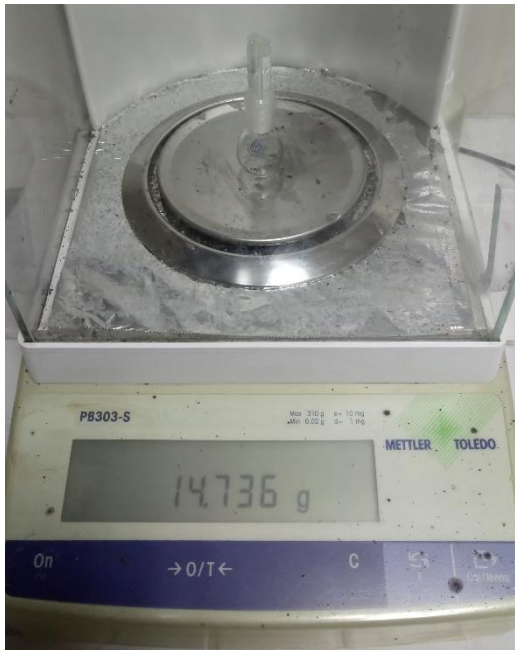
Siendo:

$M_2$ : masa del picnómetro con la muestra en gramos

$M_1$ : masa del picnómetro con el agua destilada en gramos

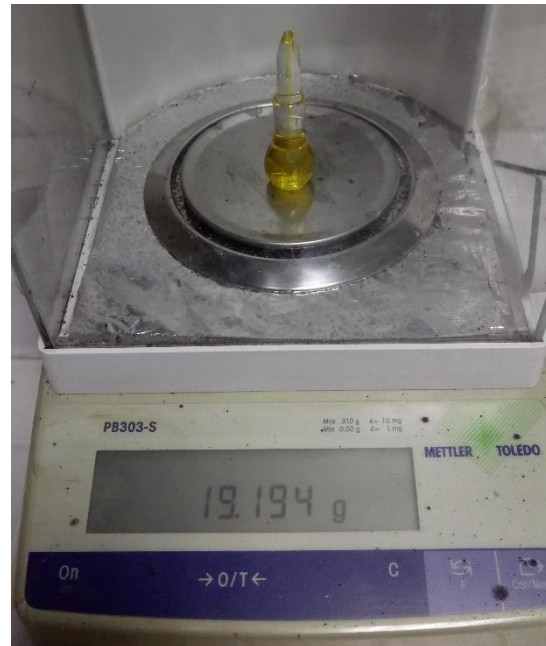
$M$ : masa del picnómetro vacío en gramos





*Figura 7. Pesaje de picnómetro vacío*

*Fuente: Autor*



*Figura 6. Pesaje de picnómetro con la muestra*

*Fuente: Autor*

### 3.7.3 Fase 3. Cuantificación mediante cromatografía de gases acoplado a masas [GC-MS]

La cuantificación de los AG de la linaza se lo llevó a cabo en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. El equipo a utilizarse es un cromatógrafo de gases acoplado a masas marca Bruker, modelo EVOQ-GC 436, con una columna DB5 (5% fenil – 95% dimetilpolisiloxano), voltaje de ionización 70 eV, corriente de emisión 10  $\mu$ Amp, rango de masas 40-600 Da, temperatura de línea de transferencia 260 °C y temperatura de trampa de 220 °C.

Para la preparación de las muestras se realiza una dilución en un vial ámbar de 10  $\mu$ L de aceite en 990  $\mu$ L de hexano y posteriormente se inyectan las muestras por triplicado en el equipo GC-MS para obtener los resultados.



Figura 8. Equipo GC-MS

## CAPITULO 4

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Extracción de los lípidos de la semilla de linaza

La extracción de lípidos se lo realiza por triplicado para cada uno de los tratamientos térmicos, sacando un valor promedio entre las muestras los cuales se especifican en la siguiente tabla:

*Tabla 6. Porcentaje de grasa de las semillas pre-tratadas térmicamente*

<b>Tratamiento</b>	<b>% Grasa</b>
Sin tratamiento (S/T)	17.43
Calor húmedo (V)	17.55
Calor seco (H)	19.43
Alta frecuencia (MO)	18.89

*Fuente: Autor*

Los datos mostrados anteriormente representan porcentajes relativamente bajos en comparación con los resultados que presenta (Durán, 2014); el cual obtiene un porcentaje de grasa de 33% para la semilla de linaza ecuatoriana y un 39% para la canadiense. Arias & López (2015) mediante el método de prensado en frío obtuvieron un porcentaje de 36.8%, mientras que Solís (2018) obtuvo un porcentaje de 33-45% por el mismo método. La incidencia para que se den estos resultados pueden estar radicada en diversos factores tales como: tamaño de la partícula de la muestra, método de extracción, tiempo de extracción, y cantidad de solvente utilizado.

De esta manera Canali (1946) en su estudio indica que el tamaño de la partícula de la muestra más idónea para obtener una excelente extracción es aquella que pasa a través de

una malla del tamizador N° 25 pero que queda retenida en una malla N° 60. En cuanto al método de extracción si bien es cierto el Soxhlet es el más utilizado para la obtención de este tipo de aceites, pero López (2010) da a conocer que el método Bligh y Dayer supera con un 6% el rendimiento de la grasa en comparación con el método tradicional ya mencionado.

#### 4.2 Caracterización de los extractos de la semilla de 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 7. Resultados de pruebas físico-químicas*

<b>Análisis</b>		<b>Resultados</b>			
		<b>S/T</b>	<b>V</b>	<b>H</b>	<b>MO</b>
Físicas	Índice de refracción	1.478	1.481	1.479	1.474
	Densidad	0.874	0.927	0.910	0.949
Químicas	Índice de acidez	1.739	1.761	1.701	1.803
	Índice de yodo	290.05	291.14	292.53	290.94

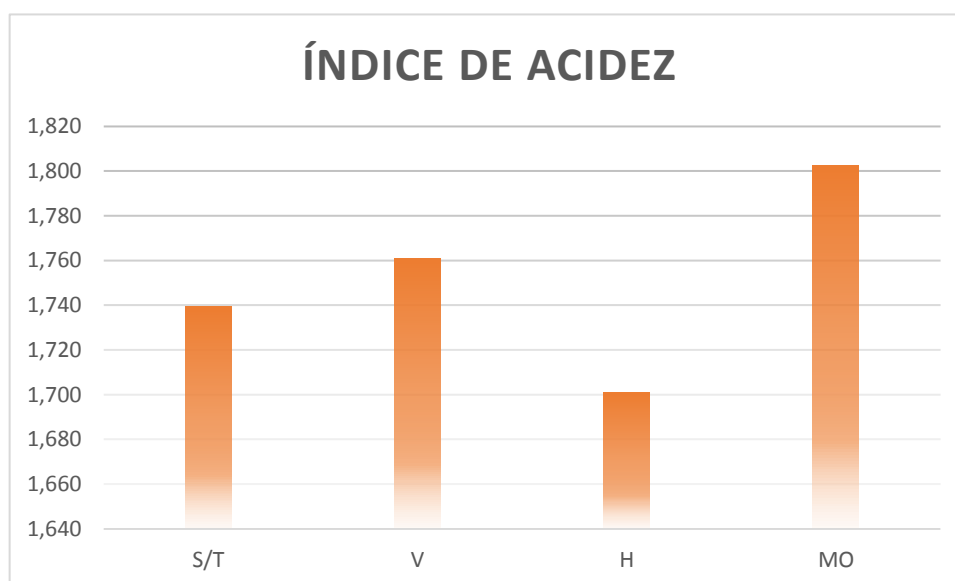
*Fuente: Autor*

Para las características físicas, de acuerdo con los resultados obtenidos para el índice de refracción cuyo valor fue 1.48, concuerda con los datos indicados por la compañía Roth (2017) en su ficha técnica de aceite de linaza.

La densidad presentó valores similares de acuerdo con la ficha técnica proporcionada por GTM (2016) el cual da a conocer que la densidad relativa a 20 °C es de 0.93 g/cm<sup>3</sup> al igual que los resultados obtenidos en el estudio presentado por Silva, Gallardo, & Pascual (2013) que fue de 0.93 g/cm<sup>3</sup>, tomando en cuenta que la obtención del aceite lo realizaron

mediante cuatro métodos de extracción mecánica: molino de martillo, molino de disco de piedra, prensa de tornillos y molino de disco artesanal.

En cuanto a las características químicas, el índice de acidez es variable acorde al método aplicado para su medición, como es el caso del estudio realizado por Arias & López (2015) obteniendo un valor de 0.36-0.53 mg KOH/g de aceite. Por otra parte Canali (1946) utilizó éter de petróleo y éter sulfúrico como solventes para la extracción de aceite a partir de la linaza; presentando el Éter de Petróleo un índice de acidez de 3.46 mientras que el éter sulfúrico 3.95. Los límites permisibles de índice de acidez según el Codex Alimentarius (1999) es de 0.6 mg de KOH/g de grasa o aceite para grasas y aceites refinados y 4.0 mg de KOH/g de grasa o aceite para grasas y aceites vírgenes y prensados en frío para que puedan ser aptos para el consumo humano. Hassanein, El-Shami, & El-Mallah (2003) usaron un horno de microondas para aplicar calor a ocho muestras de aceite de soya, girasol y maní por un periodo de 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15 y 18 minutos a temperaturas de 210 °C, 216 °C, 222 °C y 227 °C, existiendo un mayor índice de acidez cuando se aplican temperaturas altas por un tiempo prolongado.



Fuente: Autor

Nota: Sin Tratamiento (S/T), Calor húmedo (V), Calor Seco (H), Alta Frecuencia (MO)

En la gráfica 1 se puede observar las diferencias que presentan cada muestra: S/T, V, H, MO; existe una variación de entre 0.02-0.06 de mg KOH/g de aceite entre cada tratamiento térmico aplicado. Pérez (2008) especifica que a elevadas temperaturas en cuanto a prensado para la obtención del aceite, se obtienen un índice de acidez mayor debido a que existe una alteración en los TG. Tabio, Díaz, Rondón, Fernández, & Piloto (2017) indican que un elevado índice de acidez está representado por un aumento de los AG libres; esto a

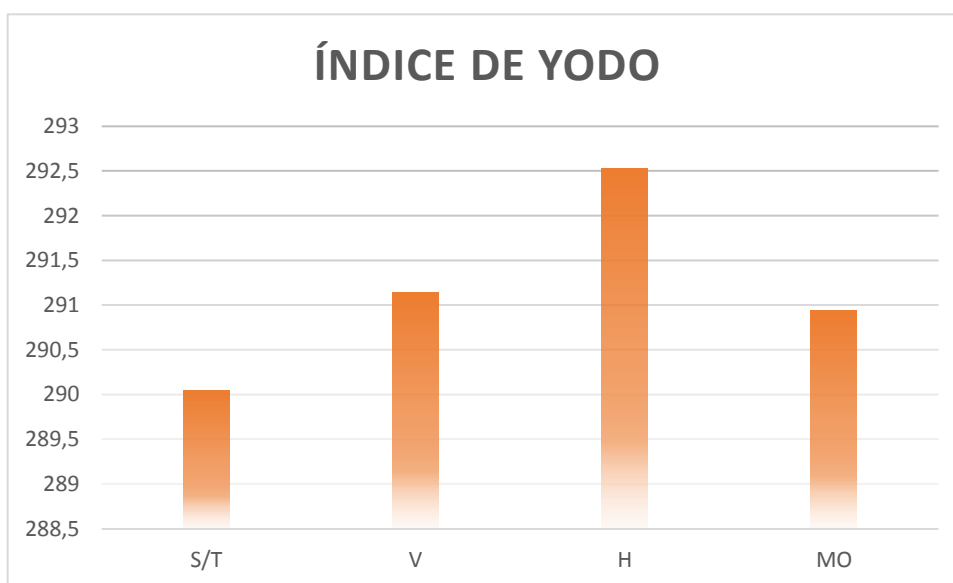
*Gráfica 1. Índice de acidez mg KOH/g aceite de las muestras pretratadas térmicamente*

consecuencia de que en la muestra probablemente exista residuos de agua lo que provoca una reacción hidrolítica, que promueve la rancidez del aceite. El incremento de la acidez se debe innegablemente a la división de los enlaces éster de las moléculas de los TG como resultado del calentamiento (Hassanein *et al.*, 2003).

Farag, Hewedi, Abu-Raiia, & El-Baroty (1992) establecen que la aplicación de las muestras de aceite a diferentes tiempos de calentamiento y niveles de potencia en horno

microondas provocan la hidrólisis para la liberación de AG acelerando la formación de hidroperóxidos y productos de oxidación.

Para el índice de yodo según el estudio realizado por Arias & López, (2015) obtuvieron valores entre 196.02-195.07 g I<sub>2</sub>/100g aceite; así mismo Silva *et al.*, (2013) consiguieron un índice de yodo entre 195.985 y 196.386 g I<sub>2</sub>/100g. Pérez (2008) describe que el índice de yodo para algunos aceites vegetales es: 84 g I<sub>2</sub>/100g para aceite de oliva, 132 g I<sub>2</sub>/100g para aceite de girasol y 186 g I<sub>2</sub>/100g aceite para el de linaza respectivamente. Petkova & Antova (2019) aplicaron calentamiento convencional y por microondas por un periodo de 9, 12 y 18 minutos para el procesamiento de los aceites. Se observó que existía un grado de oxidación de los aceites examinados durante el calentamiento por microondas y convencional lo cual aumentó con la duración del proceso térmico.



Gráfica 2. Índice de yodo g I<sub>2</sub>/100g aceite de las muestras pretratadas térmicamente

Fuente: Autor

Nota: Sin Tratamiento (S/T), Calor húmedo (V), Calor Seco (H), Alta Frecuencia (MO)

En la gráfica 2 se presentan los datos obtenidos para el índice de yodo; dentro de este análisis se alcanzaron valores relativamente altos siendo entre 290.05-292.53 g I<sub>2</sub>/100g aceite, por lo que se considera que los aceites obtenidos presentan un elevado número de insaturaciones lo que indica que poseen una alta cantidad de AGPIs.

Por otra parte Castillo, Larios, Hernández, & Jerónimo (2013) explican que los aceites o grasas con un índice de yodo mayor a 140 son considerados como secantes; entonces a partir de los resultados obtenidos podemos tomar en cuenta que a mayor número de insaturaciones, el aceite se encuentra más propensa a la oxidación, siendo las aplicaciones térmicas factores importantes para el desarrollo de esta, por lo que no se puede descartar que un elevado índice de yodo sea por esta razón.

Kachel-Jakubowska, Kraszkievicz, Lorencowicz, Koszel, & Przywara (2015) comentan que cualquier transformación oxidativa que suceda en los aceites también depende de las condiciones de almacenamiento, tales como luz, oxígeno, temperatura y tipo de empaque.

#### 4.3 Cuantificación de ácidos grasos de los extractos de la semilla de linaza

Los componentes principales que se encontraron tras el análisis cromatográfico realizado se muestran en la tabla 8 con sus respectivos porcentajes:

Tabla 8. Resultados del análisis cromatográfico

Tratamiento	Nombre del compuesto	Abundancia relativa	CAS #
S/T	2,3,4-Trimetilpentano	2,37%	565-75-3
	Ácido linoleico	8,87%	60-33-3
	Linoleato de metilo	88,61%	301-00-8
V	Ácido Propanoico	1,72%	2445-69-4
	Ácido linoleico	10,17%	60-33-3

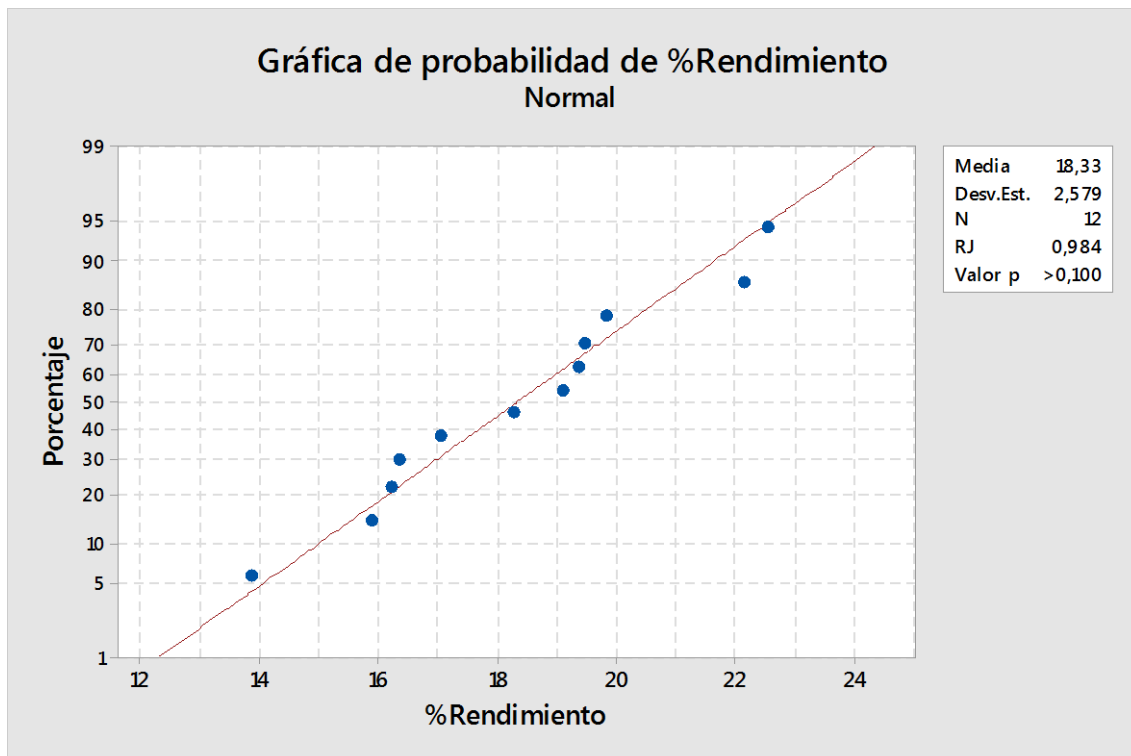


	Ácido $\alpha$ -Linoleico	88,25%	463-40-1
	Ácido Palmítico	7,33%	57-10-3
H	Ácido Oleico	19,30%	112-80-1
	Ácido linoleico	88,53%	60-33-3
	3-Etilpentano	1,86%	617-78-7
MO	Ácido linoleico	9,28%	60-33-3
	Linoleato de metilo	88,85%	301-00-8

Fuente: Autor

El componente de mayor predominancia en S/T fue el linolenato de metilo con un 88.61%; en cuanto a V, el de gran abundancia fue el ácido  $\alpha$ -linoleico con un 88.25%; para H fue el ácido linoleico con un 88.35%; mientras que para MO al igual que S/T fue el linolenato de metilo con un 88.85%. Los componentes que se consideran de mayor relevancia dentro de la composición de la semilla de linaza son el ácido linoleico y el ácido  $\alpha$ -linoleico; los resultados reportados por Solís (2018) en su estudio indica que el porcentaje de ácido linoleico fue de un 13%; así mismo Hess (2018) presenta valores entre 11-24% de este y 35-65% en cuanto al ácido  $\alpha$ -linoleico. Por otra parte Arias & López (2015) manifiestan estos valores en cuanto a los siguientes componentes de la semilla de linaza procedentes de Corongo y Otuzco (Perú): ácido palmítico (3.41 % y 3.68%), ácido oleico (9.29% y 6.78%), ácido linoleico (12.76% y 13.61%) y ácido  $\alpha$ -linoleico (72.27% y 73.30%). Las diferencias de componentes entre las distintas muestras pueden deberse principalmente a la no derivatización de cada una de ellas a sus correspondientes metilesteres; por ende, la volatilidad de los componentes pudo verse impedida lo que pudo haber ocasionado una lectura poco efectiva por parte del equipo.

Para la comparación de los tratamientos térmicos y la influencia en la obtención de ácidos grasos se realizó una prueba de normalidad en el programa estadístico Minitab 18 para su posterior análisis ANOVA.



*Gráfica 3. Prueba de Normalidad*

En la gráfica 3 se puede observar que el valor  $p > 0.100$  es mayor que el nivel de significancia, el cual corresponde a  $\alpha=0.05$  según la prueba de normalidad empleada de Ryan-Joiner; si el coeficiente de correlación se encuentra proximal a 1, probablemente exista una población normal, por lo tanto, con el resultado obtenido se puede observar que la población es normal, por ende se procede a hacer un análisis ANOVA.

*Tabla 9. Planteamiento de las hipótesis*

Hipótesis nula	Todas las varianzas son iguales
Hipótesis alternativa	Por lo menos una varianza es diferente
Nivel de significancia	$\alpha=0,05$

*Fuente: Autor*

Para el análisis ANOVA se aplica un diseño completamente al azar con un nivel de confianza de 95% considerando que existe un solo factor, ya que se tiene un factor de

entrada, que son los tratamientos térmicos aplicados, y un factor de salida que es el porcentaje de rendimiento. En la tabla 10 se detallan los valores.

Tabla 10. Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	8.789	2.930	0.36	0.781
Error	8	64.368	8.046		
Total	11	73.157			

Fuente: Autor

En la tabla 10 se puede observar que el *valor p* es de *0.781* por lo tanto es mayor que el valor de significancia  $\alpha=0.05$ ; dado esto se puede establecer que se acepta la hipótesis nula, la cual indica que todas las varianzas son iguales y se rechaza la alternativa que dice que por lo menos una varianza es diferente.

A partir de esto se aplica el método de Tukey para hacer una comparación entre las medias de los tratamientos térmicos aplicados como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 11. Método de Tukey aplicado a las medias de los tratamientos térmicos

Tratamiento	N	Media	Agrupación
H	3	19.43	A
MO	3	18.89	A
V	3	17.55	A
ST	3	17.43	A

Fuente: Autor

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

En la tabla 11 de la aplicación del método de Tukey se puede evidenciar que todos los tratamientos presentan la misma agrupación [A]; aquellos intervalos que no contengan un cero dentro de su rango muestran que la media de una de las muestras que se comparan es significativamente diferente de la otra; debido a esto se puede decir con nivel de confianza del 95% que los distintos tratamientos no presentan una diferencia significativa.

## CAPITULO 5

### 5.1 Conclusiones

En el presente estudio las muestras fueron previamente tratadas con tres diferentes procesos térmicos [V, H y MO] y una muestra sin tratar [ST]; la extracción de sus lípidos se realizó a través del método Soxhlet utilizando hexano como solvente. Se realizó un análisis ANOVA y posteriormente una prueba de Tukey. A partir de esto se concluye que, las diferentes muestras no exhibieron valores que indiquen que la aplicación de un tratamiento térmico antes de su extracción influye en el rendimiento en cuanto al porcentaje de ácidos grasos en comparación con una muestra a la que no se le aplique un proceso térmico.

Las extracciones de lípidos de la semilla de linaza por diferentes tratamientos térmicos presentaron los siguientes resultados: S/T 17.43%; V 17.55%; H 19.43%; MO 18.89%. A partir del análisis estadístico realizado se determinó que ninguno de estos tratamientos presentó una significancia relevante en cuanto al rendimiento de su extracción; sin embargo, se debe tener en consideración algunos factores que pudieron haber intervenido tales como: la variedad de linaza, estado de maduración en el que se encontraba, la conservación de las muestras y la temperatura ambiente.

En cuanto a las características físicas que exhibieron cada uno de los tratamientos, estos cumplen con los estándares presentados en diferentes fichas; por otra parte, lo que se refiere a las características químicas; para el índice de acidez en comparación con estudios realizados presentaron valores un tanto elevados; esto probablemente puede deberse a una rancidez hidrolítica que pudo ser dada por la acción de lipasas, o a su vez por el calentamiento a altas temperaturas lo que provocó la liberación de AG; así mismo para el índice de yodo sus valores fueron superiores en comparación con la bibliografía citada, esto indica un elevado número de insaturaciones que a su vez puede interpretarse como un

alto contenido de AGPIs; sin embargo, debido a esto, los valores elevados pueden corresponder a la oxidación presentada en las diferentes muestras a causa de la temperatura, incidencia de luz, condiciones de almacenaje y tipo de empaque.

En lo que respecta a la cuantificación de AG, se concluye que en los distintos tratamientos se obtuvieron diferentes compuestos; esto a consecuencia de que los AG no se sometieron a una transesterificación previamente al análisis cromatográfico; debido a esto los principales componentes encontrados en la semilla de linaza fueron: ácido oleico con un 19%, linoleato de metilo con un 88%, ácido  $\alpha$ -linoleico con un 88%, y ácido linoleico con un 88%, siendo el ácido  $\alpha$ -linoleico y el ácido linoleico los más representativos de la familia  $\omega$ -3,  $\omega$ -6 y los AG más importantes.

## **5.2 Recomendaciones**

Se recomienda la utilización de otros métodos de extracción para la obtención de lípidos con la finalidad de evaluar su efectividad utilizando diferentes solventes; así mismo se debe considerar que el tamaño de la partícula sea la óptima para que el solvente pueda circular de manera efectiva por la muestra.

El almacenaje de los aceites obtenidos debe realizarse en botellas color ámbar previamente desinfectadas, guardadas en la oscuridad y posteriormente refrigeradas para evitar procesos de oxidación.

El análisis de las características fisicoquímicas de los AG se las deben realizar en el menor tiempo posible después de su extracción, con el fin de evitar alteraciones en los resultados por factores químicos o enzimáticos que puedan darse durante el almacenaje de las muestras.

El contenido lipídico puede cambiar a consecuencia de la oxidación de las muestras extraídas, lo que a su vez ocasiona alteraciones en las capacidades oxidativas del aceite; por lo tanto, se recomienda medir el índice de peróxido.

Para muestras obtenidas mediante extracción con solventes, se debe realizar una transformación a ésteres metílicos de ácidos grasos [EMAGs] previo a la inyección en el equipo cromatográfico; esto con el objetivo de aumentar la volatilidad de los compuestos y obtener una resolución más alta para su eficaz interpretación.



## REFERENCIAS

- Adolphe, J, & Fitzpatrick, K. (2014). Linaza: Un estudio nutricional. *Healthy Flax*, 6, 23-26. Retrieved from [shorturl.at/hiAW8](http://shorturl.at/hiAW8)
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación: introducción a la teoría científica* (6th ed.). Caracas, Venezuela: Episteme. Retrieved from [shorturl.at/beinM](http://shorturl.at/beinM).
- Arias, J, & López, N. (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. (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Santa, Chimbote, Perú. Retrieved from [shorturl.at/cgktX](http://shorturl.at/cgktX).
- 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, 48-51. doi:org/10.1016/j.indcrop.2019.111575.
- Benítez, B., Olivares, J., Ortega, M., Barboza, Y., Rangel, L., & Romero, Z. (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. Retrieved from [shorturl.at/hOPZ9](http://shorturl.at/hOPZ9).
- Brumovsky, L, & Horianski, M. (2016). Caracterización físico-química de lípidos Retrieved from [shorturl.at/pxEY3](http://shorturl.at/pxEY3) .
- Caballero, L, & Gonzáles, G. (2016). Alimentos con efecto anti-inflamatorio. *Acta Médica Peruana*, 33, 50–64 Retrieved from [shorturl.at/mFNX9](http://shorturl.at/mFNX9).
- Cabezas, C., Hernández, B., & Vargas, M. (2016). Aceites y grasas: efectos en la salud y regulación mundial. *Rev. Fac. Med*, 64(4), 761–769. doi:org/10.15446/revfacmed.v64n4.53684

- Caldas, A. (2012). Optimización escalamiento y diseño de una planta piloto de extracción sólido líquido. Retrieved from [shorturl.at/euKT9](http://shorturl.at/euKT9)
- Canali, H. (1946). Aceite de linaza : su determinación en semilla ; su empleo como combustible. (Tesis Doctoral) Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. Retrieved from [shorturl.at/erDF9](http://shorturl.at/erDF9).
- Carbajal, Á. (2013). Manual de Nutrición y Dietética. *Departamento de Nutrición. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.* doi:org/10.1007/s13398-014-0173-7.2
- Castillo, L., Larios, A., Hernández, R., & Jerónimo, B. (2013). Pruebas generales para lípidos. Retrieved from [shorturl.at/bkyDX](http://shorturl.at/bkyDX).
- Challco, A., & Huaman, N. (2013). Efectos Terapeuticos de la semilla de linaza en la gastritis aguda en personas jovenes de 18-28 años en el Distrito de Congata-Uchumayo-Arequipa. (tesis pregrado) Instituto de Educacion Superior Tecnologico Privado Maria Montessori, Arequipa-Perú. Retrieved from [shorturl.at/hmwIX](http://shorturl.at/hmwIX).
- Chamorro, A., Pacheco, M. de J., & Tamayo, M. (2016). Estudio científico sobre la adición de Omega-3 (DHA/EPA) para el mejoramiento cognitivo de niños menores de cinco (5) años. (tesis doctoral) Corporación Universitaria Lasallista Especialización, Caldas, Antioquia. Retrieved from [shorturl.at/dqrsB](http://shorturl.at/dqrsB).
- Codex Alimentarius (1999). Norma para grasas y aceites comestibles no regulados por Normas Individuales, 19, 1-5. Retrieved from [shorturl.at/bhqyC](http://shorturl.at/bhqyC).
- Croos, V. (2012). Análisis de grasas y aceites: indice de refracción, yodo, saponificación y peroxido. Retrieved from [shorturl.at/bcAS2](http://shorturl.at/bcAS2)
- Durán, J. (2014). Comparación de ácidos grasos omega 3, 6 y 9 en la semilla de lino

- (*Linum usitatissimum*) ecuatoriana y canadiense por cromatografía de gases. (tesis de pregrado). Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador  
doi:org/10.1177/1742766510373715
- Farag, R. S., Hewedi, F. M., Abu-Raiia, S. H., & El-Baroty, G. S. (1992). Comparative study on the deterioration of oils by microwave and conventional heating. *Journal of Food Protection*, 55(9), 722–727. doi:org/10.4315/0362-028X-55.9.722
- Flax Council of Canada. (2007). Linaza Un Producto Premier de Salud y Nutrición. Retrieved from shorturl.at/EGLO3.
- Flax Council of Canada. (2014). Flax a Healthy Food. Retrieved from shorturl.at/awDV8
- GTM. (2016). Aceite de linaza: Ficha datos de seguridad. Retrieved from shorturl.at/cqry4
- Guarín, O. (n.d.). Obtención del Aceite de Soya. Retrieved from shorturl.at/noDH0.
- Haruna, A., Siti, A., & Oluwaseun, R. (2018). Microwave-assisted extraction and characterization of fatty acid from eel fish ( *Monopterus albus* ). *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(4), 465–470. doi:org/10.1016/j.bjbas.2018.04.003
- 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), 343–349. doi: org/10.3989/gya.2003.v54.i4.219
- Herchi, W., Ammar, K., Bouali, I., Abdallah, I., 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(1), 97–102. doi:org/10.1590/1678-457X.0109
- Hess, G. (2018). *Aceite de linaza refinado*. Retrieved from shorturl.at/jkmtV.

- INEN. (2012a). Grasas Y Aceites Comestibles: Determinacion Del Indice De Refracción. Retrieved from [shorturl.at/dfiwB](http://shorturl.at/dfiwB)
- INEN. (2012b). Grasas Y Aceites Comestibles. Determinacion De La Densidad Relativa. Retrieved from [shorturl.at/hqxyF](http://shorturl.at/hqxyF).
- Jebe&lo. (2012). Cultivo de linaza. Retrieved July 24, 2019. Retrieved from [shorturl.at/apzK1](http://shorturl.at/apzK1).
- Kachel-Jakubowska, M., Kraszkiewicz, A., Lorencowicz, E., Koszel, M., & Przywara, A. (2015). Effects of Thermal Treatment of Seeds on Quality and Oxidative Stability of Oils. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 7, 255–259. doi:org/10.1016/j.aaspro.2015.12.041
- Kolodziejczyk, P., Ozimek, L., & Kozłowska, J. (2012). The application of flax and hemp seeds in food, animal feed and cosmetics production. *Handbook of Natural Fibres* (Vol. 2). Woodhead Publishing Limited. doi:org/10.1016/B978-1-84569-698-6.50011-5
- Lane, K., Derbyshire, E., Li, W., & Brennan, C. (2014). Bioavailability and Potential Uses of Vegetarian Sources of Omega-3 Fatty Acids: A Review of the Literature. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(5), 572–579. doi:org/10.1080/10408398.2011.596292
- León, G. (2012). Caracterización y Cuantificación de los Ácidos Grasos Omega 3 y Omega 6 presentes en el aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis L*). (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. Retrieved from [shorturl.at/nuU17](http://shorturl.at/nuU17).
- López, A. (2014). Extracción , identificación y cuantificación de ácidos grasos presentes en

- las larvas y pupas del insecto comestible denominado “ticoco.” (tesis de pregrado) Universidad Tecnológica de la Mixteca, Oaxaca, México. Retrieved from [shorturl.at/dloHS](http://shorturl.at/dloHS).
- 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, Valdivia, Chile. Retrieved from [shorturl.at/uxFQT](http://shorturl.at/uxFQT).
- Messamore, E., & McNamara, R. K. (2016). Detection and treatment of omega-3 fatty acid deficiency in psychiatric practice: Rationale and implementation. *Lipids in Health and Disease, 15*(1), 1–13. doi:org/10.1186/s12944-016-0196-5
- Mogensen, K. (2017). Essential fatty acid deficiency. *Progress in the Chemistry of Fats and Other Lipids, 9*(3), 275–348. doi:org/10.1016/0079-6832(71)90030-9
- Morales, J., Valenzuela, R., González, D., González, M., Tapia, G., Sanhueza, J., & Valenzuela, A. (2012). Nuevas fuentes dietarias de ácido alfa-linolénico: una visión crítica. *Revista Chilena de Nutrición, 39*(3), 79–87. doi.org/10.4067/S0717-75182012000300012
- Morris, D. (2006). La linaza reduce la inflamación que conlleva a la aterosclerosis. Retrieved from [shorturl.at/sBGIZ](http://shorturl.at/sBGIZ)
- Morris, D. (2007). Linaza Un Producto Premier de Salud y Nutrición. *LINAZA- Un Producto Premier de Salud y Nutrición, 9–21*. Retrieved from [shorturl.at/qJPQZ](http://shorturl.at/qJPQZ).
- NMX-K-418-1976. (1998). Determinación del número de acidez en aceites esenciales y productos aromáticos. Method of test for acid number of essential oils and aromatic products. Normas mexicanas. Dirección general de normas. *Norma Oficial Mexicana,*

- 1–18. Retrieved from [shorturl.at/knwL5](http://shorturl.at/knwL5).
- Ortiz, A., & Dorantes, L. (2010). Ácidos Grasos Omega Epa Y Dha. Retrieved from [shorturl.at/puMRV](http://shorturl.at/puMRV)
- Paula, J., Lilia, M., & Vilma, Q. (2013). Chemical composition of chia seed, flaxseed and rosehip and its contribution in fatty acids omega-3. *Revista Chilena de Nutrición*, 40(2), 155–160. doi:org/10.4067/S0717-75182013000200010.
- Pérez, E., Asbun, J., Reyes, A., Rodríguez, U., Ruiz, N., Sánchez, J., ... Cruz, J. (2013). Efecto de los ácidos grasos poliinsaturados omega-3 en pacientes con cáncer. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 80(1), 20–27. doi:org/10.1002/14356007.a20\_243.pub2
- Pérez, L. (2008). Evaluación de cuatro temperaturas de prensado en la calidad del aceite virgen de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis L.*). (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro de Perú, Huancayo, Perú. Retrieved from [shorturl.at/dpuN1](http://shorturl.at/dpuN1).
- Petkova, Z., & Antova, G. (2019). A comparative study on quality parameters of pumpkin, melon and sunflower oils during thermal treatment. *Ocl*, 26, 32. do:org/10.1051/ocl/2019028
- Programa Perseo. (2014). Las Grasas. *Programa Perseo*, 1–4. Retrieved from [shorturl.at/bFMRW](http://shorturl.at/bFMRW).
- Quintero, M. (2012). “*Caracterización fitoquímica, actividad antimicrobiana y antimicótica del aceite esencial de congona (Peperomia inaequalifolia Ruiz&Pav.) Piperaceae.*”(tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. Retrieved from [shorturl.at/IORV3](http://shorturl.at/IORV3).
- Rodrigues, J., de Carvalho, M. do C., Fortes, L., de Carvalho, A., Ferreira, D., Valmor, F.,

- ... da Costa, N. (2016). Hepatic function and antioxidant activity in diabetic rats subjected to diet supplemented with multimixture. *Nutrición Hospitalaria*, 33(5), 589. doi:org/10.20960/nh.589
- Roth. (2017). Ficha datos de seguridad: Aceite de linaza. Retrieved from [shorturl.at/gikL5](http://shorturl.at/gikL5).
- Rustan, A., & Drevon, C. (2005). Fatty Acids: Structures and Properties. *Encyclopedia of Life Sciences*, (April 2014). doi:org/10.1038/npg.els.0003894
- Sanhueza, J., Durán, S., & Torres, J. (2015). Los ácidos grasos dietarios y su relación con la salud. *Nutrición Hospitalaria*, 32(3), 1362–1375. doi.org/10.3305/nh.2015.32.3.9276
- Sargi, C., Silva, B., Santos, C., Montanher, P., Boeing, J., Santos Júnior, O., ... Visentainer, J. (2013). Antioxidant capacity and chemical composition in seeds rich in omega-3: chia, flax, and perilla. *Food Science and Technology*, 33(3), 541–548. doi.org/10.1590/S0101-20612013005000057
- Silva, M., Gallardo, G., & Pascual, G. (2013). Caracterización físico-química del Aceite de Linaza (*Linum usitatissimum l.*) del Departamento Cajamarca, Perú. *Infinitum*, 3(2), 45–57. Retrieved from [shorturl.at/chxy9](http://shorturl.at/chxy9).
- Solís, M. (2018). Extracción y microencapsulación de aceite de linaza (*Linum usitatissimum*) para la adición en una matriz alimenticia. (tesis de maestría). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. Retrieved from [shorturl.at/tJOT5](http://shorturl.at/tJOT5).
- Swanson, D., Block, R., & Mousa, S. (2012). Omega-3 Fatty Acids EPA and DHA: Health Benefits Throughout Life. *Advances in Nutrition: An International Review Journal*, 3, 1–7. doi.org/10.3945/an.111.000893.Omega-3
- Tabio, D., Díaz, Y., Rondón, M., Fernández, E., & Piloto, R. P. (2017). Extracción de

aceites de origen vegetal. Universidad tecnologica de la Habana José Antonio Ech  
heverría, Habana, Cuba. doi.org/10.13140/RG.2.2.11047.55201

Tontul, Í., Eroglu, E., & Topuz, A. (2017). Nanoencapsulation of Fish Oil and Essential  
Fatty Acids. Nanoencapsulation of Food Bioactive Ingredients. doi.org/10.1016/b978-  
0-12-809740-3.00003-9

Universidad Pablo de Olavide. (2004). Determinación Del Contenido Graso De Leche En  
Polvo : Extracción Soxhlet. Técnicas Avanzadas en Química. Retrieved from  
shorturl.at/zDL27.



## **ANEXOS**

### **Anexo A. Lista de abreviaturas**

**AG** Ácidos Grasos

**AGPIs** Ácidos Grasos Poliinsaturados

**EPA** Ácido Eicosapentaenoico

**DHA** Ácido Docosahexaenoico

**AA** Ácido Araquidónico

**AAL** Ácido Alfa-Linoleico

**AL** Ácido Linoleico

**SDG** Secoisolariciresinol diglucósido

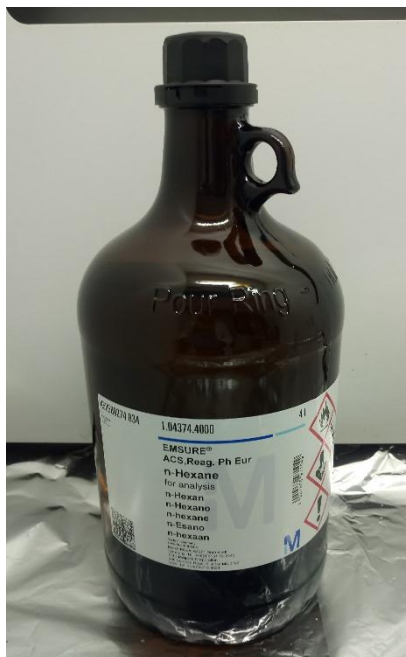
**AGEs** Ácidos Grasos Esenciales

**TG** Triglicéridos

**$\omega$ -3** Omega-3

**$\omega$ -6** Omega 6

## Anexo B. Extracción y caracterización de extractos lipídicos



*Figura 9. Hexano*

*Fuente: Autor*



*Figura 11. Reactivo Wijs*

*Fuente: Autor*



*Figura 10. Neutralización de la muestra con KOH 0,1 N para la determinación del índice de acidez*

*Fuente: Autor*



*Figura 12. Titulación con tiosulfato de sodio 0,1 N para la determinación del índice de yodo*

*Fuente: Autor*



*Figura 13. Muestra con almidón al 1%*

*Fuente: Autor*



## Anexo C. Cromatograma de las muestras lipídicas

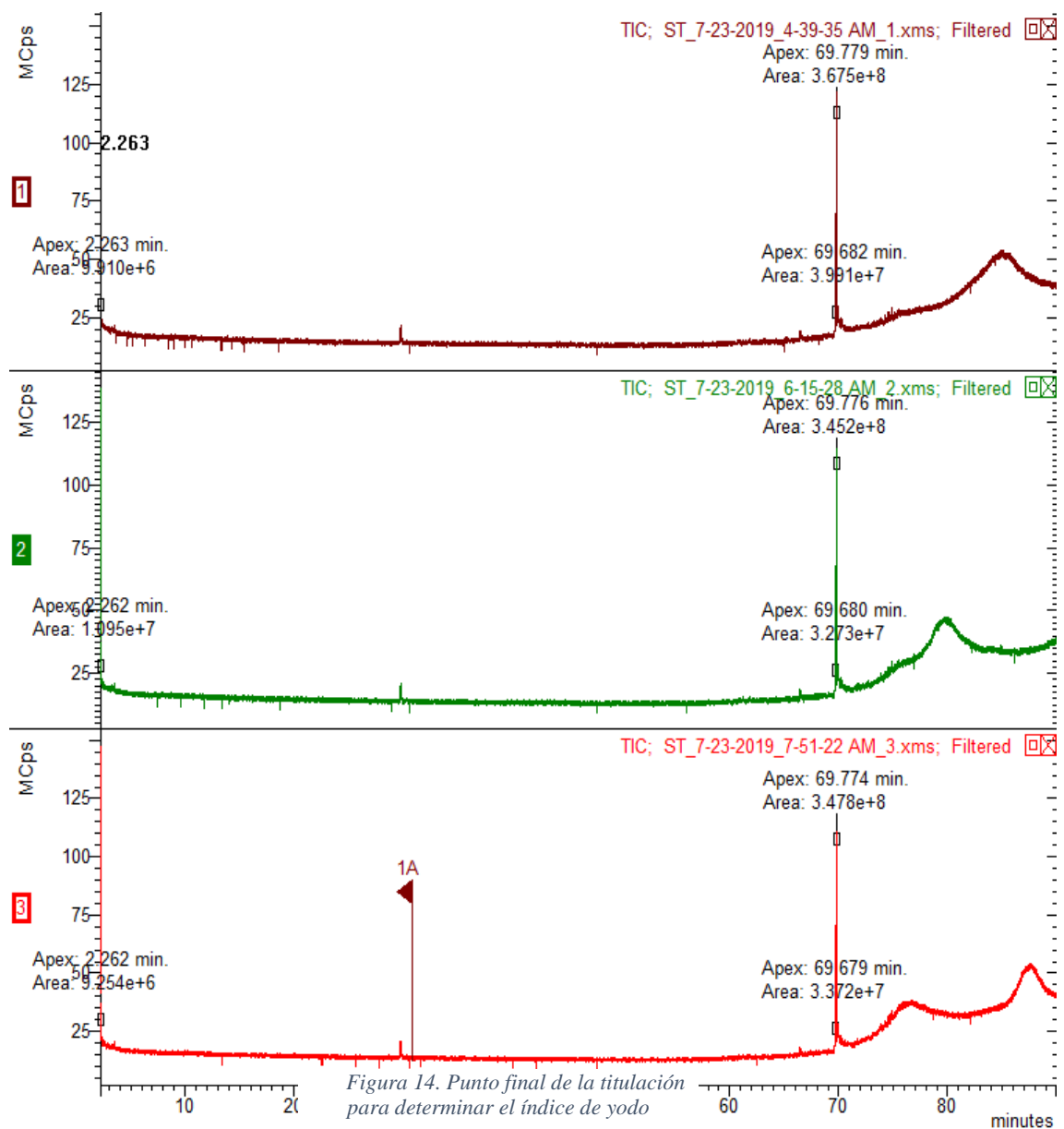


Figura 14. Punto final de la titulación para determinar el índice de yodo

Figura 15. Cromatograma de la muestra S/T

Fuente: Autor

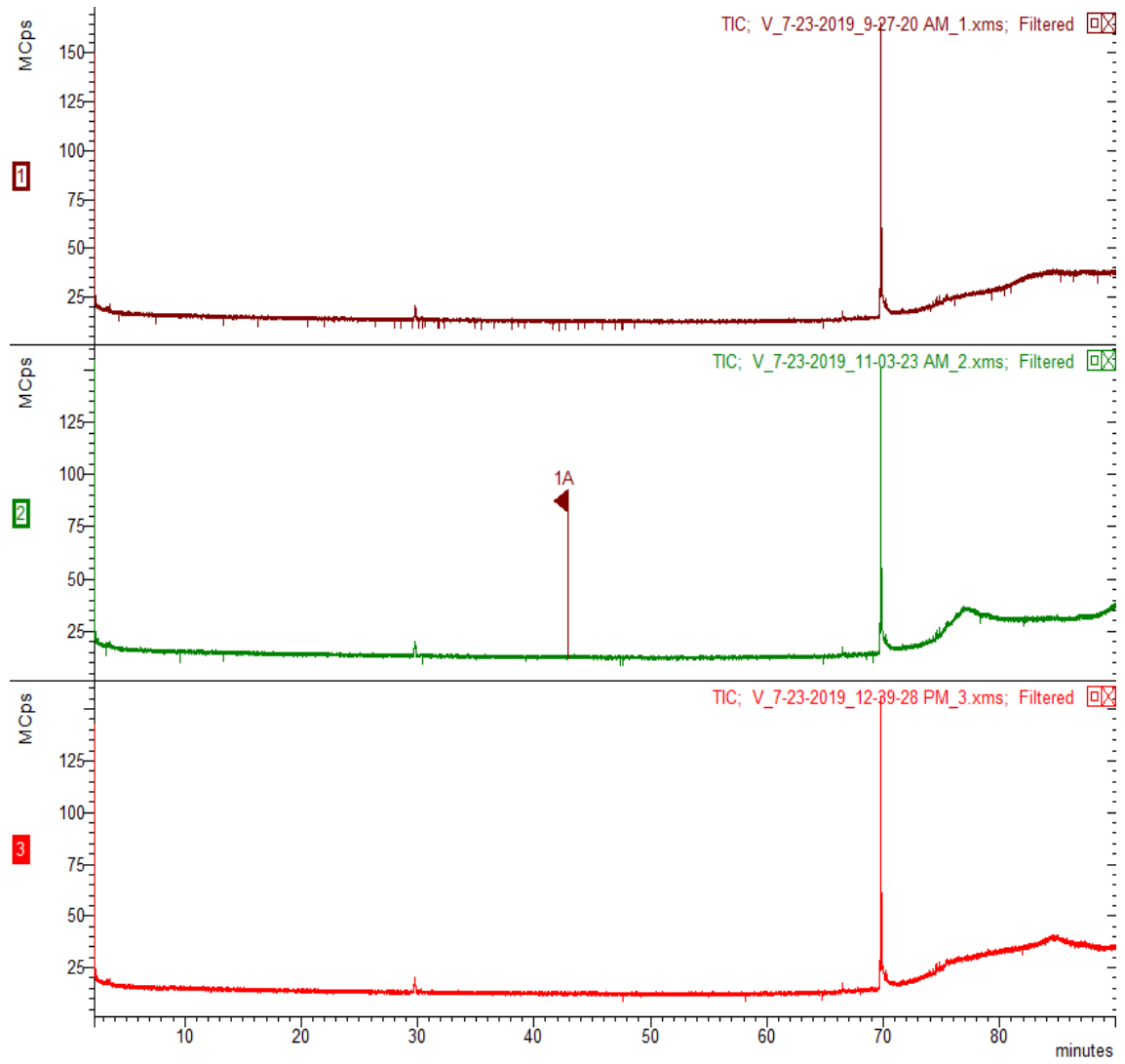


Figura 16. Cromatograma de la muestra V

Fuente: Autor

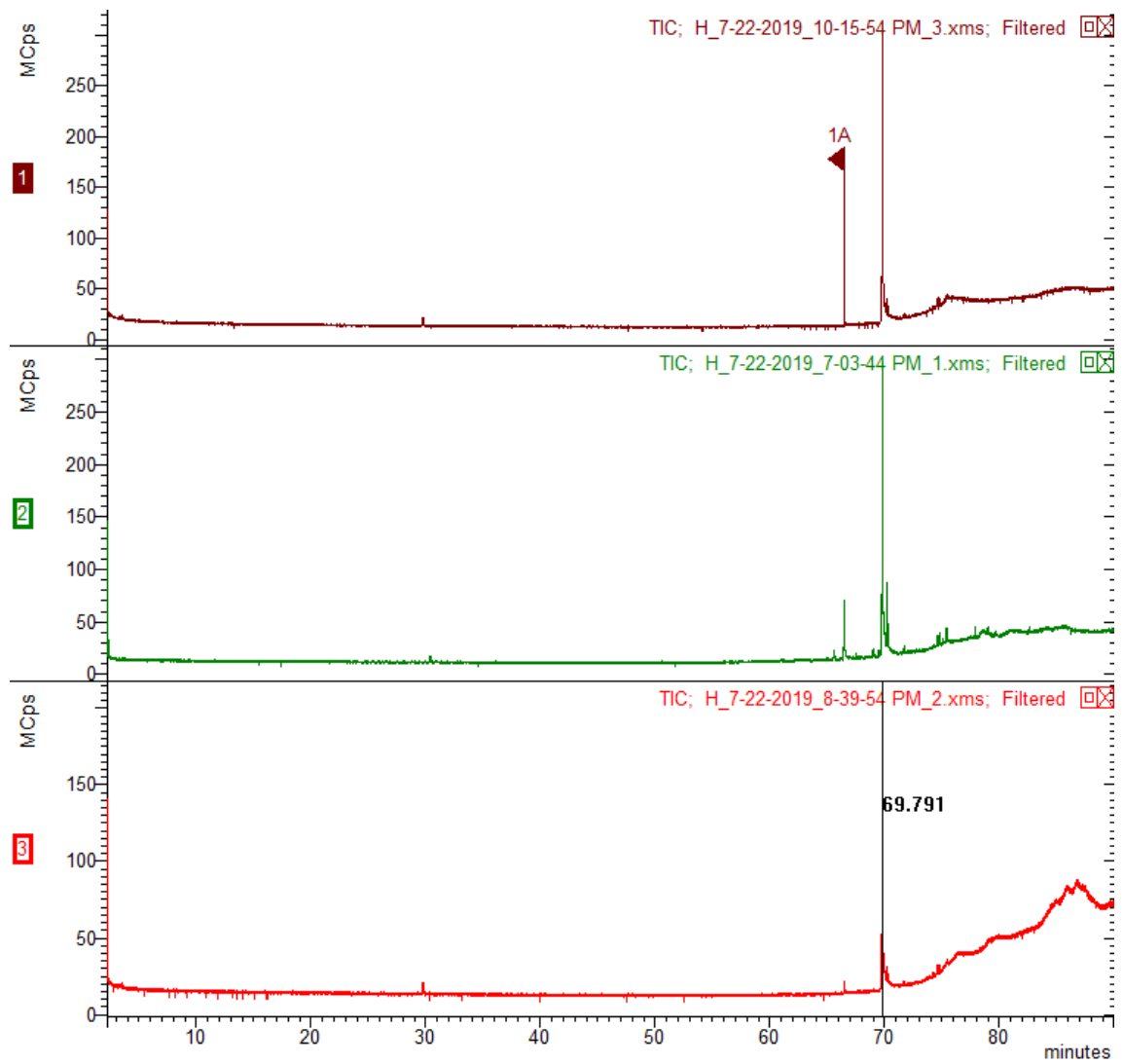


Figura 17. Cromatograma de la muestra H

Fuente: Autor





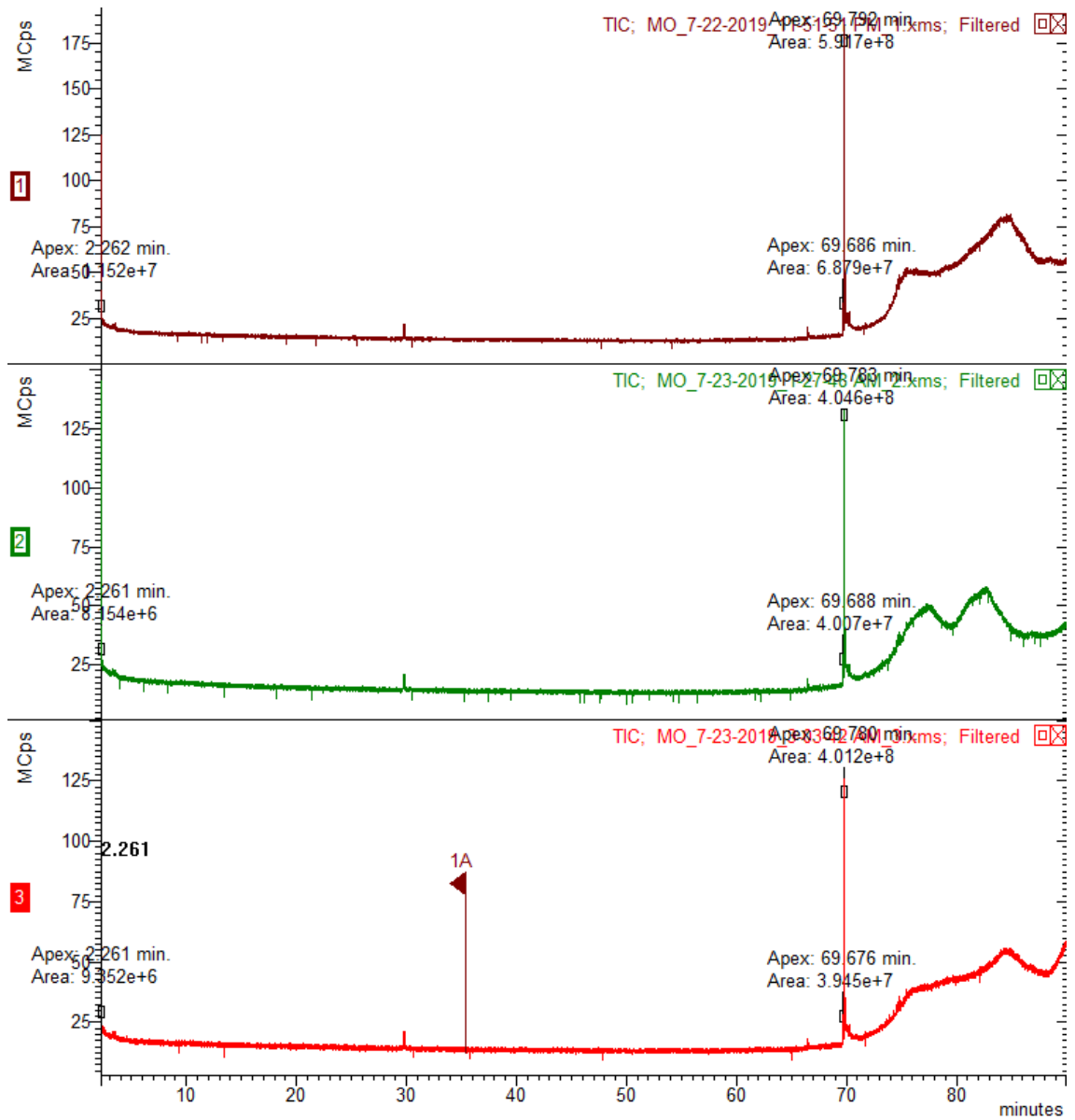


Figura 18. Cromatograma de la muestra MO

Fuente: Autor