



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA

**“EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL ACEITE ESENCIAL DE AJONJOLÍ
(*Sesamum indicum L.*) A PARTIR DE DOS PRETRATAMIENTOS PARA SU
APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA”**

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

AUTORAS: EVELIN THALÍA SIGUENCIA SOJOS

ROSA ANGÉLICA SARITAMA VALLE

TUTORA: DRA. INÉS PATRICIA MALO CEVALLOS, PhD.

Cuenca - Ecuador

2022

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

Nosotras, Evelin Thalía Siguencia Sojos con documento de identificación N° 0107045536 y Rosa Angélica Saritama Valle con documento de identificación N° 1104823834; manifestamos que:

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

Cuenca, 13 de septiembre de 2022

Atentamente,

Evelin Thalía Siguencia Sojos
0107045536

Rosa Angélica Saritama Valle
1104823834

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

Nosotras, Evelin Thalía Siguencia Sojos con documento de identificación N° 0107045536 y Rosa Angélica Saritama Valle con documento de identificación N° 1104823834, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del Trabajo experimental: “Evaluación del rendimiento del aceite esencial de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) a partir de dos pretratamientos para su aplicación en la industria”, el cual se ha desarrollado para optar el título de: Ingeniera Biotecnóloga, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Cuenca, 13 de septiembre de 2022

Atentamente,

Evelin Thalía Siguencia Sojos
0107045536

Rosa Angélica Saritama Valle
1104823834

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 DEL RENDIMIENTO DEL ACEITE ESENCIAL DE AJONJOLÍ (*SESAMUM INDICUM L.*) A PARTIR DE DOS PRETRATAMIENTOS PARA SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA”, realizado por Evelin Thalía Sigüencia Sojos con documento de identificación N° 0107045536 y Rosa Angélica Saritama Valle con documento de identificación N° 1104823834, 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, 13 de septiembre de 2022

Atentamente,



Dra. Inés Patricia Malo Cevallos, PhD

0102291044

DEDICATORIA

A mis padres, por enseñarme a luchar por mis sueños y ser mi mayor inspiración para seguir adelante.

A mis hermanos por ser mi soporte y fortaleza en este largo camino.

A mis sobrinos, mis regalitos del cielo que con su presencia irradian felicidad a mi vida.

A una amiga especial, Aquelina, por sus oraciones y apoyo incondicional.

Thalia

DEDICATORIA

Esta tesis, la dedico a Yamil Saritama y Cesibel Valle, que son los seres más maravillosos que

Dios ha puesto en mi vida, mis padres. Por enseñarme que todo lo que vale la pena en esta vida requiere de esfuerzo y sacrificio, que el trabajo duro siempre dejará buenos frutos y por su infinito amor, que siempre me dio fuerzas en los días de dificultad.

A mis tíos, que han sido mi apoyo incondicional en cada momento difícil que he atravesado durante toda mi vida universitaria, por su paciencia y por llenar mis días de felicidad.

Rosa Angélica

AGRADECIMIENTO

“La buena educación es el germen de muchas virtudes”

Don Bosco

Gracias Dios, por ser la luz que guía mi vida.

A todos mis docentes que con su sabiduría me han acompañado en este caminar, especialmente a la Dra. Inés Malo, Dra. Myriam Mancheno e Ing. Sandy Gavilánez, por sus consejos y paciencia en esta etapa de mi vida.

Thalia

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser mi guía espiritual y mi fortaleza durante este proceso educativo y hacerme entender que cada día es una nueva oportunidad para volver a empezar.

A mis padres y hermanos, por ser el pilar fundamental en mi vida, por su apoyo, dedicación y entrega, ya que gracias a su esfuerzo hoy puedo escribir este agradecimiento, pero sobre todo, por siempre motivarme a cumplir mis sueños.

A mi madre, que ha sido mi apoyo incondicional y por esas noches de oración que me han mantenido de pie hasta este momento, llenándome de fuerza para seguir adelante.

A mi padre, que ha sido mi ejemplo a seguir, enseñándome que siempre debo luchar por mis sueños, que gracias a sus conocimientos y sabiduría yo tomé esta decisión crucial en mi vida.

A mis maestros, personas que no solo me han orientado con su conocimiento, sino que han sido guías durante toda mi vida universitaria, además de sus consejos que me han servido de apoyo durante los momentos difíciles. Especialmente, a la Dra. Inés Malo y a la Dra. Myriam Mancheno por su apoyo a lo largo de este trabajo investigativo; docentes que se han convertido en personas muy especiales.

A mis amigos, por cada experiencia compartida, por cada recuerdo que sin duda se quedarán grabados en mi corazón.

Rosa Angélica

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO 1	3
1.1 INTRODUCCIÓN	3
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.3 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	5
1.4 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.5 JUSTIFICACIÓN	6
1.6 OBJETIVOS	7
1.6.1 GENERAL:	7
1.6.2 ESPECÍFICOS:	7
1.7 HIPÓTESIS	7
CAPÍTULO 2	8
2. MARCO TEÓRICO	8
2.1 ESTADO DEL ARTE	8
2.2 BASES TEÓRICAS	10
2.2.1 AJONJOLÍ <i>SESAMUM INDICUM L</i>	10
2.2.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	11
2.2.3 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA	11
2.2.4 CARACTERÍSTICAS DE LA SEMILLA	12
2.2.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA SEMILLA	12

2.2.6 PERFIL NUTRICIONAL	15
2.2.7 COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS PRESENTES EN EL AJONJOLÍ	15
2.2. 8 BENEFICIOS DEL AJONJOLÍ	16
2.3 ACEITES ESENCIALES	16
2.3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS ACEITES ESENCIALES	17
2.3.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS ACEITES ESENCIALES	17
2.4 ACEITE ESENCIAL DE AJONJOLÍ	18
2.4.1 BENEFICIOS DEL ACEITE ESENCIAL DE AJONJOLÍ.....	18
2.4.2 COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS DEL ACEITE ESENCIAL DE AJONJOLÍ	19
2.4.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE AJONJOLÍ	20
2.5 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE AJONJOLÍ	22
2.5.1 EXTRACCIÓN POR SOXHLET	22
2.5.2 EXTRACCIÓN POR ARRASTRE DE VAPOR	23
2.5.3 EXTRACCIÓN POR FLUIDOS SUPERCRÍTICOS[SFE]	23
2.5.1.1 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL METODO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIALES	23
2.6 CROMATOGRAFÍA DE GASES	25
CAPÍTULO 3	27
3. MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1 NIVEL DE INVESTIGACIÓN	27
3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	27

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA	28
3.3.1. POBLACIÓN	28
3.3.2. MUESTRA	28
3.4 VARIABLES	28
3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA RECOLECCIÓN DE DATOS	29
3.6 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS	29
3.6.1 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO	29
3.6.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS	31
3.6.2.1 PRUEBA DE NORMALIDAD	31
3.6.2.2 ANÁLISIS DE VARIANZA	32
3.7 PROCEDIMIENTO	32
3.7.1 ADQUISICIÓN DE LA MATERIA PRIMA	32
3.7.2 APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS	33
3.7.3 OBTENCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE AJONJOLÍ MEDIANTE LA TÉCNICA DE ARRASTRE DE VAPOR	33
3.8 CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE	34
3.8.1 ÍNDICE DE REFRACCIÓN	34
3.8.2 ÍNDICE DE ACIDEZ	36
3.8.3 ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN	38
3.8.4 ÍNDICE DE YODO	40
3.8.5 ÍNDICE DE PERÓXIDOS	42

3.9.CUANTIFICACIÓN POR MEDIO DE CROMATOGRAFÍA DE GASES	
ACOPLADO A MASAS [GC- MS]	44
CAPÍTULO 4	44
RESULTADOS	45
4.1 EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE AJONJOLÍ	45
4.2 RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE AJONJOLÍ	45
4.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS EXTRACTOS DE LA SEMILLA DE AJONJOLÍ	49
4.3.1. ÍNDICE DE REFRACCIÓN	49
4.3.2 ÍNDICE DE ACIDEZ	50
4.3.3 ÍNDICE DE YODO	52
4.3.4 ÍNDICE DE PERÓXIDOS	53
4.3.5 ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN	55
4.4 CROMATOGRAFIA GC-MS	57
CAPÍTULO 5	60
5.1 CONCLUSIONES	60
5.2 RECOMENDACIONES	61
REFERENCIAS	63
ANEXOS	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama del proceso para la obtención de aceite esencial a partir de ajonjolí.	29
Figura 2. Muestras de ajonjolí [<i>Sesamum Indicum L.</i>]	32
Figura 3. Equipo de destilación por arrastre de vapor.	34
Figura 4. Determinación del índice de refracción a 25 °C.	35
Figura 5. Equipo de cromatografía.	44
Figura 6. Reactivo de Hanus.	75
Figura 7. Muestras de la extracción de aceite de sésamo centrifugadas.	75
Figura 8. Muestras de la extracción de aceite de sésamo a una temperatura de 30 °C y 80 °C	76
Figura 9. Cromatograma de aceite de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperatura de 30 °C para corrida 1	79
Figura 10. Cromatograma de aceite de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperatura de 30 °C para corrida 2	80
Figura 11. Cromatograma de aceite de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperatura de 80 °C para corrida 1	81
Figura 12. Cromatograma de aceite de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperatura de 80 °C para corrida 2.	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica del ajonjolí <i>Sesamum indicum L.</i>	11
Tabla 2. Composición química de <i>Sesamum indicum L.</i>	13
Tabla 3. Composición química: vitaminas y minerales de <i>Sesamum indicum L.</i>	14
Tabla 4. Composición de ácidos grasos [AGs] de aceite de <i>Sesamum indicum L.</i>	20
Tabla 5. Pre-tratamientos térmicos aplicados	33
Tabla 6. Cantidad de aceite obtenido en cada corrida.	45
Tabla 7. Rendimiento en porcentaje de extracción del aceite esencial de ajonjolí	45
Tabla 8. ANOVA para la extracción de aceite esencial de ajonjolí comparando los dos pretratamientos de 30 °C y 80 °C.	48
Tabla 9. Índice de refracción del aceite esencial de ajonjolí comparando los dos pretratamientos realizados.	49
Tabla 10. Índice de acidez del aceite esencial de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperaturas de 30 °C y 80 °C	51
Tabla 11. Índice de yodo del aceite esencial de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperaturas de 30 °C y 80 °C	52
Tabla 12. Índice de peróxidos del aceite esencial de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperaturas de 30 °C y 80 °C	54
Tabla 13. Índice de saponificación del aceite esencial de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperaturas de 30 °C y 80°C	56
Tabla 14 . Perfil detallado de ácidos grasos promedio del aceite de sésamo extraído a partir de dos pretratamiento a la semilla	58
Tabla 15. Perfil de ácidos grasos del aceite de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la	

semilla a temperatura de 30 °C para corrida 1.	76
Tabla 16. Perfil de ácidos grasos del aceite de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la	
semilla a temperatura de 30 °C para corrida 2.	77
Tabla 17. Perfil de ácidos grasos del aceite de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la	
semilla a temperatura de 80 °C para corrida 1.	77
Tabla 18. Perfil de ácidos grasos del aceite de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la	
semilla a temperatura de 80 °C para corrida 2.	78

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1. Rendimiento de extracción del aceite esencial de ajonjolí comparando los dos pretratamientos realizados	47
Gráfica 2. Prueba de normalidad	48
Gráfico 3. Índice de refracción del aceite esencial de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperaturas de 30 °C y 80 °C	51
Gráfico 4. Índice de acidez del aceite esencial de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperaturas de 30 °C y 80 °C.....	52
Gráfico 5. Índice de yodo del aceite esencial de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperaturas de 30 °C y 80 °C.....	54
Gráfico 6. Índice de peróxidos del aceite esencial de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperaturas de 30 °C y 80 °C	55
Gráfico 7. Índice de saponificación del aceite esencial de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperaturas de 30 °C y 80 °C	57
Gráfico 8. Principales ácidos grasos presente en el aceite esencial de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperaturas de 30 °C y 80 °C	60

RESUMEN

En la actualidad el uso de aceites esenciales ha ido creciendo considerablemente por sus innumerables beneficios que brindan al ser humano, sin embargo, la falta de divulgación científica de este tema genera limitación en su uso; razón por la cual esta investigación se basa en la extracción de aceite esencial de ajonjolí, producto que puede ser utilizado en diferentes industrias, especialmente con el objetivo de mitigar el uso excesivo de productos químicos que perjudican la salud humana; por consiguiente, el proceso de extracción de aceite esencial inicia con dos previos tratamiento de temperatura 30 °C y 80 °C a las semillas de ajonjolí, lo cual nos permitió determinar la influencia de la temperatura en el proceso de rendimiento del producto final obtenido. En este proceso investigativo, también se ejecuta el desarrollo de técnicas que permitan cumplir con las características físico químicas dentro de la normativa INEN, asegurando la naturaleza del producto.

Además, por medio de la tecnología, se permite obtener un perfil detallado de ácidos grasos presentes en el aceite final, aspectos que permiten comprobar la calidad y pureza del aceite esencial. Finalmente, las técnicas estadísticas permitieron comprobar la influencia de la temperatura en el proceso de obtención de aceite esencial.

PALABRAS CLAVE: aceite esencial, temperatura, ajonjolí.

ABSTRACT

At present, the use of essential oils has been growing enormously due to their innumerable benefits that they provide to human beings, however, the lack of scientific dissemination of this subject generates limitations in their use; for that reason this research is based on the extraction of sesame essential oil, a product that can be used in different industries, especially with the aim of reducing the excessive use of chemical products that harm human health reason; Therefore, the essential oil extraction process begins with two previous temperature treatments of 30 °C and 80 °C to the sesame seeds, which allowed us to determine the influence of temperature on the yield process of the final product obtained. In this investigative process, the development of techniques that comply with the chemical physical characteristics within the INEN regulations is also carried out, ensuring the nature of the product.

In addition, through technology, it is possible to obtain a detailed profile of fatty acids present in the final oil, aspects that allow verifying the quality and purity of the essential oil. Finally, the statistical techniques allowed to verify the influence of temperature in the process of obtaining essential oil.

KEY WORDS: essential oil, temperature, sesame.

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUCCIÓN

Los aceites de origen vegetal son uno de los componentes básicos de la dieta humana, además, tienen una gran aplicación en diversas industrias, destacando la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética; por ende, su alto valor comercial está relacionado con las propiedades específicas de su composición química, especialmente su contenido de ácidos grasos, ya que permiten determinar la naturaleza del aceite (Pizzo *et al.*,2018). La calidad de los aceites vegetales está influenciada por múltiples factores entre ellos, la composición y proporción de ácidos grasos [AGs], la presencia de vitaminas, antioxidantes e impurezas. Bajo estas condiciones se encuentra el aceite de ajonjolí. En consecuencia, la evaluación de la calidad se enfoca en establecer la composición y estabilidad del aceite, obteniendo productos garantizados cuyos efectos beneficien la salud de sus consumidores (Zambelli ,2021).

El ajonjolí o sésamo [*Sesamum indicum L*], se destaca por ser uno de los cultivos oleaginosos más antiguos en la historia de la humanidad. En el 2019, países como Sudán generaron una producción anual que corresponde a 6,5 millones de toneladas. En Ecuador, las semillas de ajonjolí son cultivadas en lugares que se caracterizan por poseer climas cálidos, como es el caso de Babahoyo, Portoviejo y demás (Melo, 2021a).

El aceite de ajonjolí posee una estabilidad oxidativa significativa, debido a que sus antioxidantes contienen lignanos, principalmente triglucósido de sesaminol, diglucósido de sesamolol y diglucósido de sesaminol, así como también tocoferoles, compuestos que le atribuyen una gran estabilidad a la oxidación (Shi *et al.*,2018).

En investigaciones realizadas por Melo y colaboradores (2021b), manifiestan que el uso de altas temperaturas aporta en la extracción del aceite, de modo que un tratamiento térmico de las semillas previo al proceso de extracción contribuye a obtener un producto final con altos rendimientos, así como reacciones de Maillard, que promueven la liberación de aromas y colores más oscuros.

Los aceites vegetales presentan propiedades que favorecen el cumplimiento de diversas funciones en nuestro organismo, contrarrestando diversos tipos de enfermedades y promoviendo un estilo de vida sano y equilibrado. El presente estudio tiene como finalidad evaluar dos pretratamientos térmicos a distintas temperaturas que corresponden a 80 °C y 30 °C respectivamente, previos a la obtención de aceite esencial de la semilla de ajonjolí [*Sesamum indicum L.*], con el objetivo de valorar su rendimiento para su aplicación en la industria.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, la biotecnología desempeña un rol importante en la agroindustria; razón por la cual, es indispensable considerar su aplicación para su desarrollo. Por ende, la agroecología propone una visión que se ajuste a una producción sustentable regulando el uso de fitoquímicos, debido a los altos niveles de contaminación y deterioro del ambiente, estableciendo principios biológicos para el correcto funcionamiento del sistema agrícola.

De tal manera, es esencial que nuestro país genere recursos que fomenten la biotecnología, cuyo principio radica en el aprovechamiento sostenible de fuentes naturales y la obtención de materia prima de calidad, lo cual permitirá el desarrollo de productos orgánicos con un gran impacto positivo entre el humano y el ambiente. El Ecuador se caracteriza por poseer una gran biodiversidad, sin embargo, las propiedades de ciertas

especies vegetales no son reconocidas en su totalidad, dentro de este grupo encontramos al ajonjolí [*Sesamum indicum L.*], variedad que no ha sido aprovechada para su aplicación en diferentes industrias.

En los últimos años, la industria de aceites esenciales ha ido incrementando por sus innumerables propiedades nutricionales que brindan al ser humano, al poseer nutrientes, antioxidantes naturales y fitoesteroles; bajo este contexto se encuentra el aceite de sésamo o ajonjolí (Langyan *et al.*, 2022a).

De acuerdo a los principios que posee el ajonjolí, éste puede generar productos eco amigables que presentan un valor agregado para ser aplicados en el área alimenticia y la salud. La perspectiva biotecnológica de este proyecto, abre un gran campo de investigación basado en, optimizar procesos y mejorar o modificar la naturaleza de los productos para garantizar su consumo.

1.3 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Los tratamientos a los que se somete el ajonjolí antes de su extracción influyen en el rendimiento del aceite esencial de *Sesamum indicum L.*?

1.4 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

La presente investigación se realizó en los Laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, la misma que tuvo una duración de dos meses; por consiguiente, las principales limitantes que se desarrollaron durante la ejecución de la investigación fueron:

- Tiempo

- Tiempo requerido para obtener el análisis cromatográfico de las muestras
- Disponibilidad de equipos
- Disponibilidad de reactivos
- Acceso a los laboratorios

1.5 JUSTIFICACIÓN

El progresivo interés de los consumidores, conlleva a que las industrias establezcan nuevas estrategias comerciales que permitan la sustitución de aditivos sintéticos, garantizando la calidad del producto final; por ello surge esta investigación direccionada a extraer aceite esencial de la semilla de ajonjolí, materia prima que es sometida a dos pretratamientos, con el objetivo principal de determinar el pretratamiento más óptimo que brinde mayor rendimiento del aceite y también para difundir las características nutricionales del producto final obtenido.

El aceite de ajonjolí es muy recomendable por las propiedades nutraceuticas que posee, principalmente por la presencia de ácidos grasos poliinsaturados, particularidad que lo convierte en producto de calidad. Es importante considerar los ácidos grasos presentes porque representan un rol fundamental en las vías bioquímicas, asociados con efectos hipolipemiantes, antiinflamatorio y anti aterogénico (Orsavova *et al.*,2015).

También es imprescindible considerar el efecto antioxidante del aceite de ajonjolí, el cual permite preservar de diferentes enfermedades a las células del cuerpo humano mediante la eliminación de radicales libres (Pathak *et al.*,2017a); una variedad de antioxidantes, como el butilado hidroxitolueno [BHT] y el hidroxianisol butilado[BHA], logran consolidar los radicales libres; razón por la cual son empleados en diferentes industrias alimentarias para impedir el deterioro de los alimentos (Lopez-Pedrouso *et al.*,2020)(Hussain *et al.*,2018).

Investigaciones científicas recientes han demostrado que el aceite de ajonjolí es muy estable por la presencia de antioxidantes fenólicos como, lignanos y tocoferoles que contribuyen a muchos beneficios nutracéuticos (Langyan *et al.*,2022b).

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 GENERAL:

- Evaluar el rendimiento del aceite esencial de ajonjolí [*Sesamum indicum L.*] para su aplicación en la industria.

1.6.2 ESPECÍFICOS:

- Caracterizar el aceite obtenido a partir de los dos pretratamientos de las semillas de ajonjolí [*Sesamum indicum L.*] por medio de análisis de laboratorio, definiendo variaciones de las características del aceite por la temperatura de secado aplicada.
- Determinar el rendimiento de aceite en cada lote de semillas pre tratada, mediante técnicas de laboratorio, evidenciando el tratamiento más óptimo.
- Comparar los resultados obtenidos a través de modelos estadísticos estableciendo si los tratamientos son diferentes.

1.7 HIPÓTESIS

La temperatura de secado de la materia prima influye en el rendimiento del aceite esencial de ajonjolí [*Sesamum indicum L.*]

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se desarrolla el marco teórico, el cual permite ampliar los conocimientos sobre la investigación en curso. Esta indagación científica parte de conceptos generales a particulares y permite comprender el proceso de extracción del aceite esencial de ajonjolí. Primeramente, es importante conocer las características de la semilla de ajonjolí, y seguidamente se recopila información relacionada a los aceites y proceso de extracción, de tal manera que permita la comprensión adecuada de la información para poder desarrollar la parte práctica del proyecto.

2.1 ESTADO DEL ARTE

Las especies vegetales existentes en el territorio ecuatoriano, además de generar y abarcar propiedades nutricionales de gran importancia, poseen la capacidad de desarrollar compuestos fitoquímicos, como los aceites esenciales.

En base a la investigación de Cortéz y Sánchez (2017), han demostrado que el rendimiento obtenido de la semilla de ajonjolí fue de 45% en aceite crudo, mientras que el 36% corresponde al aceite clarificado y un 6% a impurezas, determinando de esta manera la viabilidad del proceso de extracción de aceites esenciales al utilizar como materia prima el ajonjolí, generando rendimientos óptimos y un producto final de calidad.

En cuanto al contenido nutricional de las semillas de sésamo, científicos han demostrado que posee gran cantidad de aceite, con un porcentaje >80% de ácidos grasos insaturados, ácidos grasos mono insaturados; como el, ácido oleico en proporción de 35–54 %; también la presencia de ácidos grasos poliinsaturados, tales como el, ácido linoleico en porcentaje de 39–59% (Hassan,2012); además, ácidos grasos saturados, ácido palmítico en cantidad de 9–12,9 % y ácido esteárico entre 5–10 %. El uso de aceites con elevado contenido de ácidos grasos insaturados, conservan efectos beneficiosos para la salud, especialmente un aceite que sea rico en ácido oleico, reduce el nivel del colesterol -LDL- e incrementa el índice de lipoproteína de alta densidad -HDL- en la sangre, considerando que el nivel de HDL contribuye a disminuir el riesgo de afecciones del corazón (Biswas *et al.*, 2018a). De igual modo, los niveles altos de ácido linoleico disminuyen el colesterol -LDL-, lo cual previene la aterosclerosis (Pathak *et al.*,2017b). Por ende, el aceite de las semillas de sésamo posee un perfil nutricional muy beneficioso de ácidos grasos, peculiaridad que lo cataloga como un producto muy prometedor en la salud humana.

En la investigación realizada por Shi y colaboradores (2017), se demuestra que los aceites obtenidos a partir de semillas de sésamo precalentadas desarrollaron una mayor estabilidad oxidativa y capacidad antioxidante, por consiguiente, el tostado de la semilla es un factor crítico que influye en la calidad y rendimiento del producto final de aceite de sésamo.

Por otro lado, Ribeiro y colaboradores (2016) evaluaron una tecnología limpia para la obtención de aceite de sésamo, a través de la extracción acuosa enzimática, permitiendo comparar los métodos de extracción convencionales. Para lo cual se utilizó dos enzimas: Pectinex Ultra SPL y Alcalase 2.4L, donde los resultados indicaron variaciones en el rendimiento y la composición de la extracción, demostrando que la extracción acuosa enzimática mejoró la calidad del aceite de sésamo gracias al uso de una metodología verde,

libre de solventes tóxicos, característica que le otorga un gran potencial para su aplicación en la industria alimentaria.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 AJONJOLÍ *SESAMUM INDICUM L*

El ajonjolí es una especie vegetal considerada como un cultivo oleaginoso muy antiguo, que ha sido usado desde la Edad de Bronce en el valle del Indo en Asia (Biswas *et al.*,2018b). El ajonjolí a nivel mundial se siembra en superficies de alrededor de 14 millones de hectáreas, generando una producción total de 6,8 millones toneladas, proporcionando 487 kg de rendimiento por hectárea (FAOSTAT,2020). El sésamo se cultiva en regiones subtropicales y tropicales de América del Sur, Asia y África que constituyen una fuente de semillas comestibles y aceite con propiedades organolépticas más adecuadas (Andargie *et al.*,2021).

La semilla de ajonjolí es considerada como materia prima de gran importancia en las industrias nutracéutica, farmacéutica y alimentaria. *Sesamum Indicum L*, es uno de los cultivos no convencionales que proporcionan una gran cantidad de beneficios, debido a que posee componentes bioactivos especiales, llegando a convertirse en un cultivo de interés industrial (Abbas *et al.*,2022). Estas semillas contienen alrededor del 50% de aceite y 25% de proteína, presentando propiedades digestivas, antienvjecimiento, rejuvenecedoras y ricas en vitaminas (Bukya y Vijayakumar, 2013, p 86-89).

2.2.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Tabla 1.

*Clasificación taxonómica del ajonjolí *Sesamum indicum* L*

Nombre científico	<i>Sesamum indicum</i> L.
Reino	Viridiplantae
Orden	Scrophlariales
Familia	Pedaliaceae
Género	<i>Sesamum</i>
Especie	<i>Indicum</i>

Fuente: Elaboración propia a partir de Cortés y Sánchez (2017, p6).

2.2.3 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

El cultivo de ajonjolí presenta distintos ciclos de vida; en las variaciones precoces, el ciclo de vegetativo comprende los 80 días, las de mediano ciclo de 110 días y en los cultivos más tardíos, corresponden a los 130 días. Generalmente, la planta necesita de temperaturas altas y uniformes que oscilan entre los 27 y 30 °C. De tal manera que, a temperaturas inferiores a los 18 °C durante la etapa de floración pueden ocasionar esterilidad de polen o presentan una prematura caída de las flores; por otro lado, la exposición a elevadas temperaturas como los 40 °C y superiores a este deterioran el proceso de fertilización y el número de cápsulas durante la etapa de floración (Cortés y Sánchez,2017).

El ajonjolí posee un sistema radicular completamente desarrollado, ramificado, fibroso, constituido por una raíz pivotante, regularmente superficial. La planta presenta entre el 50% y 60% de aceites, los cuales poseen una alta estabilidad, ya que contiene antioxidantes naturales como sesamol, sesamina y sesamolina. La composición de los aceites presentes en el cultivo de ajonjolí difiere según sus variedades (De Mera, 2017a). Es importante considerar que la productividad del ajonjolí es perjudicada por factores, tales como la altura de la planta y la cantidad de semillas (Zhang *et al.*,2019).

2.2.4 CARACTERÍSTICAS DE LA SEMILLA

Las semillas son relativamente pequeñas, midiendo aproximadamente entre 2 y 4 mm de longitud y de 1 a 2 mm de ancho, se encuentran recubiertas de una testa, cuya función es proteger al endospermo, ya que es fuente de nutrientes durante la etapa de germinación de la semilla (Díaz y Córdova,2018).

Del mismo modo, la semilla de ajonjolí se caracteriza por ser aplanada y sus colores varían entre blanco y gris oscuro; su ciclo vegetativo es variable, entre 90 y 30 días aproximadamente, ya que se encuentra influenciado por la variedad de condiciones ecológicas y edáficas (De Mera ,2017b).

2.2.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA SEMILLA

Generalmente, las semillas de ajonjolí se caracterizan por ser una fuente esencial de nutrientes para el ser humano. Considerando la investigación de Namikim (2019) manifiesta que la proteína de la semilla de ajonjolí posee gran cantidad de aminoácidos esenciales, especialmente la metionina. Además, el ajonjolí posee minerales [magnesio, calcio, fósforo,

potasio], que son indispensables para el proceso de producción de glóbulos rojos en el ser humano (Tenyang *et al.*,2017).

Tabla 2.

Composición química de Sesamum indicum L.

Componentes	Cantidad
Proteínas	18-20%
Carbohidratos	13,4-25,0%
Fibra digerible	9,8%

Nota: En esta tabla se detalla el contenido químico de la semilla de *Sesamum indicum L.* Fuente:

Elaboración propia a partir de Yuan *et al.*,(2018, p1).

Tabla 3.

Composición química: vitaminas y minerales de Sesamum indicum L.

Vitaminas y minerales	
Vitamina A	
Vitamina E	
Vitamina C	
Tiamina(B1)	
Riboflavina B2	
Niacina B3	
Piridoxina B6	
Ácido Fólico B9	
Potasio	0,67%
Ácido Pantoténico	0,60%
Magnesio	
Calcio (Ca)	1,35%
Hierro (Fe)	
Zinc (Zn)	

Fósforo (P)

Nota: En esta tabla se detalla el contenido químico de la semilla de *Sesamum indicum L.* Fuente: Elaboración propia a partir de Yuan *et al.*, (2018, p1-2).

2.2.6 PERFIL NUTRICIONAL

Generalmente, el ajonjolí es una semilla con un alto valor nutritivo; en el cual la composición de ácidos grasos es 14% saturados, 39% monoinsaturados y 49% poliinsaturados. Los carbohidratos contenidos en las semillas de sésamo presentan un 3,2% de glucosa, 2,6% de fructosa y 0,2% de sacarosa, mientras que la cantidad restante corresponde a las fibras dietéticas. El ajonjolí contiene un alto grado de aminoácidos que contienen azufre y limitados en lisina, se destacan por presentar cantidades significativas de ácidos oxálicos que corresponden a un 2,5% y ácido fítico con un 5%. Además, las semillas de sésamo son consideradas una excelente fuente de cobre y calcio; así como también, en hierro, fósforo, magnesio, manganeso, zinc y vitamina B1. De modo que, sólo un cuarto de taza de semillas de sésamo provee aproximadamente el 74,0 % del valor diario [VD] de cobre, el 31,6% del VD de magnesio y el 35,1% del VD de calcio. Por ende, esta rica proporción de minerales contenidos en la semilla de sésamo presentan una gran variedad de propiedades nutricionales y medicinales (Hashempour-Baltork *et al.*,2018a).

2.2.7 COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS PRESENTES EN EL AJONJOLÍ

La semilla de ajonjolí está constituida por ácidos grasos [AG] que son biomoléculas provenientes de los lípidos, se caracterizan por ser ácidos débiles, debido a los compuestos que los conforman, un grupo metilo y un grupo carboxilo en cada extremo, presenta una

cadena abierta que divide la molécula en tres grupos: saturados, mono insaturados y poliinsaturados

(Chancasanampa y Mucha, 2019).

2.2. 8 BENEFICIOS DEL AJONJOLÍ

Las semillas de sésamo son consideradas alimentos de gran importancia, ya que ofrecen innumerables beneficios nutricionales y fisiológicos, razón por la cual actúa como alimento y componente nutracéutico (Cheng *et al.*,2006).

Asimismo, es importante mencionar que muchas enfermedades, como las cardiovasculares, la colestasis, la obesidad y otras relacionadas, se desarrollan por una dieta desequilibrada, especialmente en cuanto a la ingesta de aceites (Hashempour-Baltork *et al.*,2018b).

Las semillas de sésamo al contener dos sustancias únicas como la sesamina y sesamolina poseen un efecto reductor de colesterol en humanos, permitiendo prevenir la presión arterial alta. Además, estudios realizados demuestran que la presencia de estos lignanos aumenta la tasa de oxigenación de ácidos grasos peroxisomales y mitocondriales hepáticos en animales de experimentación (Hashempour-Baltork *et al.*,2018c).

2.3 ACEITES ESENCIALES

En la actualidad, la industria perteneciente a los aceites esenciales, proporciona grandes ganancias para sus empresas, por tal motivo día a día va ascendiendo como un recurso provechoso económicamente porque posee una amplia gama de campos aplicables como: farmacéutica, alimentaria, aromaterapia, cosmética, entre otros. Los aceites esenciales [AE] son considerados como fitoquímicos concentrados en componentes como: terpenos, sesquiterpenos; una característica principal es que son volátiles y actúan como compuestos

hidrofóbicos. La producción de los AE depende de las especies vegetales que actúan como materia prima en el proceso de producción (Shahin *et al.*,2021).

2.3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS ACEITES ESENCIALES

Con base a estudios realizados por Barrera (2020), los aceites esenciales presentan las siguientes características físicas:

- A temperatura ambiente, los aceites esenciales son líquidos y volátiles.
- Presentan solubilidad en alcoholes y disolventes orgánicos comunes, tales como: éter o cloroformo, y en alcohol de alta graduación.
- Son liposolubles.
- Son incoloros o ligeramente amarillos recién destilados.
- Presentan una densidad inferior a la del agua.
- Generalmente están dotados de poder rotatorio.
- Presentan un índice de refracción elevado.
- Poco solubles en agua, sin embargo, son arrastrables por el vapor de agua.

2.3.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS ACEITES ESENCIALES

Los aceites esenciales son considerados como compuestos de un metabolismo vegetal que depende de la especie que sea utilizada para obtener el producto final, el cual puede poseer de 50 a 300 compuestos químicos, tales como, alcoholes, cetonas, hidrocarburos, aldehídos, compuestos fenólicos, ésteres, entre otros (Ruiz, Díaz y Rojas, 2015a).

Las propiedades químicas varían de acuerdo al área de cultivo y a las condiciones ambientales (Ruiz, Díaz y Rojas,2015b); es así que los diferentes aceites cumplen un papel esencial porque aportan innumerables beneficios al ser humano.

2.4 ACEITE ESENCIAL DE AJONJOLÍ

El aceite de ajonjolí presenta un color de ámbar a amarillento, contiene una sustancia fenólica, conocida como sesamol [metilendioxifenil], el mismo que se distingue por ser un fuerte antioxidante natural, propiedad que le atribuye resistencia a la rancidez oxidativa mayor que otro tipo de aceites comestibles (Cortez y Sánchez,2017).

De este modo, el aceite de ajonjolí constituye aproximadamente entre el 45% y 50% del peso de la semilla presentando un alto valor nutricional, gracias a la presencia de sus componentes bioactivos, por lo que, la mejora de estos componentes llevará a un aumento de la estabilidad y al mantenimiento de la calidad del aceite (Pathak *et al.*,2014).

2.4.1 BENEFICIOS DEL ACEITE ESENCIAL DE AJONJOLÍ

De los principales beneficios que brinda el aceite de ajonjolí, en la salud humana, se tienen los siguientes (Langyan *et al.*,2022a)

-Antidiabético: la diabetes es considerada una enfermedad crónica ocasionada por la disfunción pancreática, lo cual genera un incremento en los niveles de azúcar en la sangre (Haidari *et al.*,2016). Mediante investigaciones científicas Haidari y colaboradores (2016) manifiestan que el consumo de aceite de ajonjolí posee efectos anti diabéticos, por la presencia de sesamina que permite mejorar los niveles de glucosa en la sangre.

-Actividad anti hipercolesterolemia: la hipercolesterolemia es considerada como una alteración metabólica coligado al incremento de niveles de lípidos, lo cual ocasiona complicaciones en la salud humana, como; ataques cardíacos, cirrosis hepática, artritis, entre otros; razón por la cual es indispensable el consumo de alimentos que permitan contrarrestar

esta enfermedad tal es el caso del aceite de ajonjolí que ha presentado actividad anti hipercolesterolémica reduciendo la tensión oxidativa renal (Woo *et al.*,2019). Además, otro beneficio es que el aceite de semillas de ajonjolí, presenta actividades hipolipemiantes (Li *et al.*,2020)

-Actividad hepatoprotectora y cardioprotectora: el aceite esencial de sésamo actúa positivamente para cuidar el corazón y el hígado (Periasamy *et al.*,2014), porque el sesamol, ingrediente presente en las semillas de sésamo reduce la actividad de las enzimas hepáticas, generando efectos hepatoprotectores y dío protectores (Hemalatha *et al.*,2013).

2.4.2 COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS DEL ACEITE ESENCIAL DE AJONJOLÍ

El aceite de sésamo se caracteriza por ser una excelente fuente de ácidos grasos Omega 6 [AGs - ω6]. A pesar de presentar un 85% de AGs insaturados, es considerado uno de los aceites vegetales que presentan mayor estabilidad a la oxidación (Abou-Gharbia *et al.*, 2000). Por ende, la composición de ácidos grasos tanto de los aceites como de grasas comestibles tiene una importancia significativa a nivel tecnológico y nutricional, por este motivo, uno de los principales análisis en el área de aceites y grasas es la composición de AGs (HashempourBaltork *et al.*,2017). Los AGs presentes en el aceite de sésamo se describen a continuación:

Tabla 4.

Composición de ácidos grasos [AGs] de aceite de Sesamum indicum L.

Ácidos Grasos (AG)	Fórmula (Cn:a)	Cantidad (%)
AGs Saturados		
Palmitico	C16:0	10,7 %
Esteárico	C18:0	6,5 %
AGs Insaturados		
Oleico	C18:1	41,8 %
Linoleico	C18:2	20,1 %
Alfa - Linolénico (ALA)	C18:3	0,8 %
$\omega 6/\omega 3$	$\omega 6:\omega 3$	50, 1;1

Nota: En esta tabla se detalla el contenido de ácidos grasos presentes en el aceite de sésamo, donde Cn representa el número de carbonos en la molécula de ácidos grasos y a el número de insaturaciones. Asimismo, $\omega 6/\omega 3$, hace referencia a la relación de omega 6 y omega 3 presentes en el aceite de sésamo, respectivamente. Fuente: Elaboración propia a partir de Hashempour *et al.*, (2017, p 98).

2.4.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE AJONJOLÍ

De acuerdo con las investigaciones científicas de Langyan y colaboradores (2022), el aceite de sésamo presenta las siguientes propiedades:

a) Fitosteroles: están presentes en la semilla de ajonjolí entre 4 a 5 mg/g, son factores alimenticios que permite reducir los niveles de colesterol presentes en la sangre (Feng *et al.*,2020), característica que ayuda a prevenir el desarrollo de enfermedades cardiovasculares (Gylling *et al.*,2014). El fitosterol que se encuentra en mayor proporción en el aceite de ajonjolí es el β -sitosterol , con un porcentaje del 60% (Zine *et al.*,2013).

b) Tocoferoles: antioxidante natural que proporciona estabilidad oxidativa del aceite (Gharby *et al.*,2017), están presentes en una cantidad de 44,6 mg/100 g (Fatnassi *et al.*, 2009). Una gran ventaja que proporcionan los alimentos que poseen tocoferoles es que logran disminuir el peligro de cáncer y también la foto carcinogénesis impulsada por la luz UVB (Balan *et al.*,2009).

De igual forma, el aceite de sésamo al contener altos niveles de tocoferoles, sesamolina y lignanos de sesamina, presenta una buena estabilidad oxidativa, desarrollando efectos promotores de la salud, tales como: efectos antiinflamatorios y actividad anti proliferativa sobre las células cancerosas, esto se debe a que contiene una gran cantidad de linoleato en forma de triglicéridos que se encargan de inhibir selectivamente el crecimiento del melanoma maligno (Anilakumar *et al.*, 2010).

c) Lignanos: metabolitos secundarios que se catalogan en dos grupos, que son;

- Lignanos solubles en aceite de ajonjolí: sesamin, sesaminol, sesamol, sesamolinol, pinoresinol y semolina.
- Lignanos hidrosolubles glicosilados: tenemos triglucosidos, diglucosidos y monoglucosidos (Bhatnagar *et al.*,2013).

Estos fitoquímicos poseen propiedades como, antitumoral, hipocolesterolémicos, antiinflamatorio, antienvjecimiento e hipoglucemiante (Namiki, 2007b).

2.5 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE AJONJOLÍ

La extracción de aceites esenciales es uno de los pasos más importantes en el procesamiento de aceite de semilla, ya que determina la calidad y cantidad del aceite obtenido. Aun cuando existen métodos de extracción especiales para las semillas oleaginosas más tradicionales, se sigue realizando una búsqueda constante cuyo objetivo es mejorar los rendimientos de extracción. De modo que, la optimización de las condiciones que influyen en el proceso de extracción es crítica (Nde y Foncha ,2020).

Los métodos de extracción se realizan a través de una gran variedad de técnicas bioquímicas, químicas y mecánicas para de este modo, maximizar los rendimientos obtenidos y minimizar las alteraciones en cuanto a la calidad del producto. Además, la molienda es un factor importante en la preparación de materiales para su posterior extracción, independientemente del método que se utilice, permitiendo obtener rendimientos altos y una influencia significativa en las operaciones posteriores (Fuad y Don, 2016).

2.5.1 EXTRACCIÓN POR SOXHLET

La extracción por Soxhlet es una técnica tradicional cuyo uso está basado en la extracción de compuestos bioactivos de una gran variedad de fuentes naturales. Este tipo de técnica de extracción cuenta con una gran ventaja ya que se puede extraer compuestos que presentan una solubilidad entre media y baja (Nafiu *et al.*,2017). Por consiguiente, para obtener un rendimiento óptimo y evitar la pérdida de sus compuestos volátiles es fundamental la correcta elección del disolvente utilizado en el proceso de extracción, ya que el tipo de disolvente

empleado en esta técnica sugiere la polaridad de los compuestos extraídos. Sin embargo, es importante considerar que el tiempo de extracción es relativamente largo, por ende, puede propiciar la destrucción de compuestos termolábiles (Wong *et al.*,2014)

2.5.2 EXTRACCIÓN POR ARRASTRE DE VAPOR

Este método tiene por objetivo la separación de sustancias insolubles en agua y ligeramente volátiles, dentro de otros productos no volátiles; por tal motivo, los compuestos orgánicos que presentan alto punto de ebullición son destilados con rapidez por debajo del punto de ebullición del agua, logrando ser arrastrados por el vapor generado. Frecuentemente, son empleados para la separación de aceites esenciales de tejidos vegetales (Villaverde, 2018).

2.5.3 EXTRACCIÓN POR FLUIDOS SUPERCRÍTICOS [SFE]

La SFE también conocido como método de extracción de carbono supercrítico; los disolventes que se emplean en este método son principalmente gases comprimidos, tales como: etano, propano, etileno, óxido de nitrógeno y dióxido de carbono (Yoswathana,2013). Por ende, la extracción se realiza a una temperatura y presión superiores al punto crítico de dióxido de carbono, siendo estas: 7,4 MPa y 31,1 °C, o cerca de esta región. Además, los principales componentes contenidos en los aceites esenciales como los terpenoides, se disuelven fácilmente en dióxido de carbono denso, por este motivo, es considerado como el solvente supercrítico de primera elección (Sovová, 2012).

2.5.1.1 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE

ACEITE ESENCIALES

Según investigaciones científicas realizadas por García y colaboradores (2017a) indican que los principales factores que influyen en el proceso de extracción son:

-Tiempo de extracción: en la extracción de aceites las primeras horas son críticas, ya que es cuando más material se disuelve, obteniendo una curva asintótica. Debido a que existe una gran cantidad de material para extraer permitiendo una fácil separación de sus componentes; sin embargo, a medida que avanza el proceso se torna más difícil extraer una pequeña fracción de sus componentes residuales.

-Cantidad de solvente: la cantidad de solvente empleado debe ser la adecuada, ya que en caso contrario puede quemarse la muestra o producirse una explosión. Durante el proceso de extracción es importante agregar una cantidad significativa de solvente en exceso, debido a que se genera una pérdida del solvente por evaporación; además, se debe mantener una cantidad mínima de solvente en el balón para evitar la concentración excesiva del extracto.

-Temperatura del solvente: generalmente, la lixiviación debe realizarse a elevadas temperaturas, ya que permite que la viscosidad del líquido sea menor y mayores las difusividades, incrementando la rapidez en el proceso de extracción. Asimismo, el efecto que tiene la temperatura en el porcentaje de rendimiento del aceite indica que este aumenta al incrementar la temperatura, pero, no puede exceder la temperatura de ebullición.

-Tipo de solvente: el solvente que se utiliza para la extracción debe ser cuidadosamente seleccionado, puntualizando la temperatura máxima y mínima de ebullición. A lo largo de los años, el hexano es considerado como el solvente más utilizado en la extracción de aceites a partir de semillas. No obstante, el ideal por mantener un ambiente sano y ecológicamente equilibrado ha llevado a la búsqueda de solventes alternativos al hexano.

- **Tamaño de partícula:** las partículas mientras más pequeñas y homogéneas sean, mayor será la superficie interfacial favoreciendo la operación de transferencia de masa. Por otro lado, cuando las partículas presentan un tamaño excesivamente pequeño ocasionan que las partículas se compacten impidiendo el proceso de extracción.

2.5.1.2 PRUEBAS FISICOQUIMICAS DEL ACEITE ESENCIAL DE AJONJOLÍ

Por lo general, una vez que se ha realizado la extracción de aceites esenciales, estos son sometidos a pruebas físicas y químicas, las mismas que permiten determinar su calidad y propiedades. Por consiguiente, las pruebas que establecen la calidad del aceite son: índice de yodo, índice de acidez, índice de refracción, índice de saponificación e índice de peróxidos (López *et al.*,2013).

2.6 CROMATOGRAFÍA DE GASES

La cromatografía de gases (GC) y la cromatografía de gases - espectrometría de masas (GC-MS) son consideradas las principales herramientas utilizadas para el análisis cualitativo, cuantitativo y estructural de lípidos vegetales (Brands *et al.*,2021).

La GC se trata de una técnica analítica utilizada para la identificación y cuantificación de componentes que se encuentran presentes en una mezcla. Su principio está basado en la diferencia que presentan las velocidades de migración de los componentes al ser arrastrados por un gas portador a través de la columna (Pravallika,2016).

La muestra se inyecta en la corriente del gas portador. A medida que se mueve a través de la columna que contiene el gas, las moléculas de cada sustancia que están presentes en la muestra se distribuyen entre el gas y el líquido, respectivamente; del mismo modo, las

moléculas individuales se moverán de forma constante entre el gas y el líquido generando un equilibrio dinámico. Mientras una molécula se encuentra en fase gaseosa pasará a lo largo de la columna, por otro lado, las moléculas que permanecen disueltas en el líquido se mantienen dentro de la fase estacionaria. Es importante considerar que cuanto más volátil es una sustancia, mayor será el tiempo en que sus moléculas se moverán en el gas portador, y, por lo tanto, saldrán antes de la columna (Al-Bukhaiti *et al.*,2017).

De esta forma, el análisis instrumental de GC-MS facilita la identificación y cuantificación de una gama de compuestos fitoquímicos presentes en el aceite esencial en un corto periodo de tiempo (Sarapura y Martínez,2014).

CAPÍTULO 3

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

La metodología propuesta del presente trabajo es de carácter investigativo y experimental. El enfoque investigativo se llevó a cabo en la fase I por medio de la indagación bibliográfica sobre las características nutricionales del ajonjolí. Dentro de la fase II se realizó el enfoque experimental, en el cual se analizaron las variables óptimas que generen un mayor rendimiento en la extracción de aceite esencial de ajonjolí. El enfoque cuantitativo, perteneciente a la fase III delimita el porcentaje de rendimiento alcanzado utilizando dos diferentes temperaturas en el proceso de secado de la materia prima; así como también la caracterización fisicoquímica del aceite obtenido de *S.indicum L.*

3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Para la investigación se desarrollaron tres fases, que requieren una duración de 400 horas de trabajo independiente.

Fase I

Revisión bibliográfica de los métodos de extracción para la obtención del aceite esencial del ajonjolí *Sesamum indicum L.* Dentro de esta etapa se lleva a cabo la recopilación, selección e

identificación de las propiedades del aceite esencial del ajonjolí *Sesamum indicum L.* y se clasifica toda la información recopilada.

Fase II

Determinar y desarrollar la metodología óptima para obtener aceite esencial de ajonjolí *Sesamum indicum L.* Posteriormente, se evaluaron las variables influyentes en el rendimiento del producto final.

Fase III

En esta etapa se analiza el porcentaje de rendimiento y se selecciona la temperatura óptima que debe ser secado la materia prima, previo al proceso de extracción del aceite esencial. Después se desarrollan pruebas que permitan la caracterización del aceite esencial obtenido y finalmente se realiza cromatografía de gases acoplada a masas que nos permita conocer la composición fisicoquímica del aceite, a través de la separación e identificación de sus componentes químicos. Para concluir, se genera una discusión de los resultados obtenidos, que nos posibilite verificar si es posible desarrollar la <<Evaluación del rendimiento del aceite esencial de ajonjolí *Sesamum indicum L.* a partir de dos pretratamientos para su aplicación en la industria>>.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. POBLACIÓN

Ajonjolí [*S.indicum*] obtenido de la tienda de productos naturales <<La Chakra>>.

3.3.2. MUESTRA

Se emplea el ajonjolí [*S.indicum*] obtenido de la tienda de productos naturales <<La Chakra>>.

3.4 VARIABLES

- Variables independientes: pretratamientos térmicos de la semilla.
- Variable dependiente: rendimiento de extracción.

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA RECOLECCIÓN DE DATOS

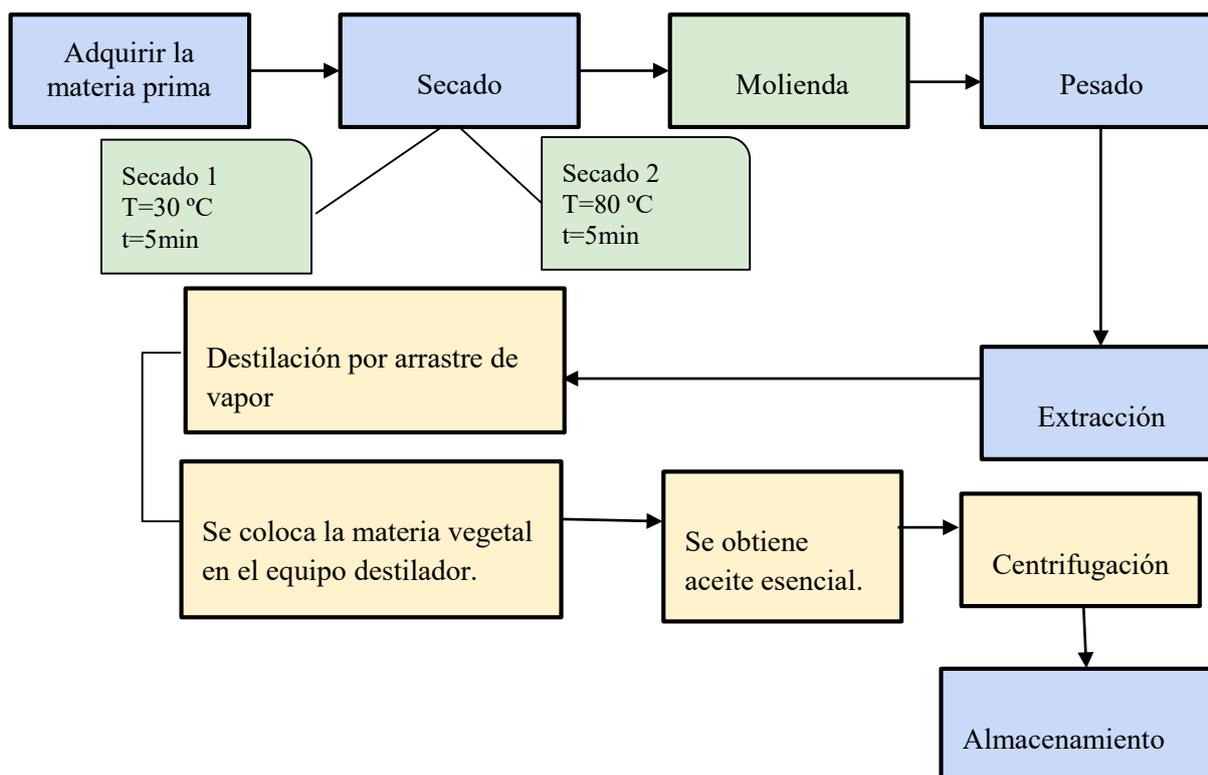
Para la recolección de datos se emplearon varias técnicas e instrumentación, tales como: artículos científicos, revistas de divulgación científica, tesis y libros.

3.6 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS

3.6.1 Técnicas de procesamiento

Figura 1.

Diagrama del proceso para la obtención de aceite esencial a partir de ajonjolí.



Nota: El gráfico representa las etapas para el proceso de extracción de aceite esencial de ajonjolí.

Fuente: Elaboración propia a partir de González (2018, p75).

a. Obtención de la materia prima.

El ajonjolí fue comprado en la tienda de productos naturales <<La Chakra>>, ubicado en la ciudad de Cuenca de la provincia del Azuay, que se encuentra en las siguientes coordenadas S= 79° 0' 16" y W= 79° 15'.

b. Molienda

Es conveniente triturar la materia prima utilizando un molino, con el propósito de favorecer al proceso de extracción del aceite esencial.

c. Secado

En esta etapa, se procede a realizar dos secados, con el objetivo de analizar el rendimiento del producto final.

-Secado 1: La materia prima, debe ser secada a temperatura de 30 °C por 5 minutos en la estufa.

-Secado 2: La materia prima, debe ser secada en la estufa a una temperatura de 80 °C, por 5 minutos.

d. Pesado

Durante esta fase, se debe utilizar una balanza analítica y pesar 100 g por cada corrida.

e. Extracción

Durante esta etapa, se desarrolla el proceso de extracción del aceite esencial de ajonjolí por el método de arrastre de vapor a escala de laboratorio.

f. Obtención

Una vez terminado el proceso de destilación por arrastre de vapor, se obtiene el aceite esencial.

g. Centrifugación

El producto obtenido, es indispensable que pase por una fase de centrifugación de esta manera el hidrolato se separa del aceite.

h. Almacenamiento

En la etapa final, para guardar el aceite esencial se debe considerar la temperatura óptima y colocar en frascos ámbar tapado.

3.6.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS**3.6.2.1 PRUEBA DE NORMALIDAD**

La prueba de normalidad desarrollada por el estadístico Shapiro- Wilks, mide la fuerza de ajuste con una recta, de modo que, cuanto mayor sea este estadístico, mayor discrepancia habrá con la recta de normalidad. Cuando el coeficiente de correlación se acerca a 1, los datos

deben permanecer dentro de la gráfica de probabilidad normal, si este no es el caso, el valor crítico idóneo es menor, y por ende, se rechaza la hipótesis nula de normalidad (Tapia *et al.*,2021).

Prueba de hipótesis

- Ho: La temperatura de secado de la materia prima influye en el rendimiento del aceite esencial de ajonjolí [*Sesamum indicum L.*]. Ninguna temperatura de secado de la materia prima influye en el rendimiento del aceite esencial de ajonjolí [*Sesamum indicum L.*].
- H1: Ninguna temperatura de secado de la materia prima influye en el rendimiento del aceite esencial de ajonjolí [*Sesamum indicum L.*].

3.6.2.2 ANÁLISIS DE VARIANZA

El análisis de varianza [ANOVA] permite contrarrestar la hipótesis nula que las medias de poblaciones son iguales, en cuanto, a la hipótesis alternativa indica que por lo menos una de las poblaciones es diferente de las demás, en lo que respecta a su valor esperado. Por ende, este contraste es primordial en el análisis de resultados experimentales, en los cuales, el interés principal es comparar los resultados de los tratamientos o factores con respecto a la variable de interés (Dagnino,2014).

3.7 PROCEDIMIENTO

3.7.1 ADQUISICIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Las semillas de ajonjolí son obtenidas de la tienda de productos naturales <<La Chakra>>, localizada en la ciudad de Cuenca, usando tres muestras de 100 g para su posterior aplicación de los dos tratamientos térmicos.

Figura 2. Muestras de ajonjolí [*Sesamum Indicum L.*]



Fuente: Autoras

3. 7.2 APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Luego de obtener la materia prima, se aplica dos pretratamientos térmicos a la semilla de sésamo [tabla 5].

Tabla 5.

Pre-tratamientos térmicos aplicados

Pre-tratamiento	Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)
Secado(horno)	5	30
Secado(horno)	5	80

Fuente: Autoras

Después de los dos pretratamientos, la semilla es molida para acortar el tamaño a fracciones más pequeñas, con el objetivo de conseguir mayor rendimiento del aceite esencial.

3.7.3 OBTENCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE AJONJOLÍ MEDIANTE LA TÉCNICA DE ARRASTRE DE VAPOR

El proceso de obtención del aceite esencial de ajonjolí, se desarrolla por medio del método de arrastre de vapor a escala de laboratorio. Luego de los dos pretratamientos realizados a las semillas de sésamo, se procede a colocar en un matraz fondo la cantidad de 100 g, posteriormente se agrega 125 mL de etanol al 96% y 125 mL de agua en el balón de fondo redondo de 250 mL y se somete a una temperatura de 90 °C, por un periodo de tiempo de 4 horas por cada extracción, después se recolecta el aceite con el solvente obtenido en el balón esmerilado y se procede a centrifugar por dos veces a 3900 RPM por 25 minutos. Finalmente se pesa el producto final y se determina su rendimiento.

Ecuación 1. Porcentaje de rendimiento

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

Figura 3. Equipo de destilación por arrastre de vapor



Fuente: Autoras

3. 8 CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE

3. 8.1 ÍNDICE DE REFRACCIÓN

El índice de refracción presente en los aceites esenciales determina la reducción de la velocidad de la luz al ser propagada por un medio homogéneo. Es decir, es el cambio de fase por unidad de longitud. Asimismo, el IR es distinto para cada tipo de aceite ya que actúa como indicador de pureza (INEN, 2012a).

Materiales

- Cuentagotas
- Agua destilada
- Líquido problema [aceite esencial].

Equipos

- Refractómetro de marca ABBE.

Procedimiento

Considerando la metodología sugerida por el Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN] se procede a medir el índice de refracción por medio de un refractómetro de marca ABBE; el mismo que fue calibrado a 25 °C con agua destilada. Después se coloca 1 gota de la muestra a analizar sobre el prisma inferior por unos minutos y seguidamente se procede a la lectura. Cada muestra se realiza por triplicado (NT-INEN-042,1973).

Figura 4. *Determinación del índice de refracción a 25 °C*



Nota: [1,473 índice de refracción de la muestra problema]. Fuente: Autoras

3. 8.2 ÍNDICE DE ACIDEZ

El índice de acidez es el número de miligramos de KOH necesario para neutralizar los ácidos grasos libres presentes en un gramo de aceite que se encuentran adheridos a un glicérido. Por consiguiente, cuando se presenta un valor elevado de esta índice señala que el aceite contiene altos niveles de ácidos grasos libres, debido a que ha experimentado un alto grado de hidrólisis. Asimismo, los aceites y grasas refinados deben presentar un nivel inferior al 0,2% de ácidos grasos libres para su posterior uso en la alimentación (García *et al.*, 2017b).

Reactivos

- Alcohol etílico al 95%
- Indicador fenolftaleína
- Aceite esencial de ajonjolí
- Hidróxido de potasio [KOH] 0,1 N

Equipo

- Equipo de titulación
- Balanza analítica

Materiales

- Agitador magnético
- Erlenmeyer de 250 mL
- Bureta

- Pinza

Procedimiento

En un Erlenmeyer se pesa 2g de aceite esencial de ajonjolí, seguidamente se añade 100 mL de alcohol etílico al 95% y se agrega a la muestra 2 mL de indicador de fenolftaleína. Por medio de un equipo de titulación se valora la muestra con KOH 0,1N agitando constantemente hasta conseguir una coloración rosada y que persista por 30 segundos. Finalmente se calcula el índice de acidez con la fórmula adjunta (NT-INEN-038,1973).

Ecuación 2. Índice de acidez

$$IA = \frac{56,1 * V * N}{m}$$

En donde:

IA= Índice de acidez del producto en mg/g.

V=Hace referencia al volumen de titulación de hidróxido de potasio empleado en la titulación.

m=Es el peso de la muestra analizada (g).

N=Normalidad de la solución de hidróxido de potasio.

3. 8.3 ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN

El índice de saponificación corresponde al número de miligramos de KOH que se requieren para saponificar totalmente un gramo de aceite. Debido a que los aceites están compuestos por triglicéridos en su mayoría, y tomando en cuenta que cada triglicérido necesita tres moléculas de KOH para su saponificación, de modo que, este índice es clave para evaluar el peso molecular promedio del aceite analizado (García *et al.*,2017c).

Reactivos

- Alcohol etílico al 95%
- Indicador fenolftaleína
- Aceite esencial de ajonjolí
- Hidróxido de potasio [KOH] 0,5 N
- Ácido clorhídrico [HCl] 0,5 N

Materiales

- Agitador magnético
- Erlenmeyer de 250mL
- Bureta
- Pipeta
- Pinza
- Matraz
- Soporte

- Balanza analítica

Procedimiento

Para este proceso se pesa 1 g del aceite esencial de ajonjolí y con una pipeta se añade 12,5 mL de hidróxido de potasio (KOH) 0,5 N. Luego, se coloca el matraz a un condensador para reflujo y se deja hervir aproximadamente por 30 minutos y dejar que se enfríe. Después se agrega 0,5 mL de fenolftaleína y titular con ácido clorhídrico 0,5 N hasta que desaparezca la coloración rosada. Finalmente, se corre un blanco para calcular el índice de saponificación, mediante la siguiente fórmula (NT-INEN-040,1973).

Ecuación 3. Índice de saponificación.

$$\text{Índice de saponificación} = \frac{(56,1)(V_1 - V_2)(N)}{m}$$

Siendo:

Índice de saponificación = Reflejado en mg /g.

V_2 = Hace referencia al volumen de HCl que se emplea en la muestra.

V_1 = Hace referencia al volumen de HCl que se emplea en el blanco.

N = Considerado como la concentración normal de HCl.

m = Masa de la muestra, en gramos.

56.1 =Valor del peso molecular de KOH

3. 8.4 ÍNDICE DE YODO

El índice de yodo [IY] permite conocer la cantidad de insaturaciones presentes en los ácidos grasos de la muestra. De modo que, una muestra saturada en su totalidad presenta un índice que es igual a cero; por otro lado, mientras más insaturaciones tenga el IY va a incrementar. De igual manera, el grado de insaturaciones influye en el punto de fusión de la muestra debido a que, mientras menor insaturación en la muestra, disminuye el punto de fusión (Macias *et al.*, 2017).

Reactivos

- Aceite esencial de ajonjolí [muestra problema]
- Cloroformo
- Yoduro de potasio [KI]
- Agua destilada
- Tiosulfato de sodio 0,1 M
- Indicador de almidón al 1%
- Reactivo de Hanus

Materiales

- Agitador magnético
- Erlenmeyer de 500mL
- Bureta
- Pipeta

- Pinza

Equipos

- Equipo de titulación
- Balanza analítica

Procedimiento

De acuerdo con la normativa técnica ecuatoriana establecida por INEN (1973) se procede a pesar 0,30 g de aceite en un Erlenmeyer de 500 mL, se agrega 10 mL de cloroformo. Se añade 25 mL de reactivo de Hanus y permanece en reposo durante 30 minutos en la oscuridad. A continuación, se añade 5 mL de yoduro de potasio [KI] al 15% y se agita hasta lograr una mezcla homogénea, luego se agrega 100 mL de agua destilada. Posteriormente, se titula la muestra con tiosulfato de sodio 0,1 M hasta que el color amarillo de la mezcla casi desaparezca. Se añade 1 mL de indicador de almidón al 1% y se continúa con la titulación hasta que la coloración azul desaparezca. Seguidamente, se cubre el Erlenmeyer y se agita para que el yodo restante en la capa de cloroformo vaya a la capa de yoduro de potasio, y finalmente se corre un blanco. Cada muestra se realiza por triplicado. El índice de yodo está determinado por la siguiente fórmula (NTE-INEN-037,1973).

Ecuación 4. Índice de yodo.

$$IY = \frac{(12,69)(V_B - V_m)(N)}{m}$$

En donde:

IY = Índice de yodo, expresado en cg/g.

V_B = Volumen en mL de tiosulfato de sodio que se emplea para titular el blanco.

V_m = Volumen en mL de tiosulfato de sodio empleado para titular la muestra.

N : Normalidad de la solución del tiosulfato de sodio.

m : Masa de la muestra, en gramos.

$I_{2,69}$: Valor del peso molecular del yodo (126.7 mol/g).

3. 8.5 ÍNDICE DE PERÓXIDOS

El índice de peróxidos corresponde al número de miliequivalentes de oxígeno por kilogramo de muestra, el cual según la norma INEN no puede sobrepasar los 10 mili equivalentes de oxígeno por kilogramo de muestra (INEN,1978).

Reactivos

- Aceite esencial de ajonjolí
- Cloroformo
- Ácido acético glacial
- Disolución saturada de potasio
- Agua desmineralizada
- Almidón al 1%

Materiales

- Agitador magnético
- Erlenmeyer de 250mL

- Bureta
- Pipeta
- Pinza
- Cronómetro

Equipos

- Balanza analítica

Procedimiento

En este proceso, se procede a pesar 1,25 g de aceite esencial de ajonjolí en un Erlenmeyer de 250 mL, se agrega 2,5 mL de cloroformo y 3,75 mL de ácido acético glacial. A continuación, se añade 0,25 mL de disolución saturada de yoduro de potasio, se cubre el Erlenmeyer y se agita durante 1 minuto hasta obtener una mezcla homogénea, se deja reposar por 5 minutos en la oscuridad. Luego, se añade 18,75 mL de agua desmineralizada y 0,125 mL de almidón al 1%. Finalmente, se evalúa el yodo liberado con una disolución de tiosulfato de sodio en la muestra y, posteriormente, en el blanco. El índice de peróxidos está establecido por la siguiente fórmula (NTE-INEN-277,1978).

Ecuación 5. Índice de peróxidos

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

En donde:

Índice de peróxidos = Expresado en meq. de O₂/kg aceite.

V= Volumen de solución de tiosulfato de sodio empleado en la titulación.

N= Normalidad de solución de tiosulfato de sodio.

m= Masa de la muestra analizada, en g.

3.9 CUANTIFICACIÓN POR MEDIO DE CROMATOGRAFÍA DE GASES

ACOPLADO A MASAS [GC- MS]

El proceso de cuantificación de ácidos grasos [AGs] se realizó en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. El equipo en el cual se ejecutó dicho análisis corresponde a un cromatógrafo de gases acoplado a masas marca Thermo Scientific, modelo TRACE GC ULTRA - ISQ 7000, con una columna TG-5MS, voltaje de ionización 70 eV, corriente de emisión 10 μ Amp, rango de masas 40-600 Da, temperatura de línea de transferencia 260 °C y temperatura de trampa de 220 °C.

En la etapa de preparación de las muestras se realizó una dilución en un tubo Eppendorf de 10 μ L de aceite en 990 μ L de acetonitrilo y después se procede a inyectar las muestras por duplicado en el equipo de cromatografía.

Figura 5. *Equipo de cromatografía*



Fuente: Autoras

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE AJONJOLÍ

El proceso de extracción de aceite de sésamo se desarrolló por triplicado por cada pretratamiento planteado, se obtuvo los siguientes valores de rendimiento que están especificados en la siguiente tabla 6.

Tabla 6.

Cantidad de aceite obtenido en cada corrida

Pre tratamientos	Corridas		
	1	2	3
Temperatura 30 °C	6,01 mL	6,15 mL	5,51 mL
Temperatura 80 °C	12 mL	12,41 mL	11,8 mL

Fuente: Autoras

4.2 RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE AJONJOLÍ

Tabla 7.

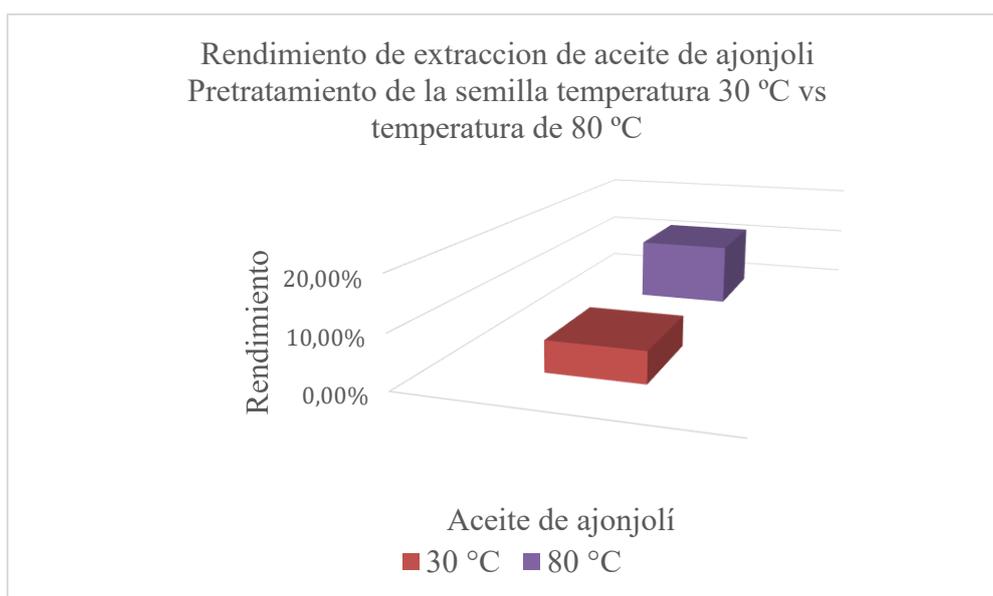
Rendimiento en porcentaje de extracción del aceite esencial de ajonjolí

Pretratamientos	Rendimiento(%)	Desviación estándar	Varianza
T30 °C	5,89	0,297	0,088
T80 °C	12,07	0,311	0,097

Nota. El rendimiento de extracción del aceite de ajonjolí se detalla en la tabla 7, la cual nos indica que a una temperatura de 30 °C se obtuvo un rendimiento del 5,89%, mientras que a una temperatura de 80 °C, el rendimiento fue de 12,07%, respectivamente utilizando la técnica de destilación por arrastre de vapor. Fuente: Autoras

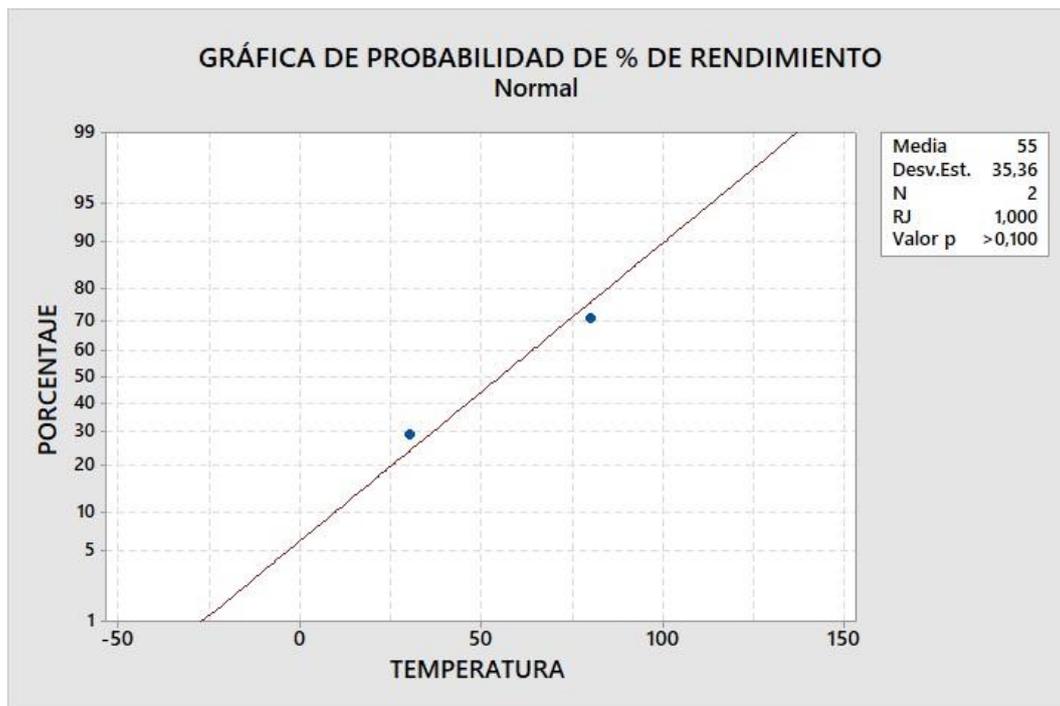
Gráfico 1.

Rendimiento de extracción del aceite esencial de ajonjolí comparando los dos pretratamientos realizados.



Fuente: Autoras

Gráfica 2. Prueba de normalidad



Fuente: Autoras

En la gráfica 2 se encuentra el valor de $p > 0,100$, el mismo que es mayor 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, con el resultado obtenido se puede determinar que la población es normal, por consiguiente, se procede a realizar un análisis ANOVA.

Para realizar el análisis ANOVA 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 son los pretratamientos térmicos y un factor de salida que es el porcentaje de rendimiento obtenido en el proceso de extracción. En la tabla 9 se encuentran detallados los valores respectivos.

Tabla 8.

ANOVA para la extracción de aceite esencial de ajonjolí comparando los dos pretratamientos de 30 °C y 80 °C

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	1	57,2886	57,2886	0,01	0,99
Error	4	0,4198	0,1050		
Total	5	57,7084			

Fuente: Autoras

Al realizar el análisis de varianza que se encuentra descrito en la tabla 8, se observa que el valor p es de 0,99 siendo mayor al valor de significancia $\alpha=0,05$. De modo que se puede establecer que se acepta la hipótesis nula, la misma que indica que la temperatura de secado de la materia prima influye en el rendimiento del aceite esencial de ajonjolí.

Al comparar con resultados obtenidos en la investigación de Ruíz-Mora (2022), existen diferencias significativas en los rendimientos de extracción, indicando un promedio de 32,97% de aceite de sésamo, considerando que el proceso de extracción se realiza a través de prensado en frío. Por ende, la diferencia de rendimiento se encuentra influenciada por varios factores como la técnica de extracción, ya que ésta determina la calidad y cantidad de aceite obtenido, temperatura, tamaño de la semilla, tiempo de extracción, entre otros.

Por otro lado, estudios científicos han demostrado que tanto la cantidad como la calidad del aceite presente en las semillas, se encuentran relacionados con los factores ambientales, tales como el clima, condiciones edafológicas, genéticas, y fisiológicas, como es el caso de la madurez de la planta (Gharby *et al.*,2017). Sin embargo, para mantener las propiedades de

los componentes bioactivos y su valor nutricional es necesaria la optimización de métodos y condiciones de extracción (Melo *et al.*, 2021c)

4.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS EXTRACTOS DE LA SEMILLA DE AJONJOLÍ

4.3.1. Índice de refracción

En la tabla 9 se detalla los valores obtenidos del índice de refracción del aceite esencial de ajonjolí correspondientes a la temperatura de 30 °C y 80 °C, respectivamente.

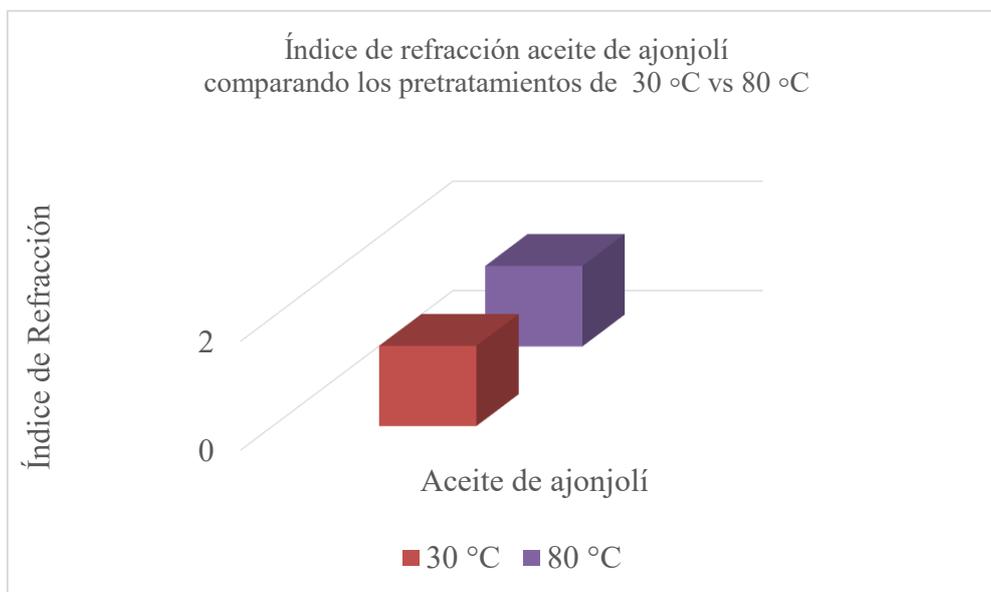
Tabla 9.

Índice de refracción del aceite esencial de ajonjolí comparando los dos pretratamientos realizados

Pretratamientos	Media
T30 °C	1,473
T80 °C	1,473

Fuente: Autoras

Gráfico 3. Índice de refracción del aceite esencial de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperaturas de 30 °C y 80 °C



Fuente: Autoras

Dentro de las propiedades físicas, está el índice de refracción que, de acuerdo con los resultados obtenidos, presentó un valor de 1,473 que se encuentra detallado en la tabla 9, el mismo que se ajusta a los datos que se muestran en la ficha técnica del aceite de sésamo presentados por INEN.

4.3.2 Índice de acidez

En la tabla 10 se describen los valores correspondientes al índice de acidez del aceite esencial de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de las semillas de 30 °C y 80 °C.

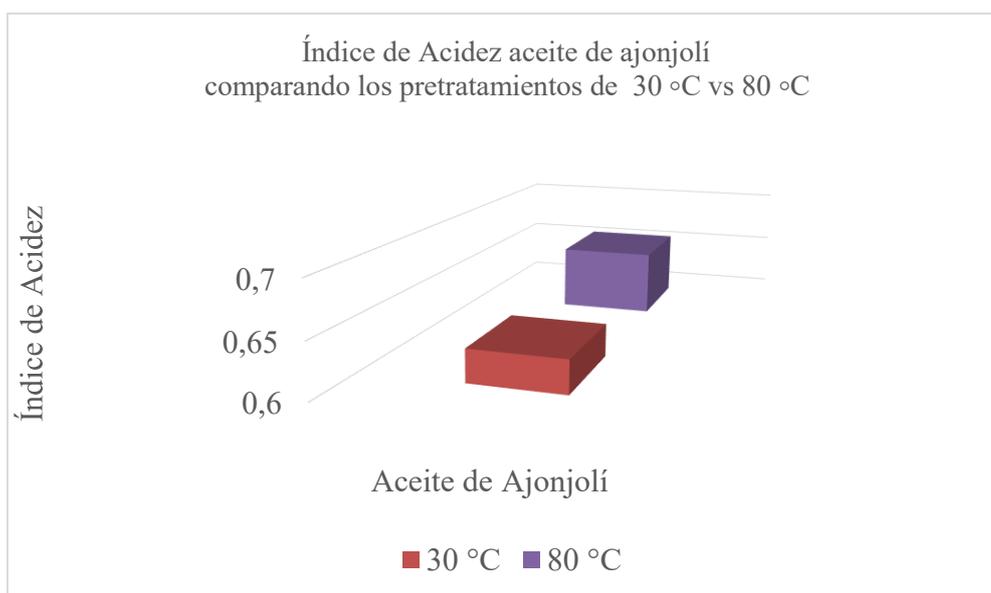
Tabla 10.

Índice de acidez del aceite esencial de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperaturas de 30 °C y 80 °C

Semilla	Media
T30 °C	0,626
T80 °C	0,66

Fuente: Autoras

Gráfico 4. *Índice de acidez del aceite esencial de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperaturas de 30 °C y 80 °C*



Fuente: Autoras

En cuanto a las características químicas, el índice de acidez presente en el aceite de sésamo corresponde a 0,6269 mg KOH/g con una temperatura de 30 °C, mientras que con una temperatura de 80 °C presentó un valor de 0,669 mg KOH/g, respectivamente, los mismos que se encuentran

descritos en la tabla 10. En estudios realizados por González (2018a), los valores generados son de 0.5459 mg KOH/g y 0.5467 mg KOH/g. Al comparar los resultados obtenidos, se puede observar que se obtuvo un resultado similar a pesar de que el proceso de extracción utilizó otra metodología para la obtención del aceite esencial.

De acuerdo a la norma establecida por el Codex, el índice de acidez para aceites vegetales está comprendido entre 0,6 y 10 mg KOH/g de aceite, por ende, los índices obtenidos cumplen con los parámetros establecidos por el Codex Alimentarius.

4.3.3 Índice de Yodo

En la tabla 11 se detallan los valores obtenidos del índice de yodo del aceite esencial de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperaturas de 30 °C y 80 °C.

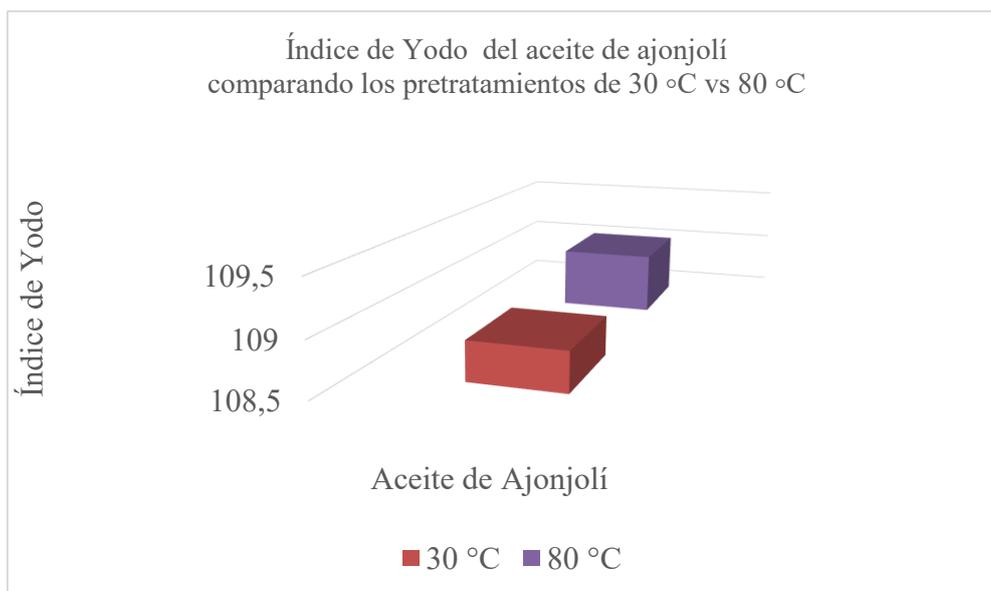
Tabla 11.

Índice de yodo del aceite esencial de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperaturas de 30 °C y 80 °C

Semilla	Media
T30 °C	108,86
T80 °C	109,06

Fuente: Autoras

Gráfico 5. Índice de yodo del aceite esencial de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperaturas de 30 °C y 80 °C



Fuente: Autoras

Los valores obtenidos del índice de yodo para el aceite de ajonjolí con las dos temperaturas establecidas, se detallan en la tabla 11, y corresponden a 108,86 cg/g y 109,06 cg/g, respectivamente. En investigaciones realizadas por González (2018b) indica que, mientras más bajo es el índice de yodo, mayor es el grado de insaturaciones de ácidos grasos, debido a que el aceite de sésamo contiene un gran contenido de AGs insaturados.

4.3.4 Índice de Peróxidos

En la tabla 12 se detalla los valores obtenidos del índice de peróxidos del aceite esencial de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperaturas de 30 °C y 80 °C.

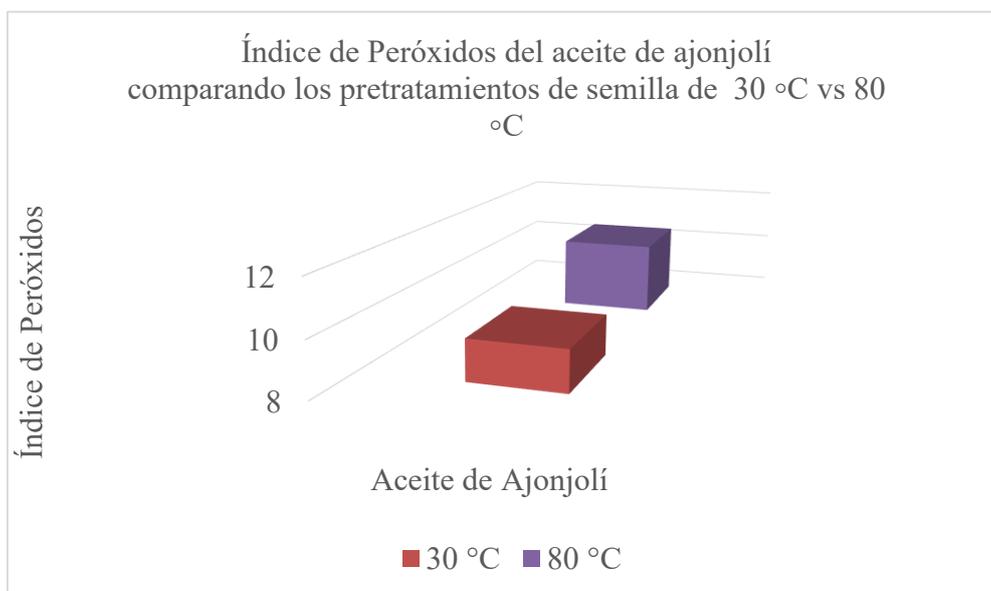
Tabla 12.

Índice de peróxidos del aceite esencial de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperaturas de 30 °C y 80 °C

Semilla	Media
T30 °C	9,5
T80 °C	10,66

Fuente: Autoras

Gráfico 6. *Índice de peróxidos del aceite esencial de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperaturas de 30 °C y 80 °C*



Fuente: Autoras

En la tabla 12 se describe el índice de peróxidos del aceite de sésamo, en donde, con una temperatura de 30 °C presenta un valor de 9,5 meq. de O₂/kg y con una temperatura de 80

°C, corresponde a 10,66 meq. de O₂ /kg. La norma de NTE-INEN-277-ISO-3960 (2012), indica que el nivel máximo del índice de peróxidos es de 10 meq. de O₂kg de aceite. Por ende, los resultados están dentro del rango de límites permisibles. Sin embargo, se presenta un ligero aumento del índice del aceite, esto se debe al aumento de temperatura al que fueron sometidas las semillas durante el proceso de extracción, generando la formación de peróxidos en las muestras (Esquivel *et al.*, 2014).

La determinación del índice de peróxidos debe realizarse durante las primeras etapas de la rancidez oxidativa, asimismo, el aceite de sésamo presenta una gran resistencia a la rancidez oxidativa al contener 2,3 mg de vitamina E, cada 100 g de semilla y otro tipo de antioxidantes, tales como el sesamol y sesaminol que se caracterizan por ser buscadores de radicales libres (Shahidi, 1997).

4.3.5 Índice de Saponificación

En la tabla 13 se describen los valores obtenidos del índice de saponificación del aceite esencial de ajonjolí a partir de dos pretratamientos térmicos que corresponde a 30 °C y 80°C.

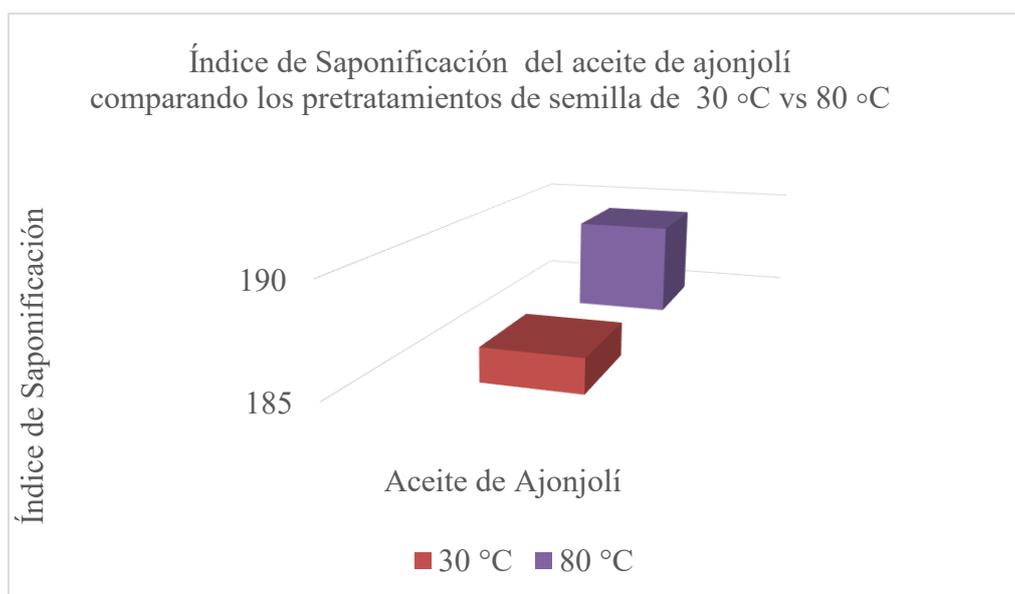
Tabla 13.

Índice de saponificación del aceite esencial de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperaturas de 30 °C y 80°C

Semilla	Media
T30 °C	186,543
T80 °C	189,376

Fuente: Autoras

Gráfico 7. *Índice de saponificación del aceite esencial de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperaturas de 30 °C y 80 °C*



Fuente: Autoras

En la tabla 13 se detalla el índice de saponificación del aceite de sésamo, presentando un valor de 186,543 mg/g con una temperatura de 30 °C y un valor de 189,376 mg/g con una temperatura de 80 °C, respectivamente. El índice de saponificación es considerado como una

medida de pureza, por ende, un alto índice demuestra que existe un alto nivel de oxidación del aceite. La norma del NTE-INEN- 169 (2012), señala que el índice de saponificación para el aceite de sésamo corresponde a un rango comprendido entre 186-195 mg/g. Por ende, el aceite extraído de las semillas con los distintos pretratamientos térmicos establecidos, cumplen con este parámetro de calidad, presentando un mayor grado de pureza en el aceite de sésamo obtenido a partir de la semilla tratada con una temperatura de 80 °C.

4.4 CROMATOGRAFIA GC-MS

En la tabla 14 se describen los principales componentes que se observaron en el análisis cromatográfico del aceite esencial de ajonjolí.

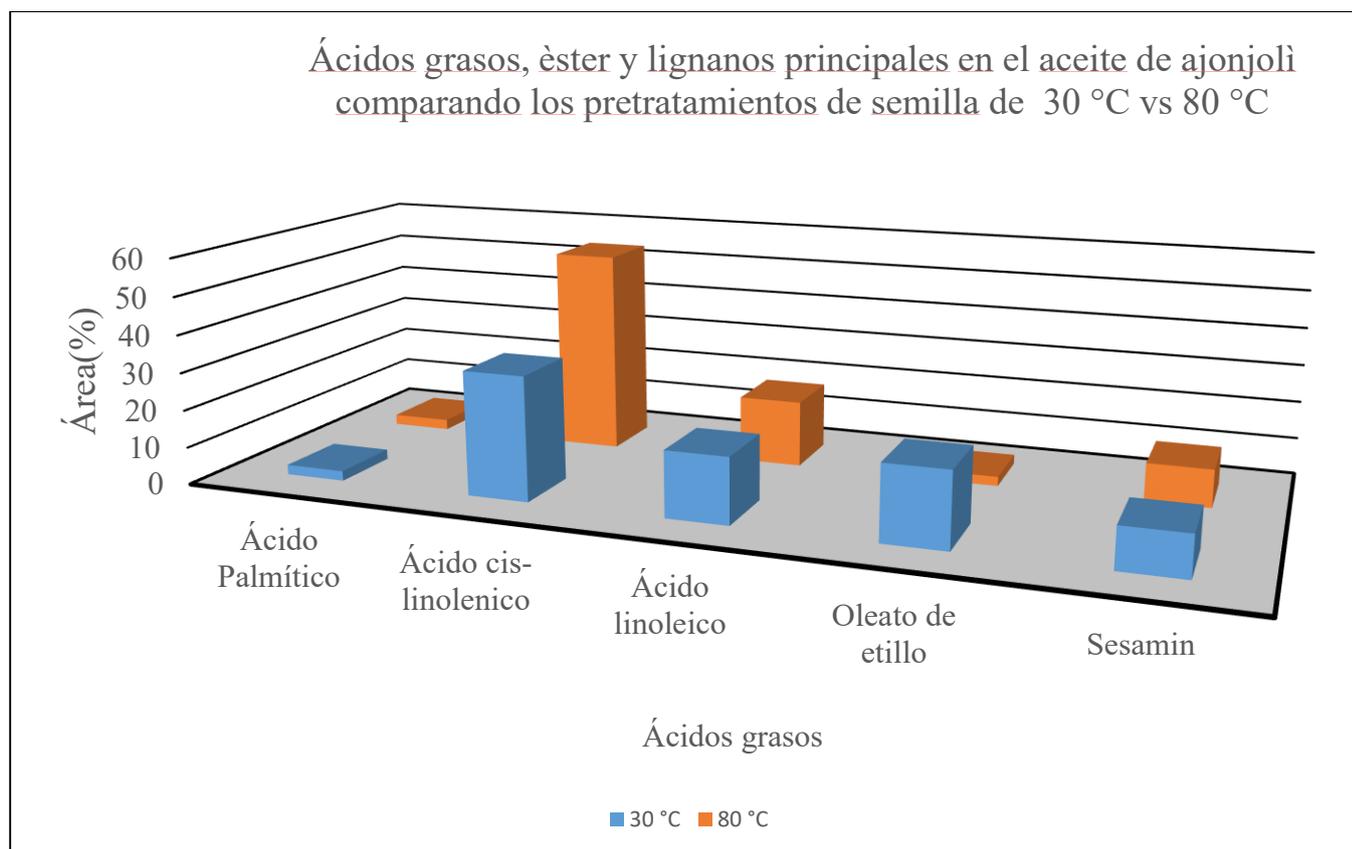
Tabla 14 .

Perfil detallado de ácidos grasos promedio del aceite de sésamo extraído a partir de dos pretratamientos a la semilla

Semilla	Ácido graso saturado	(%)
T30 ° C	Ácido palmítico	2,61
Ácido grasos		
T30 ° C	Ácido cis-linolenico	32,95
	Ácido linoleico	17,58
Éster		
T30 ° C	Oleato de etilo	20,02
Lignano		
T30 ° C	Sesamin	10,96
Semilla	Ácido graso saturado	(%)
T80 ° C	Ácido palmítico	2,75
Ácido grasos		
T80 ° C	Ácido cis-linolenico	54,13
	Ácido linoleico	17,69
Éster		
T80 ° C	Oleato de etilo	2,48
Lignano		
T80 ° C	Sesamin	10,11

Fuente: elaboración propia, en base a tablas 27-30

Gráfico 8. Principales ácidos grasos presente en el aceite esencial de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperaturas de 30 °C y 80 °C



Fuente: elaboración propia, en base a tabla 27-30

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

En la presente investigación, la materia prima fue pre tratada con calor seco a dos diferentes temperaturas [30 °C-80 °C], previo al proceso de extracción por arrastre de vapor; método en el cual se utilizó etanol al 96% conjuntamente con agua como solventes en el proceso. Después de haber culminado la etapa de experimentación, considerando el rendimiento del aceite por medio de análisis estadísticos y pruebas de Tukey, se concluye que, las muestras presentaron valores que demuestran que los pretratamientos realizados a la semilla de ajonjolí influyen en el porcentaje de rendimiento final del producto, porque al someter a una temperatura de secado de 80 °C se obtuvo 12,07% (p/p) mientras que el aceite que fue extraído con un pretratamiento de 30 °C se obtuvo 5,89% (p/p); resultados que demuestran la influencia de la temperatura en la etapa de extracción de aceite esencial de sésamo.

Para determinar las características fisicoquímicas del producto final, se sometieron a pruebas de: índice de refracción, índice de acidez índice de yodo, índice de peróxidos e índice de saponificación justificando que cumplieron con los estándares establecidos en las normas INEN y comparando con otras investigaciones se mantienen en valores aceptables.

También al analizar el perfil promedio de ácidos grasos presentes en el aceite obtenido, se logró identificar la presencia de, ácido palmítico, palmitato de etilo, ácido cislinolenico, trans-9,12-Octadecadienoato de etilo, oleato de etilo, (+)-Sesamin, siendo el más

predominante el ácido cis-linolenico. Por lo tanto, es imprescindible considerar las variables que van intervenir en un proceso directa e indirectamente en el producto final.

La presencia de antioxidantes liposolubles contenidos en el aceite de ajonjolí, tales como la sesamina y sesamolina, contribuye a generar una estabilidad oxidativa del aceite; estimulando la actividad de la vitamina E, inhibiendo la oxidación, considerada como la principal causa de la degradación de aceites, afectando a sus propiedades organolépticas y su valor nutricional. Por ende, la presencia de estos lignanos, otorga al aceite de sésamo la propiedad de antioxidante natural.

5.2 RECOMENDACIONES

Al llevar a cabo el tratamiento de materia prima, es recomendable triturar la semilla de ajonjolí previo al proceso de extracción, lo cual permitirá obtener mayores rendimientos en el producto final.

Los aceites obtenidos deben ser almacenados en frascos color ámbar, los cuales deben estar previamente desinfectados y guardarlas en la oscuridad.

Realizar extracciones de aceite de sésamo con diversos tipos de métodos, en especial, con aquellos que se basan en la aplicación de tratamientos enzimáticos que poseen enzimas como, pectinasas, hemicelulasas y celulasas para obtener un mayor rendimiento, y por ende, un producto de mejor calidad.

Estudiar las propiedades antioxidantes presentes en el aceite de sésamo, en particular, los tocoferoles, ya que proporcionan una mayor estabilidad oxidativa, por lo que es recomendable indagar sobre su posible aplicación como antioxidante para otros aceites e incrementar su periodo de vida útil.

Indagar sobre las aplicaciones que tiene el aceite de sésamo en la cosmética en productos como mascarillas faciales, bloqueador solar, cremas hidratantes, aceites capilares y bálsamos labiales.

REFERENCIAS

- Andargie, M., Vinas, M., Rathgeb, A., Möller, E. y Karlovsky, P. (2021). Lignans of Sesame (*Sesamum indicum* L.): A Comprehensive Review. *Molecules* (Basel, Switzerland), 26(4), 883. <https://doi.org/10.3390/molecules2604088>
- Abbas, S., Sharif, M., Kamran, Sibt-E-Abbas, M., Fikre Teferra, T., Sultan, M. y Anwar, M. (2022). Nutritional and Therapeutic Potential of Sesame Seeds. *Journal of Food Quality* . 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/6163753>
- Abou-Gharbia, H ., Shehata, A. y Shahidi, F. (2000). Effect of processing on oxidative stability and lipid classes of sesame oil. *Food Research International*, 33(5), 331–340. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00052-1](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00052-1)
- Al-Bukhaiti, W., Noman, A., Qasim, A. y Al-Farga, A. (2017). Gas chromatography: Principles, advantages and applications in food analysis. *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 6(1), 2319-1473. Recuperado de: <https://n9.cl/f9uh3>.
- Anilakumar, K ., Pal, A ., Khanum, F. y Bawa, A. S. (2010). Nutritional, medicinal and industrial uses of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds-an overview. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 75(4), 159-168. Recuperado de: <https://hrcak.srce.hr/66001>
- Balan, V., Rogers, C., Chundawat, S., Da Costa Sousa, L., Slininger, P., Gupta, R. y Dale, B. (2009). Conversion of extracted oil cake fibers into bioethanol including DDGS, canola, sunflower, sesame, soy, and peanut for integrated biodiesel processing. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 86(2), 157–

165.<https://doi.org/10.1007/s11746-008-1329-4>

Barrera, G. (2020). Obtención y caracterización del aceite esencial de la fruta milagrosa por el método de extracción con solvente [Tesis de pregrado].

Recuperado de: <https://n9.cl/te1hv>.

Bhatnagar, A. S., Hemavathy, J. y Gopalakrishna, A. G. (2013). Development of a rapid method for estimation of lignans content in sesame oil. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 521–527. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1012-0>

Biswas, S., Natta, S., Ray, D., Mondal, P. y Saha, U. (2018). Til (*Sesamum indicum* L.) - An Underexploited but Promising Oilseed with Multifarious Applications: A Review. *International Journal of Bioresource Science*, 5(2), 127–139. DOI: 10.30954/2347-9655.02.2018.8.

Brands, M., Gutbrod, P. y Dörmann, P. (2021). Lipid Analysis by Gas Chromatography and Gas Chromatography–Mass Spectrometry. In: Bartels, D., Dörmann, P. (eds) *Plant Lipids. Methods in Molecular Biology*, vol 2295. Humana, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1362-7_4.

Bukya, T. y Vijayakumar, T. (2013). Properties of industrial fractions of sesame seed (*Sesamum indicum* L.). *International Journal of Agricultural and Food Science*, 3(3), 86-89. Recuperado de: <https://n9.cl/ygt4c>.

Chancasanampa, Y. y Mucha, J. (2019). Evaluación de la emulsión, ácidos grasos y características sensoriales en la elaboración de salchichas sustituyendo grasa por aceite vegetal. [Tesis de pregrado]. Recuperado de: <https://n9.cl/a95d4>.

- Cheng, F.-C., Jinn, T.-R., Hou, R . y Tzen, J. (2006). Neuroprotective effects of sesamin and sesamolin on gerbil brain in cerebral ischemia. *International Journal of Biomedical Science*, 2(3), 284–288. Recuperado de: <https://n9.cl/ntma7>.
- Codex Stan 210-1999 (2015). NORMA PARA ACEITES VEGETALES ESPECIFICADOS. Normas Internacionales de los Alimentos. <https://n9.cl/1olrz>
- Cortez, D. y Sánchez, E. (2017). Evaluación de la estabilidad oxidativa de la mezcla de aceites de Chía (*Salvia hispánica* l.) y Ajonjolí (*Sesamum indicum* l.).[Tesis de pregrado]. Recuperado de: <https://n9.cl/im382>.
- Dagnino, J. (2014). Análisis de varianza. *Revista chilena de anestesia*, 43(4), 306-310. <https://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n04.07.pdf>
- De Mera, E. (2017). Análisis Gastronómico de la Semilla Ajonjolí *Sesamum Indicum* en la ciudad de Guayaquil [Tesis de pregrado]. Recuperado de:<https://n9.cl/ya0mq>.
- Díaz, E. y Córdova, C. (2018). Desarrollo de un producto tipo queso vegetal elaborado a base de semillas de ajonjolí. [Tesis de pregrado].Recuperado de: <https://n9.cl/ov8zg>.
- Esquivel Ramírez, A., Castañeda Ovando, A., y Ramírez Godínez, 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). <https://doi.org/10.29057/icbi.v2i3.526>

FAOSTAT (2020). FAO Statistics, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Recuperado de: <http://faostat.fao.org/>

Fatnassi, S., Chatti, S., Nehdi, I. E. y Zarrouk, H. (2009). Chemical composition, phenolic profile and antioxidant activity of *Maclura pomifera* (Rafin.) Schneider seeds oil. In *International Symposium on Medicinal and Aromatic Plants-SIPAM2009* 853 (pp. 383-

390). DOI: [10.17660/ActaHortic.2010.853.47](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.853.47)

Feng, S., Belwal, T., Li, L., Limwachiranon, J., Liu, X. Luo, Z. (2020). Phytosterols and their derivatives: Potential health-promoting uses against lipid metabolism and associated diseases, mechanism, and safety issues. *Comprehensive Reviews*

in Food Science and Food Safety, 19(4), 1243–1267.

<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12560>

Fuad, F. y Don, M. (2016). Ultrasonic-assisted extraction of oil from *Calophyllum inophyllum* seeds: Optimization of process parameters. *Jurnal Teknologi*, 78(10). <https://doi.org/10.11113/jt.v78.4946>

García, D ., Domínguez, Y ., Macias, M ., Santana, E. y Rodríguez, R. (2017).

Extracción de aceites de origen vegetal. *Unpublished*.

<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11047.55201>

Gharby, S., Harhar, H., Bouzoubaa, Z., Asdadi, A., El Yadini, A. y Charrouf, Z. (2017). Chemical characterization and oxidative stability of seeds and oil of sesame grown in Morocco. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(2), 105–111. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.03.004>

- González, E.(2018). Extraccion y caracterizacion fisicoquimica del aceite de sesamo (sesamum indicum) Guatemalteco, de la region de retalhuleu, de las semillas comerciales natural y descortezada a nivel laboratorio.[Tesis de pregrado]. Recuperado de: <https://n9.cl/o61qw>.
- Gylling, H., Plat, J., Turley, S., Ginsberg, H. N., Ellegård, L., Jessup, W. y Silbernagel, G. (2014). Plant sterols and plant stanols in the management of dyslipidaemia and prevention of cardiovascular disease. *Atherosclerosis*, 232(2), 346–360.
<https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2013.11.043>
- Hashempour-Baltork, F., Torbati, M., Azadmard-Damirchi, S. y Savage, G. P. (2017). Quality properties of sesame and Olive oils incorporated with flaxseed oil. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, 7(1), 97–101. doi: [10.15171/apb.2017.012](https://doi.org/10.15171/apb.2017.012)
- Hashempour-Baltork, F., Torbati, M., Azadmard-Damirchi, S. y Peter Savage, G. (2018). Chemical, rheological and nutritional characteristics of sesame and Olive oils blended with linseed oil. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, 8(1), 107–113. doi: [10.15171/apb.2018.013](https://doi.org/10.15171/apb.2018.013)
- Haidari, F., Mohammadshahi, M., Zarei, M. y Gorji, Z. (2016). Effects of sesame butter (Ardeh) versus sesame oil on metabolic and oxidative stress markers in streptozotocin-induced diabetic rats. *Iranian Journal of Medical Sciences*, 41(2), 102. Recuperado de: <https://n9.cl/gqyb6>
- Hassan, M. (2012).Studies on Egyptian Sesame Seeds (Sesamum indicum L.) and Its Products 1- Physicochemical Analysis and Phenolic Acids of Roasted

- Egyptian Sesame seeds (*Sesamum indicum* L.). *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 7(2), 195-201. DOI: 10.5829/idosi.wjdfs.2012.7.2.1112
- Hemalatha, G., Pugalendi, K. y Saravanan, R. (2013). Modulatory effect of sesamol on DOCA-salt-induced oxidative stress in uninephrectomized hypertensive rats. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 379(1), 255–265. DOI 10.1007/s11010-013-1647-1
- Hussain, S., Hameed, A., Ajmal, I., Nosheen, S., Suleria, H. y Song, Y. (2018). Effects of sesame seed extract as a natural antioxidant on the oxidative stability of sunflower oil. *Journal of Food Science and Technology*, 55(10), 4099–4110 <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3336-2>.
- INEN 0277. (1978). *Grasas y Aceites. Determinación de peróxidos*. Quito: Republic of Ecuador.
- INEN (2012). *Aceites de origen animal y vegetal. Determinación de la densidad relativa*. Recuperado de: <https://n9.cl/h4elk>
- Langyan, S., Yadava, P., Sharma, S., Gupta, N., Bansal, R., Yadav, R. y Kumar, A. (2022). Food and nutraceutical functions of sesame oil: An underutilized crop for nutritional and health benefits. *Elsevier*, 389(132990). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132990>
- Li, C., Li, Y., Ma, Y., Wang, D., Zheng, Y. y Wang, X. (2020). Effect of black and white sesame on lowering blood lipids of rats with hyperlipidemia induced by high-fat diet. *Elsevier*, 3(2), 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2020.02.004>

- López, E ., Benites, D. y Páucar, G.(2013). Influencia de los parámetros Rancimat sobre la determinación del índice de estabilidad oxidativa del aceite de *Sesamum indicum* L. *Scientia Agropecuaria*, 4(3), 173-180.<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4657867>
- Lopez-Pedrouso, M., Borrajo, P., Pateiro, M., Lorenzo, J. M. y Franco, D. (2020).Antioxidant activity and peptidomic analysis of porcine liver hydrolysates using alcalase, bromelain, flavourzyme and papain enzymes. *Elsevier*,137(109389). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109389>
- Macias, M ., Domínguez, Y., Santana, E., García, D., Piloto-Rodríguez, R. y Muñoz, S.(2017).Obtención de biodiesel a partir de aceites de origen vegetal, *Moringa oleífera*.Universidad Tecnológica de La Habana José A. Echeverría.Recuperado de: <https://n9.cl/qbzb5>.
- Melo, D., Álvarez-Ortí, M., Nunes, M ., Costa, A ., Machado, S., Alves, R., Pardo, J. y Oliveira, M. (2021). Whole or defatted sesame seeds (*Sesamum indicum* L.)? The effect of cold pressing on oil and cake quality. *Foods* (Basel, Switzerland), 10(9), 2108. <https://doi.org/10.3390/foods10092108>
- Nafiu, M ., Hamid, A., Muritala, H. y Adeyemi, S. (2017). Preparation, standardization, and quality control of medicinal plants in Africa. En V. Kuete (Ed.), *Medicinal Spices and Vegetables from Africa* (pp. 171–204). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809286-6.00007-8>
- Namiki, M. (2007). Nutraceutical functions of sesame: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(7), 651–

673.<https://doi.org/10.1080/10408390600919114>

Nde, D. y Foncha, A. (2020). Optimization methods for the extraction of vegetable oils:

A review. *Processes (Basel, Switzerland)*, 8(2), 209.

<https://doi.org/10.3390/pr8020209>

Orsavova, J., Misurcova, L. ., Ambrozova, J., Vicha, R. y Mlcek, J. (2015). Ácidos

grasos composición de los aceites vegetales y su contribución a la ingesta de energía alimentaria y dependencia de la mortalidad cardiovascular de la ingesta

dietética de ácidos grasos. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(6),

12871–12890. <https://doi.org/10.3390/ijms160612871>.

Pathak, N., Rai, A. K., Kumari, R., y Bhat, K. V. (2014). Value Addition in Sesame: A

Perspective on Bioactive Components for Enhancing Utility and Profitability.

Revisiones de farmacognosia, 8(16), 147–155. doi: [10.4103/0973-7847.134249](https://doi.org/10.4103/0973-7847.134249)

Pathak, K., Rahman, S. W., Bhagawati, S. y Gogoi, B. (2017). Sesame (*Sesamum*

indicum L.), an underexploited oil seed crop: Current status, features and

importance – A review. *Agricultural Reviews*, 38(3). Recuperado de:

<https://n9.cl/mbbdx>.

Pizzo, J., Galuch, M., Santos, P., Santos, O., Visentainer, L., Eberlin, M. y

Visentainer, J. (2018). Assessment of adulteration of cosmetics based on vegetable oils by GC-FID and lipid profile using direct infusion electrospray

ionization mass spectrometry (ESI-MS). *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 29(12), 2457–2465. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20180123>

Periasamy, S., Hsu, D., Chang, P. y Liu, M. (2014). Sesame oil attenuates nutritional fibrosing

steatohepatitis by modulating matrix metalloproteinases-2, 9 and

PPAR- γ . *Elsevier*, 25(3), 337–344. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2013.11.008>
Pravallika, S. (2016). Gas Chromatography a Mini Review. *Research and Reviews*

Journal of Pharmaceutical Analysis: 5(2), pp. 55 –62.

Ribeiro, S ., Nicacio, A ., Zanqui, A ., Biondo, P., Abreu-Filho, B. , Visentainer, J.,
Gomes, S. y Matsushita, M. (2016). Improvements in the quality of sesame oil
obtained by a green extraction method using enzymes. *Elsevier*, 65, 464–470.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.053>

Ruiz, C., Díaz, C. y Rojas, R. (2015). Composición química de aceites esenciales de
10 plantas aromáticas peruanas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*,
81(2), 81-94. Recuperado de: <https://n9.cl/n5wj4>.

Sarapura, J y Martinez A. (2014). Cromatografía de gases-espectrometría de masas de
compuestos fito-bioactivos del aceite esencial de *Satureja incana*. *Apuntes de*
Ciencia & Sociedad, 4(2). DOI: <https://doi.org/10.18259/acs.2014033>

Shahin, S., Jaleel, A. y Alyafei, M. (2021). The Essential Oil-Bearing Plants in the
United Arab Emirates (UAE): An Overview. *Molecules (Basel, Switzerland)*,
26(21), 6486. <https://doi.org/10.3390/molecules26216486>

Shahidi, F. (1997). “Natural Antioxidants: An Overview,” In: Shahidi Ed., *Natural Antioxidants,*
Chemistry, Health Effects and Applications, AOCS Press,
Champaign, pp. 1-
11. <https://scirp.org/reference/referencespapers.aspx?referenceid=609539>

Shi, L. K., Zheng, L., Jin, Q.-Z., & Wang, X.-G. (2017). Effects of adsorption on polycyclic
aromatic hydrocarbon, lipid characteristic, oxidative stability, and
free radical scavenging capacity of sesame oil. *European Journal of Lipid*

Science and Technology: EJLST, 119(12), 1700150.

<https://doi.org/10.1002/ejlt.201700150>

Shi, L. K., Zheng, L., Liu, R. J., Chang, M., Jin, Q. Z., y Wang, X. G. (2018).

Chemical characterization, oxidative stability, and in vitro antioxidant capacity of sesame oils extracted by supercritical and subcritical techniques and conventional methods: a comparative study using chemometrics. *European Journal of Lipid*

Science and Technology, 120(2), 1700326.

<https://doi.org/10.1002/ejlt.201700326>

Sovová, H. (2012). Modeling the supercritical fluid extraction of essential oils from

plant materials. *Journal of Chromatography A*, 1250, 27–33.

<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2012.05.014>

Tapia, C. y Cevallos, K.(s/f). (2021). Pruebas para comprobar la normalidad de datos

en procesos productivos: anderson-darling, ryan-joiner, shapiro-wilk y kolmogórov-smirnov. *Societas. Revista de Ciencias Sociales y Humanísticas*, 23(2), 83–106.

<http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/341/3412237018/index.html>

Tenyang, N., Ponka, R., Tiencheu, B., Djikeng, F., Azmeera, T., Karuna, M. y

Womani, H. (2017). Effects of boiling and roasting on proximate composition, lipid oxidation, fatty acid profile and mineral content of two sesame varieties commercialized and consumed in Far-North Region of Cameroon. *Food*

Chemistry, 221, 1308-1316. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.025> Villaverde I. (2018). Optimización de la extracción de aceites esenciales por destilación

en corriente de vapor. [Tesis pregrado]. Recopilado de:

https://oa.upm.es/49669/1/TFG_IRENE_CASADO_VILLAVERDE.pdf.

Wong-González, E. (s/f) (2010). ¿DESPUÉS DE UNA ANÁLISIS DE VARIANCIA...QUÉ? EJEMPLOS EN CIENCIA DE ALIMENTOS 1.

Mag.go.cr. ISSN: 1021-7444. http://www.mag.go.cr/rev_meso/v21n02_349.pdf

Wong, Y., Ahmad-Mudzaqqir, M. y Wan-Nurdiyana, W. (2014). Extraction of Essential Oil from Cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*). *Oriental journal of chemistry*, 30(1), 37–47. <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/300105>.

Woo, M., Han, S. y Song, Y. (2019). Sesame oil attenuates renal oxidative stress induced by a high fat diet. *Preventive nutrition and food science*, 24(2), 114. doi:

[10.3746/pnf.2019.24.2.114](https://doi.org/10.3746/pnf.2019.24.2.114)

Yoswathana, N. (2013). Optimization of ScCO₂ extraction of rambutan seed oil using response surface methodology. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 4(4), 187. Recuperado de: <https://n9.cl/6zpx>.

Yuan Q., Zhang H., Miao H., Duan Y., Wei Q. y Wang X. Efectos del estrés por acumulación de agua en la calidad de la semilla de sésamo y el producto de aceite. *Acta Agriculturae Boreali Sinica* . 2018; 33 (2):202–208.

Zambelli, A. (2021). Current status of high oleic seed oils in food processing. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 98(2), 129–137.

<https://doi.org/10.1002/aocs.12450>

Zhang H., Miao H. y Ju M. Potential for adaptation to climate change through genomic breeding in sesame. In *Genomic designing of climate-smart oilseed crops* (pp. 371-440). Springer, Cham.

Zine, S., Gharby, S. y El Hadek, M. (2013). Physicochemical characterization of *Opuntia ficus-indica* seed oil from Morocco. *Biosciences, Biotechnology Research Asia*, 10(1). DOI : <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/1099>

ANEXOS

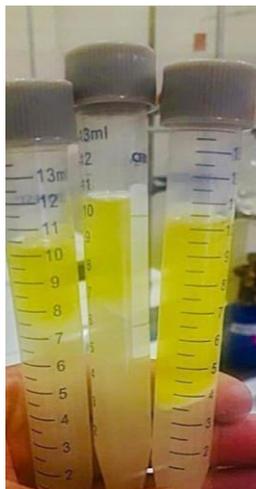
ANEXO A. Imágenes

Figura 6. *Reactivo de Hanus.*



Fuente: Autoras

Figura 7. *Muestras de la extracción de aceite de sésamo centrifugadas*



Fuente: Autoras

Figura 8.

Muestras de la extracción de aceite de sésamo a una temperatura de 30° y 80°



Fuente: Autoras

ANEXO B. Tablas

Tabla 15.

Perfil de ácidos grasos del aceite de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperatura de 30 °C para corrida 1

Semilla	Tiempo(min)	Ácido graso, éster y lignanos	Área (%)
30 °C	18.19	Ácido palmítico	3,98
	18.53	Palmitato de etilo	11,97
	19.89	Ácido cis-linolenico	27,44
	20.11	Trans-9,12-Octadecadienoato de etilo	24,61
	20.16	Oleato de etillo	26,58
	36.75	(+)-Sesamin	2,45
	39.24	5-(((1R, 3aR, 4S, 6aR)-4-(Benzo[1.3]dioxi	0,80

Fuente: Autoras

Tabla 16.

Perfil de ácidos grasos del aceite de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperatura de 30 °C para corrida 2

Semilla	Tiempo(min)	Ácido graso, ester y lignanos	Área (%)
30 °C	18.22	Ácido palmítico	1,24
	18.52	Palmitato de etilo	4,8
	19.94	Ácido cis-linolenico	38,46
	20.12	Trans-9,12-Octadecadienoato de etilo	10,54
	20.16	Oleato de etillo	13,45
	36.73	(+)-Sesamin	19,46
	39.21	5-(((1R, 3aR, 4S, 6aR)-4(Benzo[1.3]dioxo	12,06

Fuente: Autoras

Tabla 17.

Perfil de ácidos grasos del aceite de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperatura de 80 °C para corrida 1

Semilla	Tiempo(min)	Ácido graso, éster y lignanos	Área (%)
80 °C	18.22	Ácido palmítico	5,49
	18.54	Palmitato de etilo	1,64
	19.92	Ácido cis-linolenico	49,29
	20.13	Trans-9,12-Octadecadienoato de etilo	5,05
	20.18	Oleato de etilo	4,96
	36.76	(+)-Sesamin	20,19
	39.23	5-(((1R, 3aR, 4S, 6aR)-4-(Benzo[1.3]dioxi	13,39

Fuente: Autoras

Tabla 18.

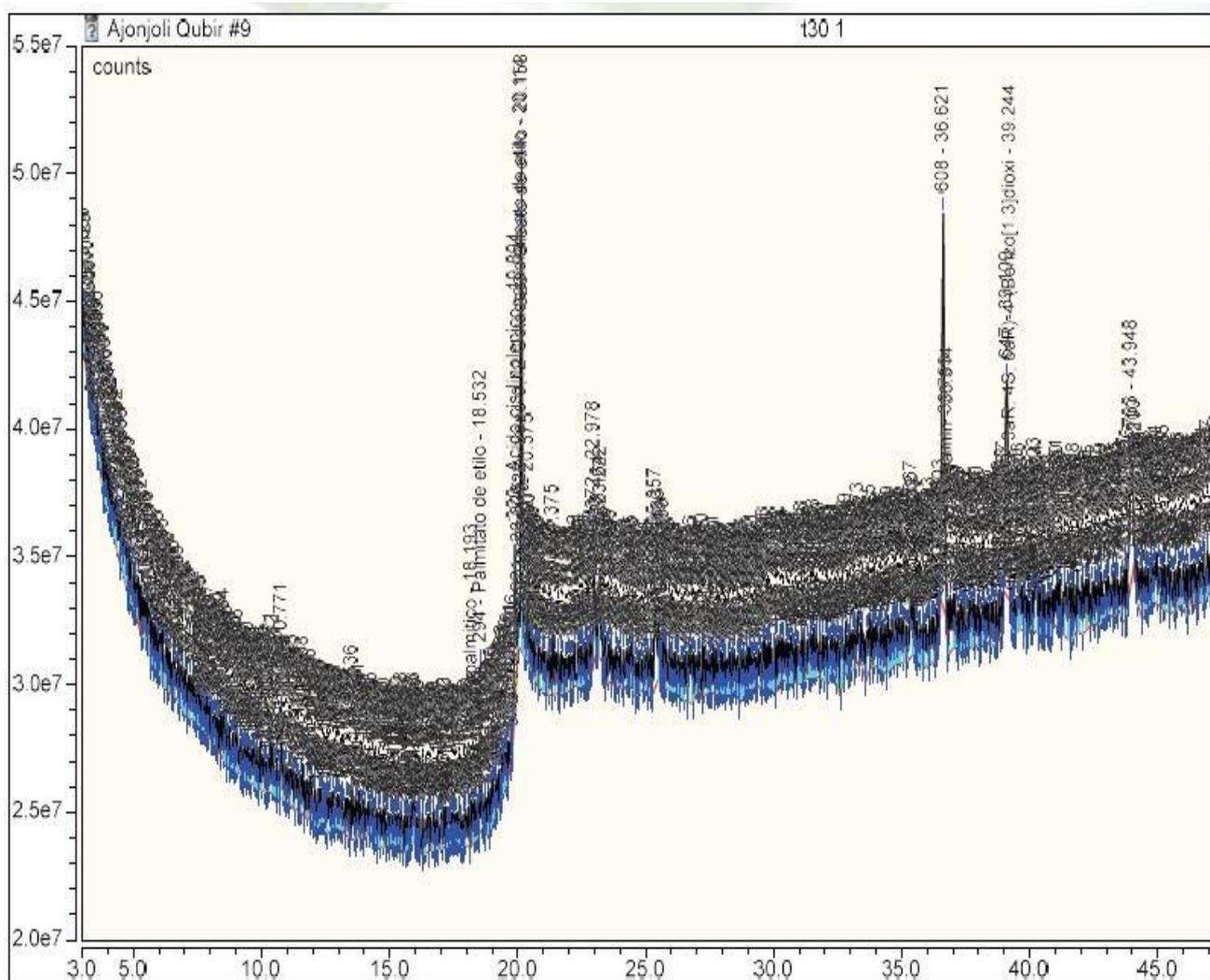
Perfil de ácidos grasos del aceite de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperatura de 80 °C para corrida 2

Semilla	Tiempo(min)	Ácido graso, éster y lignanos	Área (%)
80 °C	18.51	Palmitato de etilo	10,49
	19.90	Ácido cis-linolenico	58,96
	20.14	Trans-9,12-Octadecadienoato de etilo	30,33
	36.77	(+)-Sesamin	0,037
	39.24	5-(((1R, 3aR, 4S, 6aR)-4(Benzo[1.3]dioxo	0,037

Fuente: Autoras

ANEXO C. Figuras**Figura 9.**

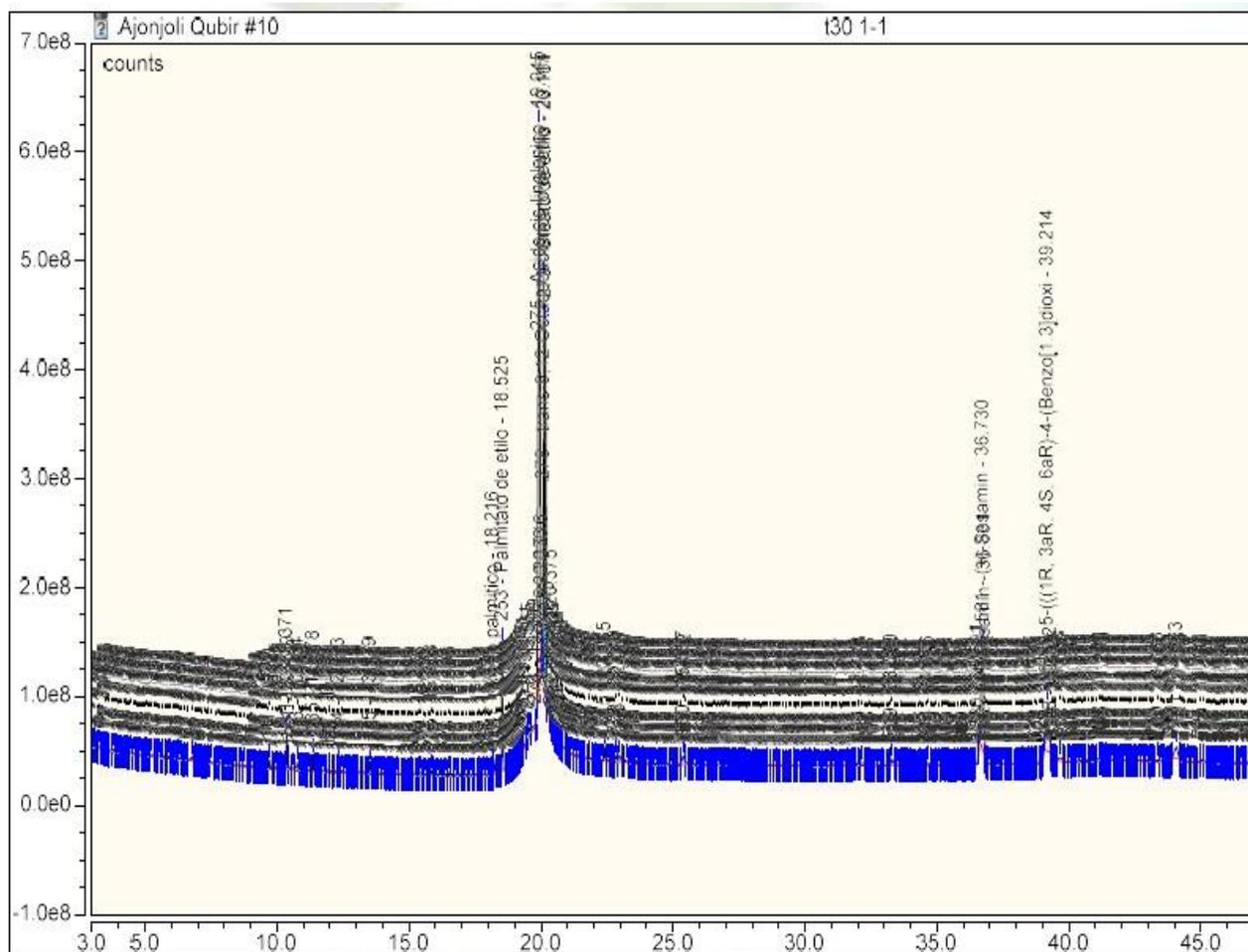
Cromatograma de aceite de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperatura de 30° C para corrida 1



Fuente: Autoras

Figura 10.

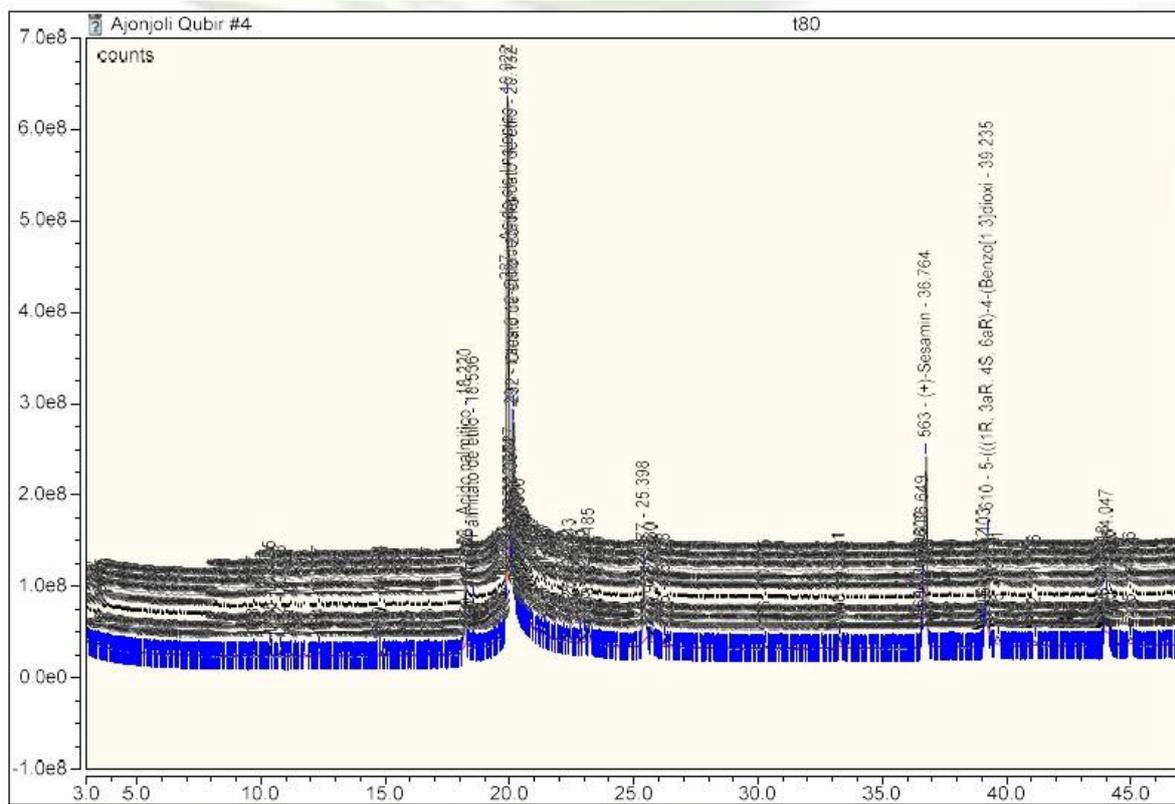
Cromatograma de aceite de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperatura de 30° C para corrida 2



Fuente: Autoras

Figura 11.

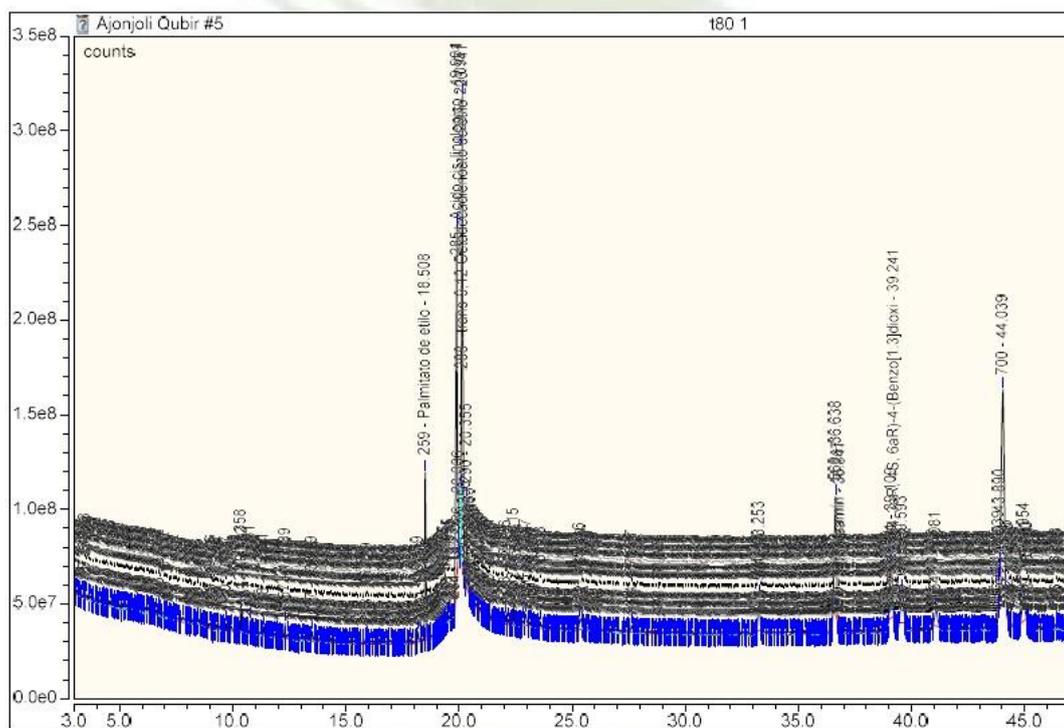
Cromatograma de aceite de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperatura de 80° C para corrida 1



Fuente: Autoras

Figura 12.

Cromatograma de aceite de ajonjolí a partir de dos pretratamientos de la semilla a temperatura de 80 °C para corrida 2



Fuente: Autoras