

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA

"EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE DE SÉSAMO (*SESAMUM INDICUM*) GUATEMALTECO, DE LA REGIÓN DE RETALHULEU, DE LAS SEMILLAS COMERCIALES NATURAL Y DESCORTEZADA A NIVEL LABORATORIO"
TESIS DE GRADO

ESTUARDO JOSUÉ GONZÁLEZ PIEDRASANTA
CARNET 11253-13

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, SEPTIEMBRE DE 2018
CAMPUS CENTRAL

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA

"EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE DE SÉSAMO (*SESAMUM INDICUM*) GUATEMALTECO, DE LA REGIÓN DE RETALHULEU, DE LAS SEMILLAS COMERCIALES NATURAL Y DESCORTEZADA A NIVEL LABORATORIO"
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA

POR
ESTUARDO JOSUÉ GONZÁLEZ PIEDRASANTA

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, SEPTIEMBRE DE 2018
CAMPUS CENTRAL

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

DECANA: MGTR. KAREN GABRIELA MORALES HERRERA DE ZUNIGA
VICEDECANO: MGTR. OSMAN CARRILLO SOTO
SECRETARIA: MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN
DIRECTOR DE CARRERA: DR. MARIO RENE SANTIZO CALDERON

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

ING. JUAN CARLOS GARCÍA CERÓN

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. ANNA MARGARITA RIOS GONZALEZ
ING. JORGE ANTONIO DONIS MOLINA
LIC. LUIS ALBERTO AGUILAR PRADO



Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante ESTUARDO JOSUÉ GONZÁLEZ PIEDRASANTA, Carnet 11253-13 en la carrera LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA, del Campus Central, que consta en el Acta No. 02208-2018 de fecha 4 de septiembre de 2018, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

"EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE DE SÉSAMO (*SESAMUM INDICUM*) GUATEMALTECO, DE LA REGIÓN DE RETALHULEU, DE LAS SEMILLAS COMERCIALES NATURAL Y DESCORTEZADA A NIVEL LABORATORIO"

Previo a conferírsele el título de INGENIERO QUÍMICO en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 28 días del mes de septiembre del año 2018.



**MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN, SECRETARIA
INGENIERÍA
Universidad Rafael Landívar**

Guatemala, 21 de septiembre de 2018

Magister
Mayra Alejandra Ortiz Patzán
Secretaria de Facultad
Facultad de Ingeniería

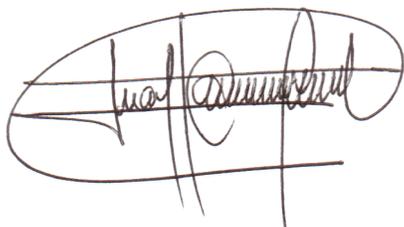
Estimada Magister Ortiz:

Por este medio me es grato saludarle y deseárselo éxitos en sus labores diarias.

El motivo de la presente es para informarle que he revisado el informe final del Trabajo de Graduación titulado: **“EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE DE SÉSAMO (*Sesamum indicum*) GUATEMALTECO, DE LA REGIÓN DE RATALHULEU, DE LAS SEMILLAS COMERCIALES NATURAL Y DESCORTEZADA A NIVEL LABORATORIO”** del estudiante **Estuardo Josué González Piedrasanta** quien se identifica con el número de carné **11253-13**, de la carrera de Ingeniería Química. Después de haber revisado el informe final y de acuerdo con los requerimientos establecidos por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar doy como aprobado dicho trabajo.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente.



Ing. Juan Carlos García Cerón

Asesor

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES

Por todo el esfuerzo que han hecho en mi vida para prepararme en mi educación y formarme como la persona que soy el día de hoy. Por el cariño y apoyo incondicional que nos han demostrado a mi hermana y a mí.

A MI HERMANA

Por creer en mí a lo largo de mi formación como profesional. Quiero decirte que no me pongo ante ti como un ejemplo, sino como una prueba de que en esta vida nada es imposible. Persigue tus sueños con tenacidad, supera los obstáculos y aprende de ellos. Estoy muy orgulloso de ti.

A MI ABUELITA

Amparo García, especial agradecimiento por tu apoyo incondicional a lo largo de mi carrera, por tus consejos y cariño. Este logro es tanto mío como tuyo. Te quiero mucho, que Dios te bendiga siempre.

A MI ABUELITA

Alicia Molina, por escucharme siempre y saber entender mis pensamientos y esfuerzos. Por todas esas noches en las que estuve presente en tus oraciones para avanzar en mis estudios. Te quiero mucho, que Dios te bendiga siempre.

A MI NOVIA

Por motivarme a ser cada vez mejor persona y profesional. Gracias por ser parte de mi vida, compartir conmigo momentos de felicidad, por tu cariño y apoyo en mis estudios.

A MIS AMIGOS

Por luchar a mi lado, compartir alegrías y tristezas y brindarme su apoyo en todo momento. Atesoro la amistad de cada uno de ustedes.

A MI ASESOR

Por compartir conmigo sus conocimientos y el apoyo que me brindó en todo momento para la realización de esta investigación.

A MIS CATEDRÁTICOS

Por todos y cada uno de los conocimientos que me compartieron durante mi paso por la universidad, los cuales han contribuido a mi formación profesional.

AL DEPARTAMENTO DE BECAS URL

Por brindarme la oportunidad de estudiar en la Universidad Rafael Landívar y permitirme demostrar que todo es posible con dedicación y esfuerzo.

A LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

Por ser mi casa de estudios y brindarme una educación integral. Por ser forjadora de profesionales con principios y valores al servicio de nuestro país.

A LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Por abrirme sus puertas y brindarme su apoyo en la fase experimental de esta investigación.

DEDICADO A
DIANA, VERÓNICA Y JULIO

Porque ustedes tres conforman el pilar fundamental de mi vida. Por ser ejemplo de esfuerzo, perseverancia, paciencia y amor incondicional. Gracias por enseñarme que nada en este mundo es fácil y que debemos luchar por nuestros sueños. Porque sus vidas tienen un significado muy grande en la mía. Estoy realmente agradecido por tener el privilegio de llamarles familia y tenerlos a mi lado.

GRACIAS POR CREER EN MÍ Y POR SER MI EJEMPLO A SEGUIR, LOS AMO.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio se realizó con la finalidad de evaluar el rendimiento de extracción, la caracterización fisicoquímica y el perfil de ácidos grasos del aceite de sésamo a partir de semillas de ajonjolí natural y descortezado procedentes del departamento de Retalhuleu, dada la necesidad de establecer si existe diferencia estadística significativa entre dichas propiedades y si cumple con requerimientos internacionales de calidad.

Para determinar el rendimiento de extracción del aceite de sésamo se realizaron 6 lixiviaciones; 3 de semilla natural y 3 de semilla descortezada utilizando el método Soxhlet con hexano. Previo a la extracción de aceite, se acondicionó la semilla de ajonjolí durante 30 minutos en horno y se introdujo en un procesador de alimentos de alta potencia hasta obtener una pasta fina. Se utilizaron tres diferentes equipos Soxhlet durante 6 horas cuyas capacidades eran de 15, 25 y 40 g, seguido de una destilación simple para obtener el aceite, con un rendimiento medio de $50.2170 \pm 1.1720\%$ y $60.0654 \pm 1.3200\%$ para semilla natural y descortezada, respectivamente. Por medio del análisis ANOVA se determinó que sí existe diferencia significativa entre ambos tipos de semilla en cuanto a contenido de aceite.

En la caracterización fisicoquímica se obtuvieron los siguientes resultados para semilla natural y descortezada, respectivamente: densidad de 0.9159 ± 0.0012 g/mL y 0.9178 ± 0.0054 g/mL, humedad de $0.64 \pm 0.0781\%$ y $0.66 \pm 0.0520\%$, índice de refracción de $1.4737 \pm 2.8867 \times 10^{-4}$ y $1.4733 \pm 2.8867 \times 10^{-4}$, índice de acidez de 0.5459 ± 0.02815 mg KOH/g y 0.5467 ± 0.0056 mg KOH/g, índice de saponificación de 188.4469 ± 1.8253 mg KOH/g y 189.2315 ± 3.4341 mg KOH/g, índice peróxidos de 10.6233 ± 1.5410 mEq O₂/kg y 9.6921 ± 1.2311 mEq O₂/kg e índice de yodo de 109.5866 ± 1.6918 g I₂/10 g y 109.3353 ± 0.9329 g I₂/10 g. Por medio del análisis ANOVA se determinó que no existe diferencia significativa de las propiedades fisicoquímicas del aceite de sésamo en función del tipo de semilla.

El perfil de ácidos grasos obtenido revela que el aceite de sésamo de semilla natural contiene en promedio $12.60 \pm 0.1701\%$ de ácido palmítico, $7.36 \pm 0.0802\%$ de ácido esteárico, $38.18 \pm 0.1710\%$ de ácido oleico y $41.86 \pm 0.0764\%$ de ácido linoleico mientras que la semilla descortezada presenta un promedio de $12.79 \pm 0.1127\%$ ácido palmítico, $6.92 \pm 0.0200\%$ ácido esteárico, $37.99 \pm 0.0651\%$ ácido oleico y $42.31 \pm 0.0608\%$ ácido linoleico, demostrando a través de un análisis ANOVA que únicamente existe diferencia significativa en el contenido de ácido esteárico y ácido linoleico en función del tipo de semilla.

De acuerdo a las propiedades fisicoquímicas evaluadas, el aceite de sésamo de semilla descortezada cumple con el Codex Stan 210-1999 únicamente con los requisitos de densidad, índice de acidez, índice de saponificación, índice de peróxidos, índice de yodo, contenido de ácido oleico y ácido linoleico; mientras que el aceite de sésamo de semilla natural cumple únicamente con los requisitos de densidad, índice de acidez, índice de saponificación, índice de yodo, contenido de ácido oleico y ácido linoleico. Por lo tanto, en términos generales y según la metodología utilizada, se determinó que el aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada de la región de Retalhuleu no cumple con el Codex Stan 210-1999.

Descriptor: lixiviación, aceite de sésamo, rendimiento, propiedades fisicoquímicas, perfil de ácidos grasos, propiedades cosméticas.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Lo escrito sobre el tema.....	2
1.2. Marco teórico	3
1.2.1. Características generales del ajonjolí	3
1.2.2. Producción y comercialización de ajonjolí	12
1.2.3. Generalidades del aceite de sésamo	16
1.2.4. Técnicas de extracción de aceite.....	30
1.2.5. Industria de cosméticos	37
1.2.6. Elementos de un cosmético.....	38
1.2.7. Clasificaciones de los cosméticos.....	42
1.2.8. Formas cosméticas.....	43
1.2.9. Penetración de un cosmético en la piel	46
1.2.10. Hidratación de la piel.....	47
1.2.11. Cosméticos hidratantes.....	48
1.2.12. Propiedades cosméticas del aceite de sésamo	50

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	52
2.1. Objetivos	54
2.1.1. Objetivo general.....	54
2.1.2. Objetivos específicos	54
2.2. Hipótesis	55
2.2.1. Hipótesis nula	55
2.2.2. Hipótesis alternativa.....	55
2.3. Variables	56
2.3.1. Variables independientes.....	56
2.3.2. Variables dependientes.....	56
2.4. Definición de variables	56

2.5. Alcances y límites	59
2.6. Aporte	61

CAPÍTULO III

MÉTODO	62
---------------------	-----------

3.1. Sujetos y unidades de análisis	62
3.1.1. Sujetos	62
3.1.2. Unidades de análisis	62
3.2. Instrumentos	64
3.2.1. Equipo para la preparación de la materia prima vegetal	64
3.2.2. Equipo para la extracción de aceite de sésamo	65
3.2.3. Equipo para caracterización fisicoquímica del aceite de sésamo	68
3.2.4. Instrumentos y equipos utilizados en la metodología	72
3.2.5. Reactivos utilizados en la metodología	73
3.3. Procedimientos	75
3.3.1. Preparación de la muestra	75
3.3.2. Lixiviación de pasta de ajonjolí por el método Soxhlet	76
3.3.3. Obtención de aceite por destilación simple de hexano	78
3.3.4. Determinación de la densidad de aceite de sésamo	79
3.3.5. Determinación de la humedad de aceite de sésamo	80
3.3.6. Determinación del índice de refracción de aceite de sésamo	81
3.3.7. Determinación del índice de acidez de aceite de sésamo	83
3.3.8. Determinación del índice de saponificación de aceite de sésamo	84
3.3.9. Determinación del índice de peróxido de aceite de sésamo	84
3.3.10. Determinación del índice de yodo de aceite de sésamo	85
3.3.11. Derivatización de muestra de aceite para cromatografía	87
3.4. Diseño y metodología estadística	89
3.4.1. Determinación de número de muestras de laboratorio para extracción	89
3.4.2. Diseño experimental	93
3.4.3. Descripción de las unidades experimentales	94
3.4.4. Variable respuesta	94

3.4.5. Metodología de análisis estadístico	94
--	----

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	99
--	-----------

4.1. Rendimiento de extracción.....	99
4.2. Densidad.....	101
4.3. Humedad	103
4.4. Índice de refracción.....	105
4.5. Índice de acidez	107
4.6. Índice de saponificación.....	109
4.7. Índice de peróxido.....	111
4.8. Índice de yodo.....	113
4.9. Cromatografía GC-MS	115
4.10. Estudio preliminar para la aplicación del aceite de sésamo de la región de Retalhuleu a la industria de cosméticos.....	119

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS	120
--------------------------------------	------------

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES.....	130
--------------------------	------------

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES	132
------------------------------	------------

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS.....	133
-------------------------	------------

ANEXOS	141
---------------------	------------

Anexo A: Glosario.....	141
------------------------	-----

Anexo B: Datos obtenidos por cada corrida de análisis	143
---	-----

Anexo C: Propiedades cualitativas del aceite de sésamo extraído	147
---	-----

Anexo D: Propuesta de aplicación del aceite de sésamo en una crema hidratante óleo-acuosa	149
Anexo E: Ecuaciones implicadas en los análisis fisicoquímicos.....	151
Anexo F: Reacciones	154
Anexo G: Costos de extracción de aceite de sésamo	156
Anexo H: Técnicas de laboratorio.....	159
Anexo I: Datos experimentales para determinación de la media y desviación estándar de muestreo utilizados en el diseño estadístico	161
Anexo J: Tablas estadísticas utilizadas para el diseño experimental	162
Anexo K: Cromatogramas de aceite de sésamo a partir de semilla natural y descortezada	164

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición del suelo según su textura.....	4
Tabla 2. Composición nutricional de la semilla de sésamo.....	9
Tabla 3. Área, producción y rendimiento de ajonjolí en Guatemala.....	14
Tabla 4. Toneladas métricas y costo de importación de ajonjolí.....	15
Tabla 5. Toneladas métricas y valor de exportaciones de ajonjolí.....	16
Tabla 6. Composición nutricional del aceite de sésamo	18
Tabla 7. Composición de ácidos grasos presentes en el aceite de sésamo	25
Tabla 8. Requisitos de propiedades fisicoquímicas del aceite de sésamo establecidos por el Codex Stan 210-1999.....	27
Tabla 9. Comparación de contenido de ácidos grasos de otros aceites vegetales.....	29
Tabla 10. Tipos de activos según su función	38
Tabla 11. Clasificación de los excipientes según su forma física.....	39
Tabla 12. Clasificación de formas cosméticas anhidras	43
Tabla 13. Grados de penetración de las sustancias más utilizadas en cosmética.....	46
Tabla 14. Otros usos cosméticos de los aceites vegetales.....	51
Tabla 15. Composición de ácidos grasos en el aceite de sésamo para uso en ciencias cosméticas y farmacéuticas	51
Tabla 16. Cantidad máxima de muestra (g) para los extractores Soxhlet utilizados...	76
Tabla 17. Cantidad de hexano (mL) para los extractores Soxhlet utilizados	76
Tabla 18. Obtención de datos de tendencia para selección de número de muestras.	91
Tabla 19. Datos de gráfico de tendencia para selección de número de muestras.....	91
Tabla 20. Número de extracciones Soxhlet por tipo de semilla	92
Tabla 21. Experimentos realizados en el desarrollo del proyecto de investigación ..	93
Tabla 22. Experimentos realizados en el desarrollo del proyecto de investigación y su variable respuesta	94
Tabla 23. Rendimiento de extracción promedio de aceite de sésamo respecto al peso de la materia prima triturada de semillas de ajonjolí natural y descortezado	99
Tabla 24. ANOVA para extracción de aceite de sésamo respecto al peso de la materia prima triturada de semillas de ajonjolí natural y descortezado	99

Tabla 25. Densidad promedio del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada	101
Tabla 26. ANOVA para densidad del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada	101
Tabla 27. Humedad promedio del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada	103
Tabla 28. ANOVA para humedad del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada	103
Tabla 29. Índice de refracción promedio del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada	105
Tabla 30. ANOVA para índice de refracción del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada	105
Tabla 31. Índice de acidez promedio del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada	107
Tabla 32. ANOVA para índice de acidez del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada	107
Tabla 33. Índice de saponificación promedio del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada	109
Tabla 34. ANOVA para índice de saponificación del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada	109
Tabla 35. Índice de peróxido promedio del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada	111
Tabla 36. ANOVA para índice de peróxido del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada	111
Tabla 37. Índice de yodo promedio del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada	113
Tabla 38. ANOVA para índice de yodo del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada	113
Tabla 39. Perfil de ácidos grasos promedio del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada	115
Tabla 40. ANOVA para perfil de ácidos grasos del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada	116
Tabla 41. Resumen de resultados de análisis de varianza (ANOVA)	118

Tabla 42. Comparación de propiedades fisicoquímicas promedio del aceite de sésamo de semilla natural con los requisitos establecidos por el Códex Stan 210-1999	119
Tabla 43. Comparación de propiedades fisicoquímicas promedio del aceite de sésamo de semilla descortezada con los requisitos establecidos por el Códex Stan 210-1999	119
Tabla 44. Rendimiento de extracción respecto al peso de la materia prima triturada de semillas de ajonjolí natural	143
Tabla 45. Rendimiento de extracción respecto al peso de la materia prima triturada de semillas de ajonjolí descortezado.....	143
Tabla 46. Densidad del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada	143
Tabla 47. Humedad del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.....	143
Tabla 48. Índice de refracción del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada	144
Tabla 49. Índice de acidez del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.....	144
Tabla 50. Índice de saponificación del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada	144
Tabla 51. Índice de peróxido del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.....	145
Tabla 52. Índice de yodo del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.....	145
Tabla 53. Perfil de ácidos grasos del aceite de sésamo extraído a partir de semilla natural para corrida 1	145
Tabla 54. Perfil de ácidos grasos del aceite de sésamo extraído a partir de semilla natural para corrida 2	145
Tabla 55. Perfil de ácidos grasos del aceite de sésamo extraído a partir de semilla natural para corrida 3	146
Tabla 56. Perfil de ácidos grasos del aceite de sésamo extraído a partir de semilla descortezada para corrida 1.....	146
Tabla 57. Perfil de ácidos grasos del aceite de sésamo extraído a partir de semilla descortezada para corrida 2.....	146
Tabla 58. Perfil de ácidos grasos del aceite de sésamo extraído a partir de semilla descortezada para corrida 3.....	146

Tabla 59. Propiedades cualitativas evaluadas del aceite de sésamo extraído a partir de semillas de ajonjolí natural	147
Tabla 60. Propiedades cualitativas evaluadas del aceite de sésamo extraído a partir de semillas de ajonjolí descortezado.....	148
Tabla 61. Propuesta de uso cosmético de aceite de sésamo de la región de Retalhuleu en una crema de piel hidratante.....	149
Tabla 62. Formulación propuesta para una crema hidratante O/A con aceite de sésamo de la región de Retalhuleu a partir de semilla natural y descortezada.....	149
Tabla 63. Costo de energía eléctrica de un proceso de extracción y destilación simple de hexano para obtener el aceite de sésamo.....	156
Tabla 64. Costo de solvente en el proceso de extracción del aceite de sésamo en función del tamaño del extractor Soxhlet	156
Tabla 65. Costo de agua de un proceso de extracción y destilación simple de hexano para obtener el aceite de sésamo	157
Tabla 66. Costo total de insumos implicados en una extracción de aceite de sésamo	157
Tabla 67. Costo de semillas de ajonjolí natural y descortezado implicado en la extracción Soxhlet.....	157
Tabla 68. Costo total de extracción de aceite de sésamo por tipo de semilla y tamaño de extractor Soxhlet	158
Tabla 69. Costo de extracción por peso de aceite de sésamo obtenido.....	158
Tabla 70. Ahorro al utilizar la semilla descortezada en la extracción de aceite de sésamo.....	158
Tabla 71. Contenido de aceite en ajonjolí natural	161

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Tendencia de la desviación estándar relativa tolerable (margen de error) con el número necesario de muestras a evaluar	92
Gráfica 2. Rendimiento de extracción de aceite de sésamo respecto al peso de la materia prima triturada de semillas de ajonjolí natural y descortezado	99
Gráfica 3. Densidad del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada	101
Gráfica 4. Humedad del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada	103
Gráfica 5. Índice de refracción del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada	105
Gráfica 6. Índice de acidez del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada	107
Gráfica 7. Índice de saponificación del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada	109
Gráfica 8. Índice de peróxido del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada	111
Gráfica 9. Índice de yodo del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada	113
Gráfica 10. Ácidos grasos principales en el aceite de sésamo semilla natural vrs descortezada	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Semilla de sésamo	5
Figura 2. Planta de Ajonjolí	5
Figura 3. Estructura de la semilla de sésamo natural (<i>Sesamum indicum</i>)	11
Figura 4. Estructura general de las semillas de cereal sin descortezar	11
Figura 5. Distribución de producción de ajonjolí	15
Figura 6. Lignanos antioxidantes encontrados en la semilla y aceite de sésamo.....	20
Figura 7. Glucósidos de pinosresinol en la semilla de sésamo	21
Figura 8. Formación de sesaminol a partir de sesamolín durante el proceso de refinación de aceite de sésamo.....	22
Figura 9. Estructura química (cadena de carbonos) del ácido linoleico y linolénico ...	24
Figura 10. Estructura química (cadena de carbonos) del ácido palmítico, oleico y esteárico.....	24
Figura 11. Polaridad relativa de diferentes grupos funcionales	32
Figura 12. Disolventes autorizados para el tratamiento de materias primas	33
Figura 13. Horno de calentamiento	64
Figura 14. Balanza analítica	64
Figura 15. Procesador de alimentos.....	64
Figura 16. Plancha de calentamiento	65
Figura 17. Soxhlet pequeño.....	65
Figura 18. Soxhlet mediano.....	66
Figura 19. Soxhlet grande	66
Figura 20. Manta de calentamiento eléctrica.....	67
Figura 21. Equipo de destilación	67
Figura 22. Balón de aforo de 5 mL	68
Figura 23. Balanza de humedad.....	68
Figura 24. Refractómetro.....	68
Figura 25. Sistema de reflujo.....	69
Figura 26. Centrífuga.....	69
Figura 27. Viales para cromatografía	69

Figura 28. Bureta de titulación.....	70
Figura 29. Pipetas volumétricas	70
Figura 30. Pipetas graduadas.....	70
Figura 31. Instrumentos varios	71
Figura 32. Aceite de sésamo extraído a partir de semillas de ajonjolí natural	147
Figura 33. Aceite de sésamo extraído a partir de semillas de ajonjolí descortezado	148
Figura 34. Sistema de extracción Soxhlet	159
Figura 35. Sistema de destilación simple	159
Figura 36. Sistema de reflujo con condensador	160
Figura 37. Técnica de titulación.....	160
Figura 38. Tabla estadística distribución t de STUDENT	162
Figura 39. Tabla estadística distribución F de Fisher	163
Figura 40. Cromatograma de aceite de sésamo a partir de semilla natural, corrida 1	164
Figura 41. Perfil de ácidos grasos de aceite de sésamo a partir de semilla natural, corrida 1	165
Figura 42. Cromatograma de aceite de sésamo a partir de semilla natural, corrida 2	166
Figura 43. Perfil de ácidos grasos de aceite de sésamo a partir de semilla natural, corrida 2	167
Figura 44. Cromatograma de aceite de sésamo a partir de semilla natural, corrida 3	168
Figura 45. Perfil de ácidos grasos de aceite de sésamo a partir de semilla natural, corrida 3	169
Figura 46. Cromatograma de aceite de sésamo a partir de semilla descortezada, corrida 1	170
Figura 47. Perfil de ácidos grasos de aceite de sésamo a partir de semilla descortezada, corrida 1	171
Figura 48. Cromatograma de aceite de sésamo a partir de semilla descortezada, corrida 2	172
Figura 49. Perfil de ácidos grasos de aceite de sésamo a partir de semilla descortezada, corrida 2	173

Figura 50. Cromatograma de aceite de sésamo a partir de semilla descortezada, corrida 3	174
Figura 51. Perfil de ácidos grasos de aceite de sésamo a partir de semilla descortezada, corrida 3.....	175

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Número de muestras para análisis experimental	90
Ecuación 2. Media aritmética	94
Ecuación 3. Desviación estándar	95
Ecuación 4. Suma de cuadrados entre grupos	96
Ecuación 5. Suma de cuadrados intra grupo	96
Ecuación 6. Suma de cuadrados total.....	96
Ecuación 7. Grados de libertad entre grupos	97
Ecuación 8. Grados de libertad intra grupo	97
Ecuación 9. Cuadrado medio entre grupos	97
Ecuación 10. Cuadrado medio intra grupo	98
Ecuación 11. Estadístico F	98
Ecuación 12. Rendimiento de aceite	151
Ecuación 13. Densidad	151
Ecuación 14. Índice de refracción	151
Ecuación 15. Índice de acidez.....	151
Ecuación 16. Índice de saponificación	152
Ecuación 17. Índice de peróxido	152
Ecuación 18. Índice de yodo	153

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

El ajonjolí o sésamo (*Sesamum indicum*) es una planta anual perteneciente a la familia Pedaliaceae que se produce en regiones tropicales y subtropicales. Posee un ciclo de vida entre 80 – 130 días y se caracteriza por su fácil adaptabilidad entre 0 – 1,000 metros sobre el nivel del mar.

Actualmente, el ajonjolí guatemalteco se encuentra entre los primeros cinco productos agrícolas de exportación siendo cosechado en departamentos como Retalhuleu, Suchitepéquez, Quezaltenango, Escuintla, Petén, Santa Rosa, San Marcos y Jutiapa. La mayor parte del ajonjolí cosechado es comercializado en el exterior como grano entero para alimentación y por su alto contenido de aceite, siendo principalmente exportado a Europa, Estados Unidos y Japón.

El método Soxhlet es uno de los procedimientos convencionales de instrumentación simple más común para obtener aceites fijos. En el presente trabajo de investigación se pretende realizar la lixiviación del aceite de sésamo a partir de semillas de ajonjolí natural y descortezado con el objetivo de evaluar el rendimiento de extracción en función del tipo de semilla.

El análisis cuantitativo del rendimiento y propiedades fisicoquímicas del aceite de sésamo son requisitos fundamentales para que la semilla guatemalteca sea competitiva ante otras variedades. Por esta razón y, tomando en cuenta que en la actualidad no existe un estudio que sirva como referencia de la calidad del aceite de las semillas nacionales de ajonjolí en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas, se pretende realizar una caracterización fisicoquímica que consiste en análisis de densidad, humedad, índice de refracción, índice de acidez, índice de peróxido, índice de saponificación, índice de yodo y perfil de ácidos grasos.

A partir de los resultados obtenidos, se pretende realizar una comparación de las propiedades fisicoquímicas y perfil de ácidos grasos del aceite de sésamo extraído con el Codex Stan 210-1999, el cual proporciona una descripción extensa de los requisitos fisicoquímicos para los aceites vegetales comestibles. Y se presenta una propuesta de aplicación del aceite de sésamo en un producto cosmético cumpliendo con las normativas del Reglamento 1223/2009 del Parlamento Europeo y el Real Decreto 85/2018 que recogen la regulación de productos cosméticos.

1.1 Lo escrito sobre el tema

Mazzani y Layrisse (1998), en su trabajo de graduación, evaluaron los rasgos químicos germoplasma de la semilla de sésamo del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP-FONAIAP). Las muestras están compuestas de tres repeticiones a dos regiones (Turén, el Estado de Portuguesa y Maracay, el Estado de Aragua). Los resultados indican que cuatro de cinco cultivares (amarillo de China, DV-2, 67-181 y Felicidad) mostraron más de 55% de aceite con rangos de variación de 49.40% a 55.60% (Píritu) a Turén y de 49.20% a 57.20% (67-181) a Maracay. El volumen de proteína varió de 18.09% a 28.11% (voi Negro) a Turén y 17.75% a 27.21% (87-747) a Maracay.

Lima (2001,) en su trabajo de graduación, concluyó que el acondicionamiento previo al sistema de extracción del grano de ajonjolí sí incide significativamente sobre el rendimiento en la extracción del aceite.

Cervantes (2012), en su trabajo de graduación, evaluó el contenido de proteína y aceite mediante los métodos estadísticos t-student y análisis de varianza, así como la determinación de concentraciones de aceite de semilla en estado natural obteniendo los siguientes resultados: 55.44% en R-198, 51.64% en Estándar y 53.29% en Trébol; y con el proceso de descortezado de las semillas se obtuvo 63.75% en R-198, 62.22% en Estándar y 63.34% en Trébol. En cuanto a contenido de proteína se obtuvo 23.55% en R-198, 22.37% en Estándar y 23.06% en Trébol, sin presentar mayor diferencia al descortezar las semillas. Sus conclusiones indican que existe una diferencia estadística significativa del contenido de proteína y aceite tanto antes como después de descortezado.

Zavala y Castillo (2008), en su trabajo de graduación, evaluaron el proceso de obtención de aceite virgen de sésamo a partir de la operación unitaria de filtrado a presión con el fin de conservar sus características y evitar la degradación de sus componentes. Dentro de los resultados de dicho trabajo se realizaron los siguientes análisis: contenido de materia grasa, proteína total, ceniza, impurezas, humedad, densidad, materia insaponificable, ácidos grasos libres, índice de yodo (Wijs), índice de saponificación, gravedad específica. Sus conclusiones indican que la semilla de ajonjolí presenta un 55% de materia grasa y que el proceso de refinación hace que el aceite de ajonjolí pierda todas sus características organolépticas.

1.2. Marco teórico

La importancia de la semilla de sésamo o ajonjolí ha crecido en el mercado internacional de forma sostenida, incorporándose en la dieta de muchos países. El Comité de Exportadores de Ajonjolí de la Asociación de Exportadores de Guatemala (AGEXPORT), el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA), el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGA) y el Ministerio de Economía (MINECO) han reforzado la producción y calidad de este producto por el valor que actualmente tiene el uso de productos naturales.

Según Pineda (2009), los gobiernos europeos, estadounidense y japonés han mostrado especial interés en los aceites derivados de semillas oleaginosas como consecuencia a la tendencia de escasez y alza de precios de los combustibles y aceites derivados del petróleo. Por lo tanto, la producción de aceites vegetales a partir de plantas oleaginosas es de interés ya que produce no solo aceites y grasas, sino también proteínas, vitaminas y minerales.

1.2.1. Características generales del ajonjolí

El ajonjolí (*Sesamum indicum*) es uno de los cultivos más antiguos en el mundo y se produce en regiones tropicales y subtropicales. Se cree es que originario de Etiopía, África, y se distribuyó a Asia Central, India y China (Sánchez, 1982).

- Descripción botánica

El cultivo de ajonjolí es una planta anual con un ciclo de vida entre 80 y 130 días. En las variedades precoces, el ciclo vegetativo puede durar 80 días; en las de ciclo mediano, de 110 días y en las más tardías, presenta una duración de 130 días. Se caracteriza por ser una planta herbácea adaptada a altitudes entre 0-1,000 metros sobre el nivel del mar (Pineda, 2009). Es una planta de clima cálido, por lo que prospera en regiones tropicales y subtropicales. Es posible cultivarlo entre los 25° de latitud norte y sur, pero también a 40° de latitud norte (por ejemplo, en China, Rusia y Estados Unidos); o a 30° y 35° de latitud sur (como en Australia, América Central y América del Sur), respectivamente (Sánchez, 1982).

Por lo general, la planta requiere temperaturas altas y uniformes (entre 27-30°C). La exposición a temperaturas inferiores a 18°C durante la floración puede causar esterilidad del polen o caída prematura de las flores; mientras que la exposición a altas temperaturas (40°C y superiores) afecta la fertilización y el número de cápsulas durante la floración (Sánchez, 1982).

Muchas variedades se han adaptado a diferentes periodos de luz. Generalmente, la planta necesita 10 horas diarias de luz para florecer a los 45 días. Sin embargo, cuando las variedades de ajonjolí se siembran en otras regiones con periodos similares de luz, pero con régimen de lluvias o de temperatura diferentes, se presentan variaciones en el crecimiento y el rendimiento (Sánchez, 1982).

Para obtener los mejores rendimientos y alto contenido de aceite, la planta debe sembrarse en regiones con alta luminosidad y sin variaciones considerables de temperatura (Sánchez, 1982).

En cuanto a precipitaciones pluviales, requiere entre 400 a 800 mm distribuidos en toda la cosecha a lo largo de su fase vegetativa y durante la floración (MAGA, 1991). En temperaturas de invierno, el cultivo tiene mayor importancia en el Altiplano Occidental, donde se recomienda sembrarlo a partir del 1 de julio al 15 de agosto. Un desfase en la siembra del cultivo tiene como consecuencia sufrir lluvias de invierno o exposición a temperaturas muy altas o bajas durante la segunda quincena de noviembre provocando fallos en la siembra. También cabe mencionar que si la cosecha es expuesta a sequía prolongada durante el último periodo de maduración de las cápsulas, éstas maduran antes de tiempo y se pierden.

Según Pineda (2009), el ajonjolí logra su mejor desarrollo en regiones de clima cálido húmedo o cálido seco. En cuanto a nutrientes, es un cultivo poco exigente y se desarrolla en una gran variedad de suelos.

Sin embargo, los suelos más aptos son de texturas ligeras: franco, franco arenoso y franco arcilloso con un pH entre 5.5 – 7. El suelo donde se cultiva la semilla debe ser plano o levemente inclinado con buen drenaje y aireación para evitar el ataque de plagas (De León, 2005).

Un suelo puede clasificarse en las siguientes categorías dependiendo de la proporción que contenga de los elementos descritos:

Tabla 1. Composición del suelo según su textura

<i>Textura del suelo</i>	<i>Composición</i>
Franco	Contiene 40% de arena, 40% de limo y 20% de arcilla
Franco-arenoso	Contiene 70% de arena, 10% de arcilla y 20% de limo
Franco-arcilloso	Contiene 35% de arcilla, 35% de limo y 30% de arena
Arcilloso-arenoso	Contiene 60% de arcilla, 30% de arena y 10% de limo.

Fuente: Cáceres y Girón (1994).

Las características morfológicas de la planta de ajonjolí, según Sánchez (1982) son:

- a) Raíz: posee un sistema radical bien desarrollado y fibroso. Está formado por una raíz principal pivotante, muy ramificada pero generalmente superficial.
- b) Tallo: según la variedad, puede ser simple o ramificado, liso o pubescente con glándulas que secretan una sustancia viscosa. Su forma es cuadrangular de consistencia fibrosa y puede alcanzar una altura de 1 a 2 metros.
- c) Hojas: son opuestas y alternas. Las hojas inferiores son de forma acorazonada y partidas; las superiores son lanceoladas y enteras. Están cubiertas por pelos.

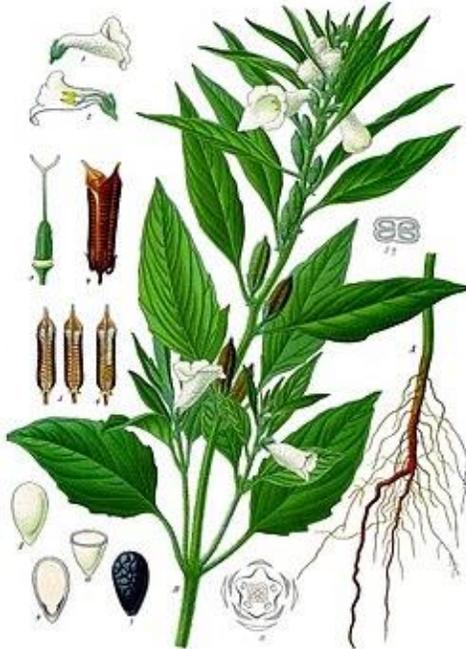
- d) Flores: son blancas, en forma de campana, de 2 a 4 centímetros de largo. Se forman en las axilas de las hojas, en número de una a tres, según la variedad. En un gran porcentaje se auto-polinizan.
- e) Frutos: son cápsulas dehiscentes en la mayoría de las variedades. Pueden ser biloculares, triloculares o tetraloculares, según la variedad.
- f) Semilla: son pequeñas, de 2 a 4 milímetros de largo, de forma achatada y de color variable entre blanco, crema-rojizo, pardo o negro.

Figura 1. Semilla de sésamo



Fuente: Natursan (2018).

Figura 2. Planta de Ajonjolí.



Fuente: Sánchez (1982)

- Taxonomía

El nombre científico del ajonjolí o sésamo es *Sesamum indicum* y tiene sinónimo *S. orientale*. Pertenece a la familia Pedaliaceae la cual se encuentra compuesta por 16 géneros y 60 especies.

Su clasificación taxonómica según Barrera (1981):

Reino:	Plantae	División:	Tracheophytae
Sub-División:	Pteropsidae	Clase:	Angiospermae
Sub-Clase:	Dicotyledoneae	Orden:	Tubiflorales
Familia:	Pedaliaceae	Género:	<i>Sesamum</i>
Especie:	<i>indicum</i>		

- Variedades de ajonjolí

Las variedades de ajonjolí se clasifican según el tipo de cápsula (dehiscente e indehiscente), por la arquitectura de la planta, ramificadas o no ramificadas. Existen muchas variedades, tipos y partidas de semillas de ajonjolí. Las variedades más importantes en Guatemala son las siguientes:

- a) Mexicano: es una variedad ramificada de grano de color blanco. La planta de aproximadamente dos metros bota su cosecha a los 90-100 días después de la siembra presentando un rendimiento de 500 a 540 kg/ha.
- b) ICTA R-198: es una variedad ramificada de grano de color blanco. La floración de la planta inicia 40 días después de la siembra y presenta un rendimiento de 540 a 630 kg/ha con un ciclo de 94-110 días después de la siembra. Es una de las variedades de mayor rendimiento y de las más cultivadas. Según Ruano (2003), puede alcanzar un rendimiento de 1,200 kg/ha.
- c) ICTA R-30: es una variedad ramificada de grano de color café con flor de color blanca y parte inferior de color morado. La floración de la planta inicia a los 48 días después de la siembra y presenta un rendimiento promedio de 0.45 a 0.54 toneladas métricas por hectárea y un ciclo de 100-110 días después de la siembra.
- d) Tahal: es una variedad con floración a los 45 días después de la siembra y grano de color blanco con un ciclo de 100-120 días. Presenta un rendimiento de 0.36 a 0.54 TM/ha.
- e) Estrella: es una variedad ramificada de grano blanco que alcanza la madurez fisiológica en 100 días con un rendimiento de 0.45-0.54 TM/ha.
- f) Escoba: es una planta que no se ramifica de aproximadamente 1.43 metros de altura. Según Kathler (2004) las cápsulas son dehiscentes y se abren cuando madura; la semilla se cae poco a poco, cuando el viento mueve la planta. Esto

impide que se pueda cosechar mecánicamente. La semilla es muy pequeña pero el gusto se encuentra entre las mejores de todas las variedades.

- Componentes y propiedades de la semilla de sésamo
 - a) Lípidos o grasas. Las grasas que contiene son insaturadas con predominio de poliinsaturadas. Entre las grasas del ajonjolí también se encuentra la lecitina, la cual presenta una poderosa propiedad emulsionante que facilita la disolución de grasas en medio acuoso. Una de sus funciones en la sangre es mantener disueltos los lípidos en general, especialmente el colesterol, evitando así su depósito en las paredes arteriales. Es importante mencionar que la semilla de sésamo es, junto con la soja, el vegetal más rico en lecitina (Cervantes, 2012).
 - b) Minerales. El ajonjolí es una fuente importante de diferentes minerales como el magnesio – que actúa como cofactor de numerosas enzimas intracelulares, participando en la actividad neuromuscular y en el metabolismo de los hidratos de carbono –, el calcio y fósforo – que intervienen en la formación de huesos y dientes –, el hierro – mineral que forma parte de la hemoglobina de la sangre –, el zinc – mineral que participa en el metabolismo de los hidratos de carbono, las grasas y proteínas – y potasio – que interviene en la producción de proteínas, en el metabolismo de hidratos de carbono, en la transmisión nerviosa y la síntesis de músculos (MAPAMA, 2013).
 - c) Vitaminas. El aporte vitamínico consiste en tocoferoles (vitamina E) – protege el tejido corporal del daño causado por los radicales libres, mantenimiento del sistema inmune, dilatación de vasos sanguíneos para impedir que la sangre se coagule dentro de ellos y la interacción celular –, tiamina (vitamina B1) – interviene en el metabolismo de carbohidratos y el mantenimiento del sistema nervioso/digestivo –, riboflavina (vitamina B2) – importante para la producción de energía, participa en el metabolismo de otras vitaminas y desintoxica el organismo –, folato (vitamina B9) – útil para la división celular y síntesis de ADN –, piridoxina (vitamina B6) – interviene en el metabolismo de neurotransmisores, síntesis de ADN, ARN y anticuerpos –, niacina (vitamina B3) – que interviene en la eliminación de sustancias químicas tóxicas del cuerpo, el metabolismo energético celular y la reparación del ADN (INCAP, 2012).
 - d) Aminoácidos. Las semillas de sésamo poseen buenas cantidades de fibra (MAPAMA, 2013). La proteína de esta semilla está formada por quince aminoácidos distintos, con una elevada proporción del aminoácido esencial metionina.
 - Arginina: está involucrada en el mantenimiento y reparación del sistema inmunológico, el crecimiento de tejidos y músculos.
 - Ácido aspártico: cumple con la función de desintoxicación del hígado y su correcto funcionamiento.

- Ácido glutámico: actúa como un estimulante del sistema inmunológico y garantiza el funcionamiento del Sistema Nervioso Central.
 - Metionina (aminoácido esencial): colabora en la síntesis de proteínas y constituye el principal limitante en las proteínas de la dieta.
 - Lisina (aminoácido esencial): interviene en el crecimiento, crea anticuerpos del sistema inmunológico, sintetiza hormonas y repara tejidos.
 - Treonina (aminoácido esencial): interviene en la desintoxicación del hígado, junto con la L-Metionina y ácido aspártico.
 - Valina (aminoácido esencial): estimula el crecimiento y reparación de tejidos.
 - Leucina (aminoácido esencial): interviene en la formación y reparación del tejido muscular, junto con la L-Isoleucina y hormona de crecimiento.
 - Isoleucina (aminoácido esencial): interviene en la formación y reparación de tejido muscular, junto con la L-Leucina y hormona de crecimiento.
 - Fenilalanina (aminoácido esencial): interviene en la producción de colágeno sobre la estructura del tejido conectivo, la piel y formación de neuro-hormonas.
- e) Otros componentes antioxidantes. El ajonjolí contiene trazas de una sustancia fenólica, el sesamol, que es un poderoso antioxidante natural. En combinación con la vitamina E, hace que el aceite sea resistente a la rancidez oxidativa más que otros aceites vegetales (Zavala y Castillo, 2008). Contiene 0.4% de sesamín y 0.3–0.6% de sesamolín que también proporcionan estabilidad oxidativa (Shahidi, 1997).

El Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP) propone la siguiente composición nutricional de la semilla de ajonjolí:

Tabla 2. Composición nutricional de la semilla de sésamo.

Composición por 100 gramos de porción comestible	
Nombre	Cantidad
Agua (%)	4.69
Energía (Kcal)	573
Proteína (g)	17.73
Grasa total (g)	49.67
Carbohidratos (g)	23.45
Fibra dietética total (g)	11.80
Ceniza (g)	4.45
Calcio (mg)	975
Fósforo (mg)	629
Hierro (mg)	14.55
Tiamina (mg)	0.79
Riboflavina (mg)	0.25
Niacina (mg)	4.51
Vitamina C (mg)	0
Vitamina A (mg)	0
Ácidos grasos mono-insaturados (g)	18.76
Ácidos grasos poli-insaturados (g)	21.77
Ácidos grasos saturados (g)	6.96
Colesterol (mg)	0
Potasio (mg)	468
Sodio (mg)	11
Zinc (mg)	7.75
Magnesio (mg)	351
Vitamina B6 (mg)	0.79
Vitamina B12 (µg)	0
Ácido Fólico (µg)	0
Folato (µg)	97
Fracción comestible (%)	100

Fuente: INCAP (2012).

Según información recolectada por MAPAMA (2013), la semilla de sésamo también contiene 1 µg de Vitamina A y 2.53 mg de vitamina E por 100 gramos de porción comestible.

Las semillas son frutos de varias especies vegetales como los cereales y oleaginosas. La estructura general de las semillas se compone de las siguientes partes:

➤ Cáscara o pericarpio (7-10%)

Los granos y semillas se encuentran envueltos en una cáscara cuya función es mejorar la conservación. Son estructuras florales que encierran al grano y lo protegen contra insectos, humedad y agentes externos (Nestlé, 2018).

Se considera rico en algunos minerales como potasio, hierro, calcio, fósforo y tiene presencia de vitamina del grupo B (B1, B2, B3, B6 y ácido fólico). La capa también está compuesta por fibra; polímeros de hidratos de carbono que forman parte de las paredes celulares vegetales como la celulosa (FAO, 1997). Las paredes celulares vegetales contienen también otros materiales complejos como hemicelulosas, pectinas y otros polisacáridos como las gomas o mucílagos. La fibra también incluye polisacáridos no digeribles como inulina, almidón resistente, celulosas modificadas, lignina, ceras, cutina y diversos polifenoles (Lehninger, 2005).

➤ Capa de aleurona

Es un conjunto de gránulos protéicos que se encuentran en semillas oleaginosas y granos de cereales de diversas plantas localizados en la parte externa del endospermo. Es una sustancia de naturaleza albuminoidea que funciona como reserva alimenticia que el embrión utiliza durante la germinación. Es rica en proteínas, vitaminas y minerales (UNAM, 2013).

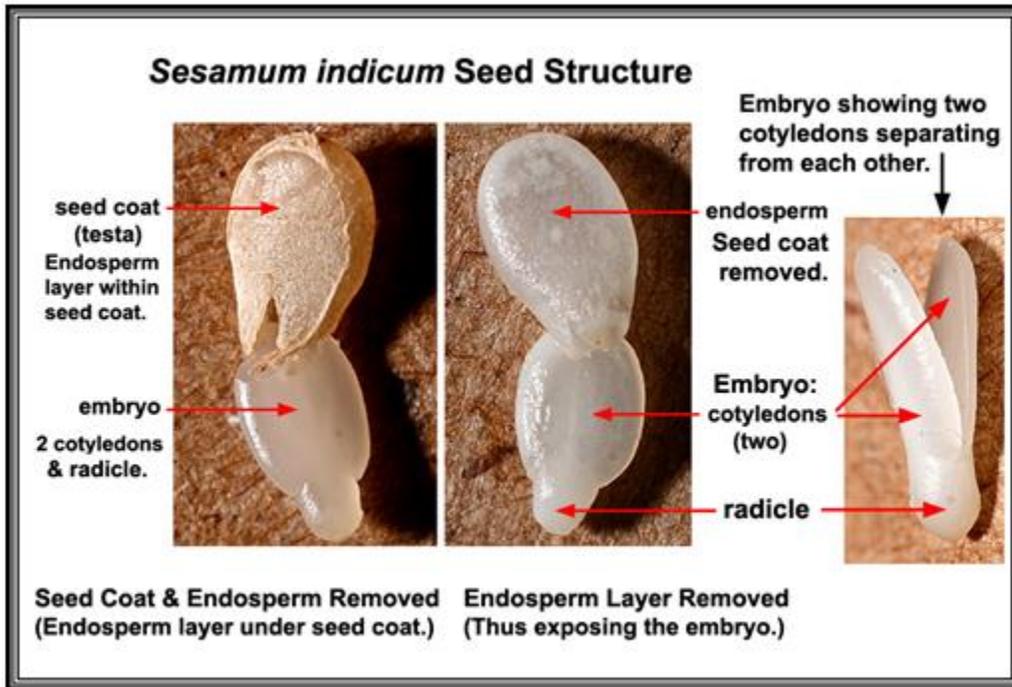
➤ Endospermo (80-85%)

Es donde se almacena el alimento que da origen a una nueva planta. Está compuesto principalmente de almidón, carbohidratos y en menor escala por proteínas (Nestlé, 2018).

➤ Germen (3-8%)

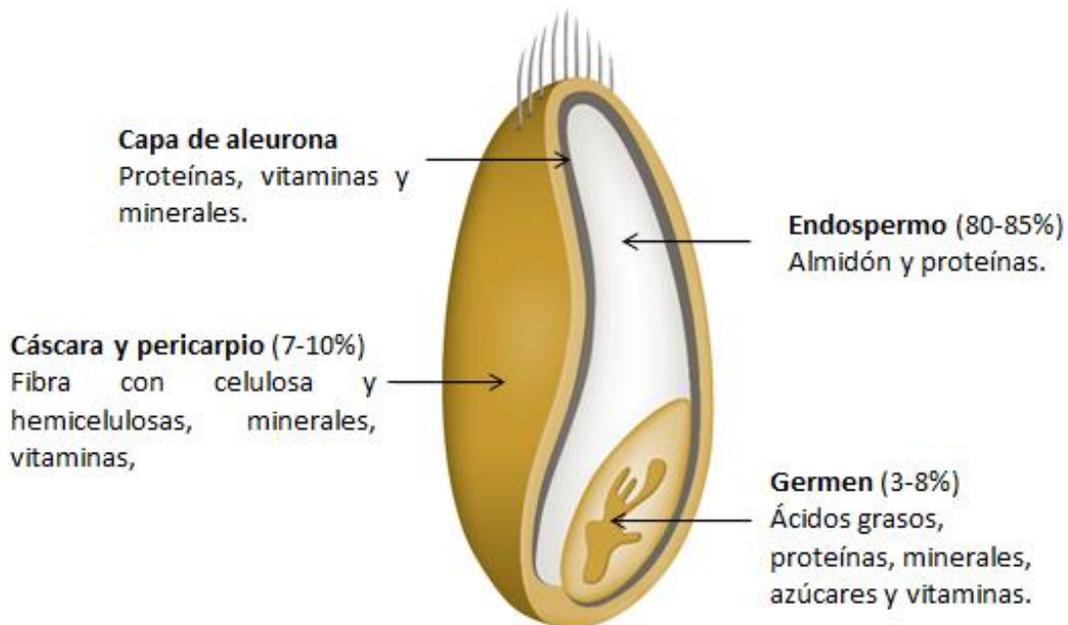
Contiene un alto contenido de nutrientes, principalmente ácidos grasos, proteínas, vitaminas, azúcares y minerales. Está conformado por el eje embrionario, que está integrado por la radícula y la plúmula que forman las raíces y la parte vegetativa de la planta (UNAM, 2013).

Figura 3. Estructura de la semilla de sésamo natural (*Sesamum indicum*)



Fuente: Armstrong (2016).

Figura 4. Estructura general de las semillas de cereal sin descortezar.



Fuente: Nestlé (2018).

1.2.2. Producción y comercialización de ajonjolí

En el año 2014 la producción de ajonjolí en Guatemala registró un incremento del 18.6% en sus exportaciones en comparación con el año anterior, posicionándose en el segundo lugar del top 5 de productos agrícolas de mayor exportación (AGEXPORT, 2014). Según el Comité de Ajonjolí de AGEXPORT, la venta al exterior de los 400 mil quintales de semilla de ajonjolí a sus principales mercados como Japón y Nueva Zelanda fue de \$58.9 millones.

El ajonjolí ha presentado fuertes desarrollos competentes, de forma que Guatemala ahora compite contra grandes países como India y Paraguay, con la posibilidad de posicionarse en el mercado internacional (AGEXPORT, 2014). Según el Presidente del Comité de Ajonjolí de AGEXPORT, Ricardo Morales, el incremento de las exportaciones de la semilla es asociado con el consumo en el mercado asiático y su diferenciación como un alimento gurmé. Es importante mencionar que existe una gran oportunidad en el mercado internacional para el ajonjolí dorado y negro, productos que pueden ser cultivados con éxito en el país para generar mayores ingresos a los productores guatemaltecos.

El mercado internacional de ajonjolí es cada día más restrictivo en cuanto a la trazabilidad de los productos de exportación, por lo que la vinculación de los productores con las empresas exportadoras abre puertas para competir de una mejor manera en el mercado internacional.

Dentro de las semillas oleaginosas a nivel mundial, la semilla de sésamo no representa importancia equivalente con respecto a la soya, girasol y algodón, pero no significa que su producción sea innecesaria. El aceite de ajonjolí es de mejor calidad que el resto de oleaginosas, posee alto valor nutritivo y es un producto de larga duración. De acuerdo con Cervantes (2012), el 70% de la producción mundial se destina a la industria alimenticia para la elaboración de harinas y aceites; los principales productores mundiales de ajonjolí son India (la calidad de la semilla no es de las mejores y se ve reflejado en su precio), China, Myanmar y Sudán, que acumulan el 70%. En el caso de Centroamérica y México, la participación en producción es de 1.5% y 0.7%, respectivamente.

En el año 2004, la mayor proporción de área cultivada a nivel mundial se ubicó en India (31%), Myanmar (19%), Sudán (13%), China (10%), Centroamérica (1.14%) y México (0.69%). Según el año 2003; India, China y Sudán representan 57.6% de las exportaciones totales, seguido de Etiopía (8.9%), Los Países Bajos (6.6%), Myanmar (4.6%), Guatemala (3.1%) y México (2.4%). Guatemala destaca entre los países centroamericanos ya que la región representa el 3.7% del total de exportaciones mundiales (Cervantes, 2012).

El cultivo de ajonjolí inició en Guatemala desde la época de la colonia. A partir de 1960 el contenido y calidad de proteína y aceite despertó el interés en mercados

extranjeros y se iniciaron las exportaciones, lo que estimuló a los medianos agricultores para producir ajonjolí en monocultivo (ICTA, 1981).

La mayor parte de la producción de ajonjolí nacional tiene como destino el mercado internacional. El grano de ajonjolí guatemalteco compite por ser el de mejor calidad a nivel mundial debido a sus características aunque ha tenido algunos inconvenientes en temas de inocuidad.

La semilla de ajonjolí se utiliza en Guatemala principalmente para la elaboración de pan, dulces, aceites, margarina, mantequilla y pasteles, bebidas alimenticias y horchatas. El aceite es utilizado en la fabricación de pintura, jabón, perfume y cosméticos (Barrera, 1981).

En Guatemala, es común comercializar el ajonjolí en tres presentaciones: natural de campo, natural limpio y descortezado (MINECO, 2014). Cada presentación anterior posee sus propios procesos y canales de distribución.

Ajonjolí natural de campo

Se obtiene del proceso productivo en los campos de los agricultores limpiado y posteriormente comercializado en sacos de 100 libras por los productores a los intermediarios sin realizar ningún tipo de clasificación por calidad (MINECO, 2014).

Ajonjolí natural limpio

Una vez adquirido el ajonjolí natural de campo por los intermediarios, es transportado hacia sus bodegas y, seguidamente, a la empresa exportadora donde puede ser procesado. La semilla pasa por dos fases de limpieza en una planta procesadora, que consiste en verter el producto de campo a una tolva que remueve la materia extraña de menor peso por medio de un mecanismo de turbulencia de aire, completando así la primera fase de limpieza. Luego, en una zaranda se le extrae la materia extraña de mayor peso. Una vez finalizado este procedimiento, se obtiene el ajonjolí natural limpio y listo para ser comercializado a granel según las especificaciones del cliente nacional o internacional (MINECO, 2014).

Ajonjolí descortezado

El ajonjolí natural limpio es sometido a un proceso de maceración y se traslada a una máquina descortezadora, la cual permite obtener semillas homogéneas en color, pureza (99%), tamaño y humedad (3-5%). Una vez finalizado este procedimiento, se obtiene el ajonjolí limpio descortezado y listo para ser comercializado a granel según las especificaciones del cliente nacional o internacional (MINECO, 2014).

Actores directos

Los participantes directos en la cadena de valor del ajonjolí son los proveedores de semilla (agro servicios, productores independientes), productores, intermediario-transportista (inversionistas individuales), transformadores y exportadores (UNIEXPORT, PROEXPORT, AGROMUNDO, PROFASA) (MINECO, 2014).

Actores indirectos

Son aquellos que inciden en la misma pero que no son indispensables para la producción y proceso. A nivel micro son proveedores de insumos, asistencia técnica, transportistas independientes; a nivel medio se encuentran proveedores de financiamiento (Banrural, BAM, Génesis Empresarial), ICTA, AGEXPORT; y a nivel macro se encuentra el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) y el Ministerio de Economía (MINECO, 2014).

- Área, producción y rendimiento

Tabla 3. Área, producción y rendimiento de ajonjolí.

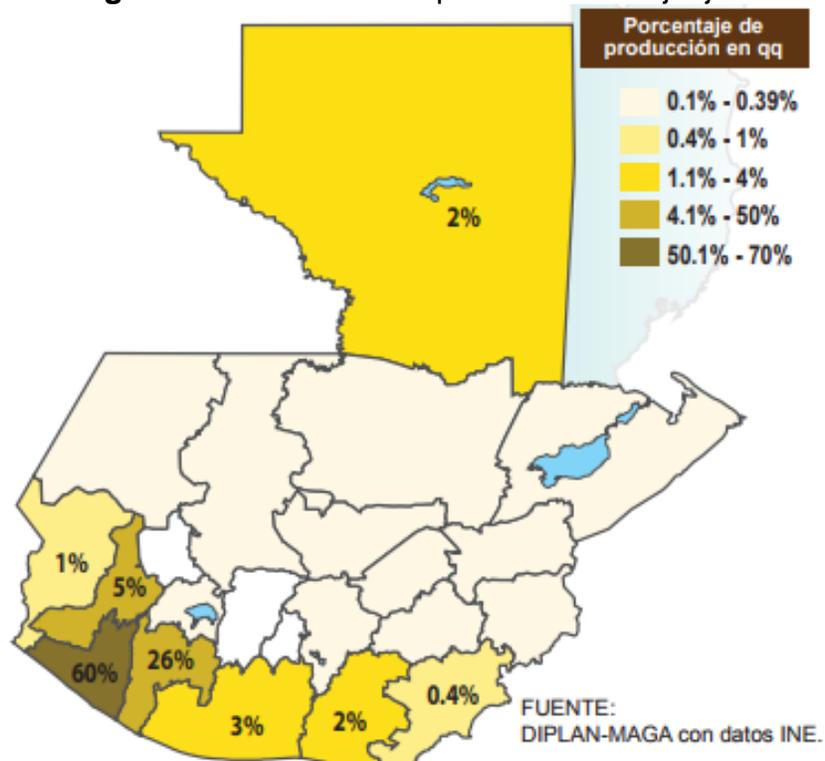
Año agrícola (oct – sept)	Área cosechada (manzanas)	Producción (quintales)	Rendimiento (quintal/manzana)
2009/2010	50,378	1,099,422	21.82
2010/2011	43,000	866,800	20.20
2011/2012	56,200	1,121,600	20.00
2012/2013	58,500	1,357,700	23.20
2013/2014	56,000	1,207,200	21.60
2014/2015 (preliminar)	57,000	1,339,300	23.40
2015/2016 (estimada)	59,000	1,226,800	20.80

Fuente: MAGA (2016).

- Distribución de la producción de ajonjolí a nivel nacional

De acuerdo a las condiciones fisiográficas mencionadas, el ajonjolí se produce mayormente en el territorio del pacífico, en los departamentos de Retalhuleu (61.9%), Suchitepéquez (25.4%), Quetzaltenango (4.8%), Escuintla (2.2%), Santa Rosa (1.9%), San Marcos y Jutiapa (1.8%), y en el departamento de Petén (2%).

Figura 5. Distribución de producción de ajonjolí.



Fuente: MAGA (2016).

- Volumen y monto de las importaciones de ajonjolí

Tabla 4. Toneladas métricas y costo de importación de ajonjolí.

Período 2012 - 2016					
Año	2012	2013	2014	2015	2016
TM	9,281.96	11,061.18	15,176.96	24,624.59	5,597.91
US \$	4,863,111.00	5,079,236.00	18,262,625.00	16,615,291.00	5,631,115.00

Fuente: MAGA (2016).

Los principales países de los que se importa la semilla son Venezuela, seguido de Nicaragua (MAGA, 2016).

- Volumen y monto de las exportaciones de ajonjolí

Tabla 5. Toneladas métricas y valor de exportaciones de ajonjolí.

Período 2012 - 2016					
Año	2012	2013	2014	2015	2016
TM	24,612	34,028	26,016	29,672	21,019
US \$	50,228,875	59,162,619	52,765,713	44,051,604	24,813,185

Fuente: MAGA (2016).

Los principales países a los que se exporta la semilla son Japón, Estados Unidos y otros países europeos (MAGA, 2016).

1.2.3 Generalidades del aceite de ajonjolí

El aceite de origen vegetal es un compuesto orgánico que se produce en las plantas y se acumula en los tejidos como fuente de energía. La composición, en términos generales, está representada con una molécula de glicerina y varios ácidos grasos.

Los aceites vegetales son preferidos para alimentación y cuidado de la piel. Esto se debe a que son ricos en ácidos mono o poliinsaturados, característica importante para la transformación de la grasa en el organismo humano (Cervantes, 2012).

El aceite de sésamo es uno de los más conocidos por el hombre desde la antigüedad. La coloración del aceite crudo varía de ámbar a amarillo pálido y tiene un sabor agradable y dulce, es casi inodoro y no se enrancia fácilmente. Murray (1953) reporta que el aceite presenta una gran estabilidad de la vitamina A.

El aceite crudo se considera de alta calidad y puede ser utilizado directamente para cocinar o como aceite para ensaladas. Cuando es hidrogenado se utiliza para la elaboración de margarinas y mantecas para pasteles. También se le da uso como grasa para fabricación de jabón, fabricación de pinturas, y como un sinergista para insecticidas (Cervantes, 2012).

En la industria farmacéutica, el aceite es codiciado como vehículo para medicamentos que requieren ser administrados subcutáneamente o intramuscularmente debido a su alta estabilidad y alto efecto antioxidante (Cervantes, 2012).

El aceite que se extrae de la semilla de sésamo se considera de excelente calidad debido al balance de ácidos grasos y su alto contenido de antioxidantes naturales (Bedigian, 2010). En América, el ajonjolí es un cultivo de importancia económica; Venezuela, Paraguay, México y Guatemala, en conjunto abarcan el 3% de la producción mundial y el 12% del mercado de exportación (Cervantes, 2012). El aceite es ligeramente soluble en alcohol, miscible en éter, cloroformo y derivados ligeros de petróleo.

Sánchez (1982) indica que la semilla presenta un alto contenido de aceite que varía del 45 al 50% de su composición, 35% de proteína y 8% de carbohidratos y minerales.

El aceite de sésamo puede ser extraído de la semilla tostada o no tostada. El aceite de la semilla de sésamo no tostada se obtiene a través de prensado en frío y refinado con tratamiento alcalino, blanqueado con arcilla ácida y desodorizado. Y la semilla tostada es únicamente filtrada para remover contaminantes (Shahidi, 1997).

Zavala y Castillo (2008) indican que la neutralización alcalina tiene importantes inconvenientes, provocando un bajo rendimiento y produciendo pérdidas de aceite debido a la emulsión y saponificación de aceites neutros.

- Composición del aceite de sésamo

El Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP) propone la siguiente composición nutricional del aceite de ajonjolí:

Tabla 6. Composición nutricional del aceite de sésamo.

Composición por 100 gramos de porción comestible	
Nombre	Cantidad
Agua (%)	0.00
Energía (Kcal)	884
Proteína (g)	0.00
Grasa total (g)	100
Carbohidratos (g)	0.00
Fibra dietética total (g)	0.00
Ceniza (g)	0.00
Calcio (mg)	0.00
Fósforo (mg)	0.00
Hierro (mg)	0.00
Tiamina (mg)	0.00
Riboflavina (mg)	0.00
Niacina (mg)	0.00
Vitamina C (mg)	0.00
Vitamina A (mg)	0.00
Ácidos grasos mono-insaturados (g)	39.70
Ácidos grasos poli-insaturados (g)	41.70
Ácidos grasos saturados (g)	14.20
Colesterol (mg)	0.00
Potasio (mg)	0.00
Sodio (mg)	0.00
Zinc (mg)	0.00
Magnesio (mg)	0.00
Vitamina B6 (mg)	0.00
Vitamina B12 (µg)	0.00
Ácido Fólico (µg)	0.00
Folato (µg)	0.00
Fracción comestible (%)	100

Fuente: INCAP (2012).

La semilla de sésamo y el aceite contiene 0.4% de sesamín y 0.3 – 0.6% de sesamolín, los cuales son los ligandos característicos de la semilla de sésamo y sirven como precursores para la síntesis de fuertes antioxidantes (Figura 6). La extracción de la semilla con acetona contiene sesamolínol, sesamol y ácido *trans*-ferúlico (Shahidi, 1997). También contiene dos diglucósidos de pinosinol y un triglucósido que exhiben fuertes actividades antioxidantes al ser hidrolizadas y liberar el pinosinol, el cual es soluble en lípidos y actúa como un potente antioxidante (Figura 7).

De acuerdo con Shahidi (1997), la extracción etanólica al 80% de la semilla de sésamo presentó ácido *trans*-cafeico, ácido *trans*-p-cumárico y ácido *trans*-ferúlico en orden decreciente de abundancia. Sin embargo, también se encuentran presentes los ácidos vinílico, siríngico, sinapínico y o-cumárico y se pueden extraer en 80% metanol.

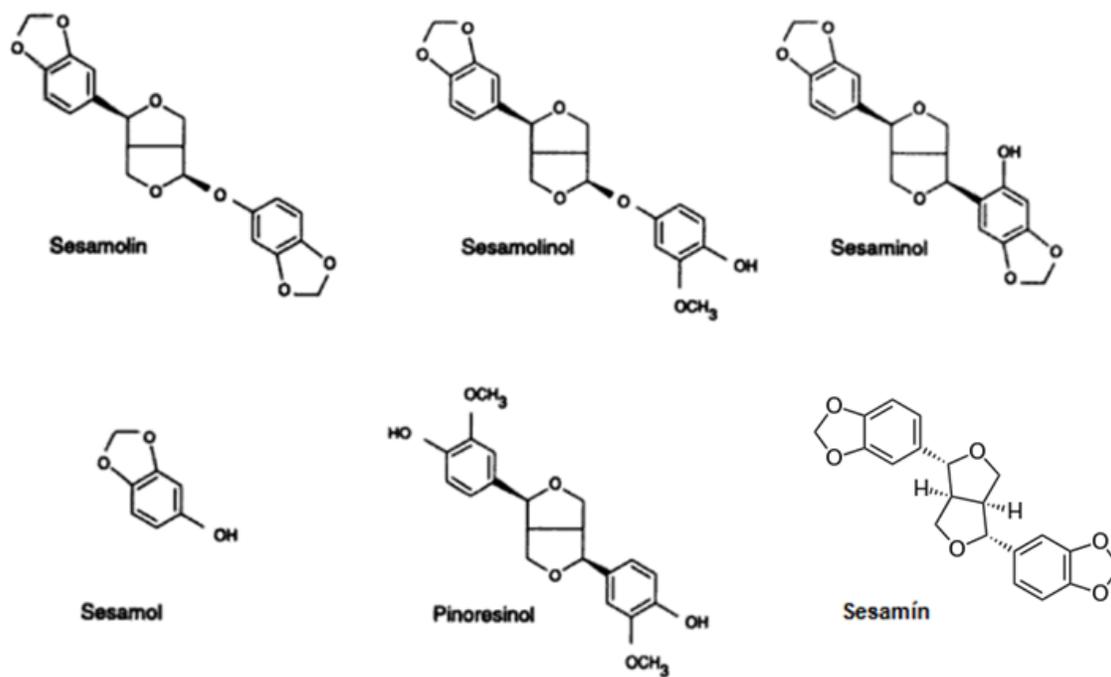
El sesaminol y sesamolol fueron encontrados en la semilla de sésamo y aceite. El sesaminol fue encontrado en grandes cantidades (0.5 – 1 mg/g) en aceite sin tostar purificado pero se encuentra presente en la semilla en menores cantidades. La diferencia se debe a un cambio químico que ocurre durante el proceso de refinación. En la etapa de blanqueado, ocurre un cambio drástico en sesamín, episesamín, sesamolín, sesamol y sesaminol (Shahidi, 1997).

Shahidi (1997) sugiere que el sesaminol es formado a partir de sesamolín bajo condiciones anhidridas en la presencia de ácido (etapa de blanqueamiento) a altas temperaturas. El sesamolín se descompone a sesamol para formar un ion oxonio y luego, el enlace carbono – carbono se forma. En la Figura 8 se pueden observar los cambios sugeridos que ocurren en el sesamolín durante la refinación del aceite de sésamo.

Se encontró también que el sesamol se destruye parcialmente al calentar a 180°C durante 4 horas, pero permanece (40.5%) intacto luego de calentar durante 6 horas a la misma temperatura. El grado de oscurecimiento y estabilidad oxidativa del aceite de semilla tostada aumentó a altas temperaturas. Sin embargo, la cantidad de sesamol que es producida por degradación del sesamolín durante el tostado de la semilla no aumentó considerablemente con la temperatura (Shahidi, 1997).

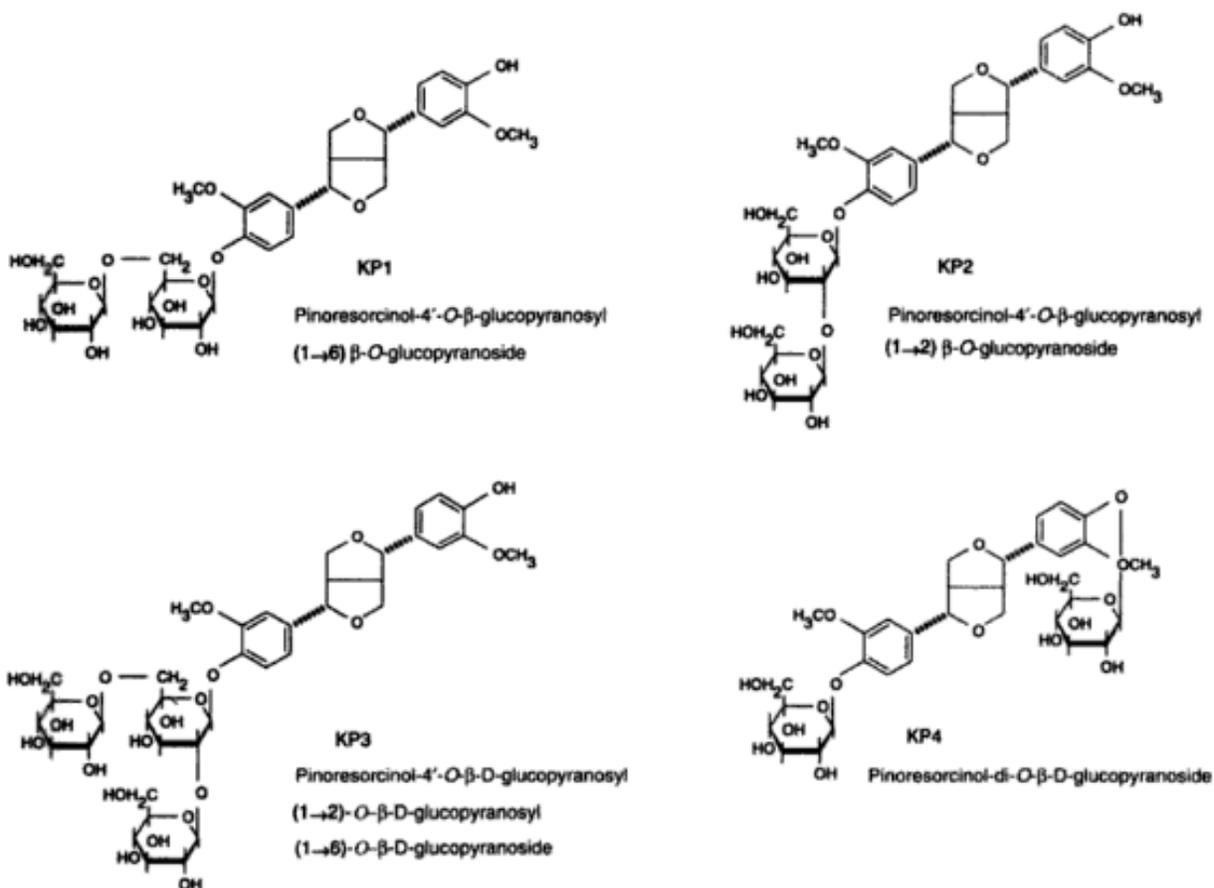
El aceite obtenido de semillas recubiertas y descortezadas de variedades egipcia (Giza 24) y sudanés (Gabaly Abiad) contienen sesamín en concentraciones de 649.1 y 610 mg/100 g de aceite y sesamolín en concentraciones de 183.3 y 168.1 mg/100 g de aceite, respectivamente. El único tocoferol detectado en el aceite fue el γ -Tocoferol. El calentamiento a 100°C por 20 minutos con vapor, 200°C por min con temperatura de tostado y 2450 MHz por 15 minutos con microondas reduce el contenido de sesamín de la semilla drásticamente, especialmente en la semilla descortezada (Shahidi, 1997).

Figura 6. Lignanos antioxidantes encontrados en la semilla y aceite de sésamo.



Fuente: Shahidi (1997).

Figura 7. Glucósidos de pinoresinol en la semilla de sésamo

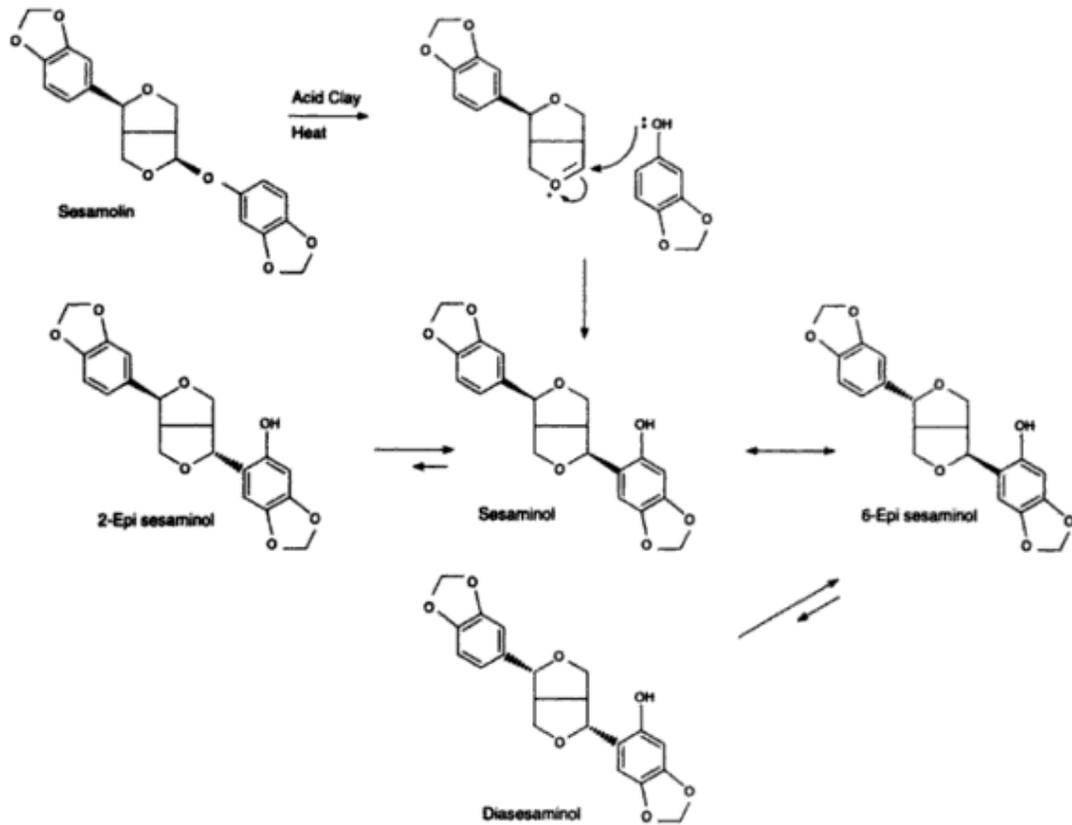


Fuente: Shahidi (1997).

La alta estabilidad del aceite de semillas de sésamo tostado no se ha atribuido a un único componente. El γ -Tocoferol, sesamol y productos de reacción de Maillard generados durante el proceso de tostado podrían ser los responsables de la excelente estabilidad oxidativa de este aceite (Shahidi, 1997).

Se ha determinado que la descomposición de tocoferol a 185°C durante 6 horas es menor cuando se encuentra presente el sesaminol. En consecuencia, se sugiere que existe un sinergismo entre sesaminol y γ -Tocoferol (Shahidi, 1997). Esto sugiere que el sesamol y sesaminol son buscadores de radicales libres.

Figura 8. Formación de sesaminol a partir de sesamolín durante el proceso de refinación de aceite de sésamo.



Fuente: Shahidi (1997).

- Presencia de ácidos grasos saturados, insaturados y poliinsaturados.

Los lípidos son moléculas orgánicas que se encuentran en la naturaleza, que tienen una solubilidad limitada en agua y que pueden aislarse de los organismos por extracción con disolventes orgánicos no polares (McMurry, 2012).

Desde el punto de vista químico, las grasas y aceites son triglicéridos (triésteres de glicerol con tres ácidos carboxílicos de cadena larga llamados ácidos grasos). Las grasas animales y los aceites vegetales son los lípidos que se encuentran distribuidos más ampliamente en la naturaleza, y los cuales contienen los ácidos grasos. Un ácido graso es una biomolécula formada por una cadena lineal de carbonos e hidrógenos, de diferente longitud o número de átomos de carbono unidos por un enlace covalente sencillo o doble, en cuyo extremo hay un grupo carboxilo (McMurry, 2012).

Se conocen aproximadamente 40 ácidos grasos en la naturaleza. El ácido palmítico (C16) y el ácido esteárico (C18), son los ácidos saturados más abundantes; el ácido oleico y linoleico (C18) son los más abundantes entre los insaturados. El ácido oleico es monoinsaturado, puesto que solo presenta un doble enlace, mientras que los ácidos linoleico, linolénico y araquidónico son ácidos grasos poliinsaturados, ya que presentan más de un doble enlace (Acosta, 2011).

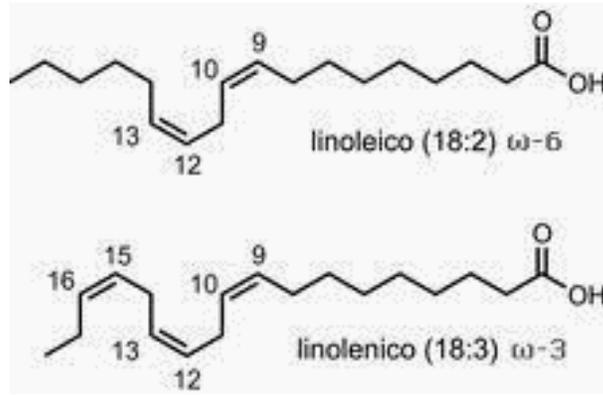
Un ácido graso saturado es una cadena lineal de átomos de carbono unidos por enlaces sencillos (sin dobles enlaces). Esto quiere decir que los enlaces de la cadena entre carbonos restantes están ocupados por hidrógenos. Se pueden clasificar de acuerdo con la longitud de la cadena: corta – menor de 6 carbonos –, media – entre 6 a 10 carbonos – y larga – igual a 12 carbonos o mayor (Velásquez, 2006). Una característica importante de este tipo de ácidos grasos es su capacidad de resistir a la oxidación, la luz y el calor.

Los ácidos grasos insaturados son cadenas largas de carbono con uno o más enlaces dobles. Se clasifican según el número de dobles enlaces y de hidrógenos en la cadena de carbonos, es decir, a menor número de hidrógenos menor saturación; contrario a los ácidos grasos saturados, que tienen los carbonos completamente saturados con hidrógenos (Velásquez, 2006).

A diferencia de los ácidos grasos saturados que tienen una estructura lineal, los insaturados tienen una unión flexible en los dobles enlaces. Pueden comprender ácidos grasos monoinsaturados – contienen un solo doble enlace – y los poliinsaturados – que contienen más de un doble enlace (Velásquez, 2006).

Entre los ácidos grasos poliinsaturados se encuentran los ácidos grasos linoleico – dos dobles enlaces – y el alfa-linolénico – tres dobles enlaces. Estos ácidos forman parte de dos familias importantes de los ácidos grasos omega-3 y omega-6. El ácido graso alfa-linolénico es el principal ácido graso de la familia omega-3, el ácido linoleico del grupo de los omega-6 y el oleico de los omega-9. Velásquez (2006) indica que tanto el alfa-linolénico como el linoleico son ácidos grasos esenciales que el organismo no sintetiza.

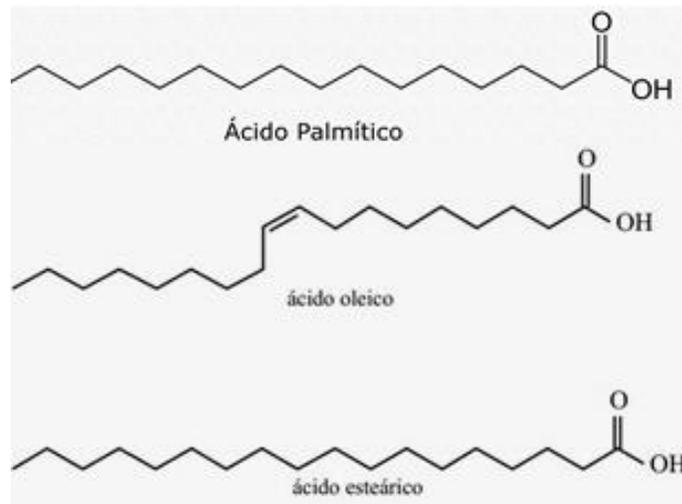
Figura 9. Estructura química (cadena de carbonos) del ácido linoleico y ácido linolénico.



Fuente: Universidad Autónoma de Madrid (s.f.).

La insuficiencia de estos ácidos grasos esenciales durante un periodo prologando produce descamación, prurito de la piel y retardo en cicatrización de heridas.

Figura 10. Estructura química (cadena de carbonos) del ácido palmítico, ácido oleico y ácido esteárico.



Fuente: Universidad Autónoma de Madrid (s.f.)

El perfil de ácidos grasos para el aceite de sésamo se obtiene a través del método de cromatografía de gases, el cual es el más utilizado para determinar la proporción y el contenido de ácidos grasos, saturados e insaturados de la muestra de aceite (Acosta, 2011). Los ácidos grasos presentes en el aceite de sésamo son los siguientes:

Tabla 7. Composición de ácidos grasos presentes en el aceite de sésamo.

Ácidos Grasos		Rango
Palmítico	C 16:0	7.9 – 12 %
Palmitoleico	C 16:1	0.1 – 0.2 %
Esteárico	C 18:0	4.8 – 6.1 %
Oleico	C 18:1	35.9 – 42.3 %
Linoleico	C 18:2	41.5 – 47.9 %
Linolénico	C 18:3	0.3 – 0.4 %
Eicosenico	C 20:1	Traza – 0.3 %

Fuente: Norma para aceites vegetales CODEX STAN 210-1999.

De acuerdo a la Tabla 7, los principales ácidos grasos encontrados en el aceite de sésamo son insaturados en el cual sobresalen el ácido oleico y linoleico correspondientes a omega-9 y omega-6, respectivamente. La presencia de ácidos grasos monoinsaturados es debida a mecanismos propios de la planta para fijar dobles enlaces y la producción de ácidos grasos poli-insaturados se consigue a través del retículo endoplasmático. La biosíntesis de ácidos grasos también puede ser afectada por factores ambientales de pre-cosecha como riego, luz, temperatura, tipo de suelo, daños físicos y ataque de plagas (Acosta, 2011).

- Propiedades físicas

Al evaluar la calidad de los aceites se utilizan los resultados de densidad, humedad e índice de refracción ya que permiten identificar fácilmente si el producto se encuentra en estado adecuado para las pruebas posteriores o si deben ser rechazados por calidad inapropiada.

- Densidad. Esta propiedad es de gran utilidad para transformaciones masa – volumen y es indispensable para los cálculos involucrados en el diseño de equipos de extracción de aceite. Sin embargo, no es un parámetro directo de la calidad del mismo (Acosta, 2011).
- Humedad. Es la medida de cantidad de agua contenida en el aceite, la cual representa un factor negativo para el aceite ante la posibilidad de formar enlaces fisicoquímicos favorables para las reacciones de degradación. El método más utilizado sugiere la separación por evaporación del agua contenida en la muestra tratándola a temperatura entre los 50°C y 80°C, dependiendo de la presión (Acosta, 2011).
- Índice de refracción. Es la razón de los senos de los ángulos formados por el rayo de luz que pasa de un medio a otro y el refractado respecto a un plano perpendicular a la interfase. Es una propiedad muy utilizada para comprobar la calidad de aceites y grasas ya que permite la detección y cuantificación de sólidos disueltos, presencia de agua u otros líquidos (Skoog, 2001).

- Propiedades químicas

Los métodos químicos se basan en la determinación de la cantidad equivalente de compuesto necesaria para reaccionar con los grupos funcionales de los aceites. Dichos métodos son característicos de todos los aceites y grasas.

- Índice de peróxidos. Se define como el número de mili-equivalentes de oxígeno por kilogramo de muestra de aceite extraído. Es una medida del oxígeno enlazado a las grasas en forma de peróxido. El índice de peróxidos proporciona información acerca del grado de oxidación de la muestra, siendo importante en el análisis fisicoquímico de cualquier grasa ya que permite hacer estimaciones de hasta qué punto la grasa ha sido alterada. Se debe tener en cuenta que si la oxidación es muy avanzada, se produce un aumento progresivo de la degradación de los peróxidos provocando que el índice descienda. Metodológicamente se expresa como la cantidad de oxígeno activo contenida en 1 kilogramo de aceite (Acosta, 2011).
- Índice de acidez. El índice de acidez se define como los miligramos de NaOH o KOH necesarios para neutralizar los ácidos grasos libres presentes en 1 gramo de aceite o grasa, y constituye una medida del grado de hidrólisis de una grasa. Este resultado es indispensable como prueba de pureza, ya que permite conocer

el estado de la materia prima y las reacciones de degradación que se pueden producir a lo largo del tratamiento/o almacenamiento del aceite. Generalmente se expresa en porcentaje de ácidos grasos libres o en porcentaje de ácido graso más abundante en el aceite. El ácido graso teóricamente más abundante en el aceite de sésamo es el oleico y linoleico (Acosta, 2011).

- Índice de yodo. El índice de yodo es una expresión del grado de insaturación de los componentes de una grasa. El índice será tanto mayor cuanto mayor sea el número de dobles enlaces por unidad de grasa. Esta prueba evalúa la identidad y la pureza de las grasas. Esta prueba identifica no solo los ácidos grasos insaturados sino también las sustancias acompañantes insaturadas – como los esteroides. Es importante mencionar que el yodo no reacciona con los dobles enlaces, pero se utilizan halógenos mixtos, cuya adición depende de la configuración de los compuestos insaturados y las condiciones externas (Acosta, 2011).
- Índice de saponificación. Es una medida de los ácidos grasos libres y combinados que existen en las grasas y es directamente proporcional a la masa molecular media. No es una medida de la calidad ni de la identidad del aceite. No es afectado con la polimerización del aceite pero se incrementa rápidamente con la oxidación. Por esta razón es considerado únicamente como medida de pureza, pues un alto índice de saponificación se refiere a un alto nivel de oxidación del aceite. El índice de saponificación en términos químicos representa la cantidad de hidróxido de sodio o de potasio necesaria para la saponificación de 1 gramo de grasa (Acosta, 2011).

Tabla 8. Requisitos de propiedades fisicoquímicas del aceite de sésamo establecidos por el Códex Stan 210-1999.

Propiedad fisicoquímica	Requisito fisicoquímico
Densidad (g/mL)	0.915 – 0.924
Humedad (% m/m)	≤ 0.2
Índice de refracción	1.465 – 1.469
Índice de acidez (mg KOH/g aceite)	≤ 0.6
Índice de saponificación (mg KOH/ g aceite)	186 – 195
Índice de peróxido (mEq O ₂ /kg)	≤ 10
Índice de yodo (g I ₂ / 10 g aceite)	104 – 120
Impurezas insolubles (% m/m)	≤ 0.05
Materia insaponificable (g/kg)	≤ 20

Fuente: Norma para aceites vegetales CODEX STAN 210-1999.

- Cromatografía

La cromatografía es una técnica de separación donde existen dos fases (sólida, líquida o gaseosa): una móvil y otra estacionaria. En un cromatógrafo, la muestra se introduce y sus componentes se separan invirtiendo un tiempo diferente en recorrer cada una de las fases. Es decir, si un componente está la mayor parte del tiempo en la fase móvil se dice que se mueve rápidamente, mientras que, si se encuentra la mayor parte del tiempo en la fase estacionaria, el componente queda retenido y su salida es más lenta.

- Cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas (GC-MS)

Un espectrómetro de masas es capaz de identificar cualquier sustancia pura, pero es incapaz de identificar los componentes individuales de una mezcla sin separarlos previamente. Esto se debe a la extrema complejidad del espectro obtenido por superposición de los espectros particulares de cada componente. La cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) es una combinación de técnicas que permite la separación e identificación individual de los componentes de una mezcla.

En una columna cromatográfica, los componentes de una mezcla inyectada se separan y pasan inmediatamente al espectrómetro de masas, donde son registrados en forma de pico cromatográfico y se compara su peso atómico en una base de datos de espectros de masas. Además, el espectrómetro tiene la capacidad de registrar la corriente iónica generada, cuya representación gráfica constituye el cromatograma donde se forma, para cada compuesto, un pico gaussiano de área proporcional a la concentración del mismo.

- Comparación con otros aceites vegetales.

Los aceites de mayor calidad con altas propiedades nutricionales para el organismo son los aceites extra vírgenes (extraídos o prensados en frío). Según Acosta (2011), estos aceites conservan sus altas propiedades medicinales y alimentarias. Sin embargo, es importante tomar en cuenta el lugar de donde provienen los aceites ya que el cuidado, calidad del suelo y otros factores intervienen en las propiedades. Dependiendo de las diferentes formas de extracción de las semillas o frutos se puede diferenciar la calidad de los aceites vegetales.

- Aceite extra virgen: es el aceite que se obtiene por presión del fruto o semilla (una sola presión). Es un aceite de alta calidad, rico en nutrientes, aroma y sabor natural y con grandes beneficios para la salud (Acosta, 2011).
- Aceite virgen: es el aceite que se obtiene en la segunda extracción y se puede considerar de mediana calidad (Acosta, 2011).

- Aceite puro: es el aceite que se obtiene después de la segunda extracción utilizando filtros y otros procesos. Es de los aceites de más baja calidad pero representa una alternativa saludable respecto a los aceites procesados comercialmente (Acosta, 2011).
- Aceite ligero: se extrae por medio de solventes y es el aceite de más baja calidad. El uso de fuertes solventes destruye las propiedades originales del producto perdiendo sus beneficios y aportes nutricionales (Acosta, 2011).

A continuación se presenta una tabla comparativa de los tipos de ácidos grasos.

Tabla 9. Comparación de contenido de ácidos grasos de otros aceites vegetales.

Nombre del aceite	Grasa mono-insaturada (g)	Grasa poli-insaturada (g)	Grasa saturada (g)
Aceite de sésamo	39.70	41.70	14.20
Aceite de algodón	17.80	51.90	25.90
Aceite de coco	5.80	1.80	86.50
Aceite de girasol	45.40	40.10	10.10
Aceite de maíz	27.58	54.68	12.95
Aceite de oliva	72.96	10.52	13.81
Aceite de soya	23.30	57.90	14.40
Aceite de palma (pulpa)	37.00	9.30	49.30
Aceite de palma (fruto completo)	11.40	1.60	81.50

Fuente: INCAP (2012).

De la Tabla 9 se observa que el aceite de sésamo figura entre los primeros tres aceites con mayor cantidad de grasa monoinsaturada después del aceite de oliva y girasol; y la grasa saturada es mucho menor que la del aceite de palma, coco y algodón, lo cual demuestra alta calidad para la salud.

1.2.4. Técnicas de extracción del aceite

A lo largo de la historia han existido diferentes técnicas en la extracción de aceites vegetales. Las técnicas dependen el uso final que se le da al producto. Acosta (2011) menciona que la extracción con solventes y fluidos supercríticos es utilizado en la industria cosmética, mientras que los aceites que se obtienen por métodos físico-mecánicos son utilizados para la industria de alimentos. Otros métodos innovadores incluyen extracción con aplicación de enzimas combinado con métodos mecánicos que aumentan el rendimiento de la extracción.

- Lixiviación (Método Soxhlet)

La lixiviación es un proceso químico utilizado para extraer un componente de un material sólido hacia un líquido completamente miscible por solubilidad. El método Soxhlet utiliza este concepto basado en una extracción sólido – líquido que permite la determinación de materia grasa o aceite de un material sólido. Generalmente, el aceite obtenido con este método es de uso cosmético y farmacéutico (Acosta, 2011).

La extracción con solvente se considera una operación de transferencia de masa, en donde el solvente penetra en el sólido y el aceite contenido en él se hace miscible. Una característica importante del método es que la extracción se realizará más rápido cuando el disolvente contenga menos cantidad de aceite, es decir, la cantidad que se puede extraer de aceite será mayor cuanto más grande es la diferencia de concentraciones de masa (Valderrama, 1994). Este es un método muy eficaz para la extracción de aceites vegetales y puede reducir el contenido de aceite de las semillas oleaginosas hasta menos de un 1% (Valderrama, 1994).

Previo a la extracción se debe realizar una limpieza y trituración de la materia vegetal con el fin de abrir las células y facilitar la salida del aceite (Valderrama, 1994). Treybal (1968) indica que en algunos casos, las partículas de material soluble se encuentran rodeadas de una matriz de materia insoluble. El disolvente se debe difundir en la masa y la solución resultante se debe difundir hacia el exterior antes de lograr una separación. Por lo tanto, la trituración y molienda de los sólidos acelera la acción de lixiviación porque las porciones solubles son más accesibles al disolvente. Sin embargo, el derrumbe del esqueleto insoluble que permanece durante la lixiviación puede presentar problemas.

La temperatura del proceso de lixiviación debe ser lo más elevada posible para producir una mayor solubilidad del soluto en el disolvente y, en consecuencia, concentraciones finales mayores en el licor de lixiviación. A temperaturas elevadas la viscosidad del líquido es menor y las difusividades son mayores, lo cual incrementa la rapidez de lixiviación (Treybal, 1968).

Las cuatro unidades principales del extractor Soxhlet son: cámara de extracción, balón de fondo plano, condensador y dedal o cartucho de papel filtro. El extractor también necesita mangueras y plancha de calentamiento.

En una extracción Soxhlet se coloca la materia vegetal triturada en el detal o cartucho, el cual es depositado en la cámara de extracción y conectado al balón que contiene el solvente. Al alcanzar el punto de ebullición del solvente, éste formará vapor que asciende por la pared interna del extractor. El condensador es conectado en la parte superior de la unidad de extracción, con entrada y salida de agua fresca para mantener una temperatura inferior a 25°C. El vapor de solvente que llega al condensador cambia de estado gaseoso a líquido por el choque térmico y cae sobre la muestra de materia vegetal en forma de gotas. Al transcurrir el tiempo, la cámara de extracción se llena de solvente condensado disolviendo la grasa hasta alcanzar la altura del sifón del extractor; luego la mezcla de solvente y extracto vuelve al matraz para empezar de nuevo el ciclo de extracción. Debido a que la grasa o aceite tiene un punto de ebullición más alto que el solvente, éste se va acumulando en el fondo del balón.

El extractor Soxhlet lleva a cabo un sinnúmero de extracciones de manera automática, con el mismo solvente que se evapora y condensa llegando siempre con un alto porcentaje de pureza a la materia vegetal. La cantidad de solvente en el extractor debe ser tal que el balón no quede seco ya que la muestra se puede secar y quemar, o se puede producir una explosión de vapores al caer el líquido de la sifonada sobre el vidrio recalentado con el consiguiente riesgo de accidente.

Después de la extracción, se debe separar el disolvente del aceite mediante destilación o algún otro método mecánico. Luego, el aceite crudo se filtra con productos como carbón de leña, arcilla o papel para remover impurezas como fragmentos de semilla, mejorando la calidad y olor del aceite (Cervantes, 2012).

El proceso de extracción de aceites con solventes requiere de otras etapas como la refinación, blanqueo y desodorización para eliminar impurezas insolubles y solubles presentes (Acosta, 2011).

La refinación consiste en el desgomado del aceite, lo que permite retirar el material no graso del aceite – como fosfolípidos, gomas, mucílagos y fragmentos de proteína que afectan la estabilidad del aceite frente a la oxidación y tiene una influencia negativa sobre los siguientes procesos de refinación (Acosta, 2011).

El blanqueo es un tratamiento utilizado en aceites para eliminar las sustancias que le dan color y otros productos de oxidación que contenga el aceite, así como restos de fosfolípidos presentes (Zavala y Castillo, 2008).

La desodorización consiste en pasar el aceite refinado sobre bandejas calientes en un recipiente evacuado. El aceite es vertido de una bandeja a la siguiente, perdiendo su olor y algo de color (Cervantes, 2012).

Finalmente, en el proceso de winterización se enfría el aceite a una temperatura específica para formar impurezas en forma de cristales y filtrarlos para eliminarlos (Cervantes, 2012).

○ Selección de solvente para lixiviación

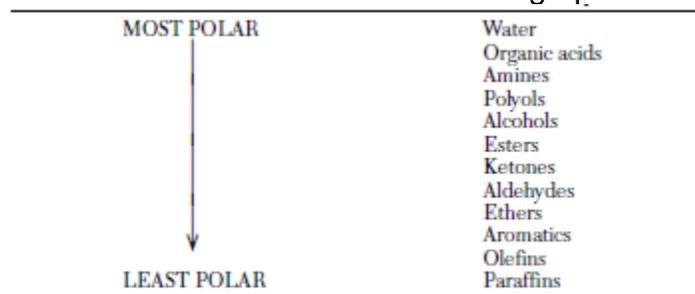
Cervantes (2012) extrajo aceite de ajonjolí utilizando hexano de uso técnico como solvente. El proceso inició con la carga del cartucho del extractor Soxhlet con 5 gramos de ajonjolí molido. Se utilizaron 300 mL de hexano y se inició la extracción durante 6 horas. Finalmente se dejó enfriar, y se secó en estufa de 100°C a 130°C hasta obtener un peso constante.

Para la selección del solvente, se deben tomar en cuenta las siguientes características (Coulson y Richardson, 2002):

1. Selectividad. Se define como la medida de extracción de una sustancia dada en relación con las demás, para alcanzar una mayor purificación del extracto.
2. Capacidad de extracción. La capacidad para extraer el soluto es una de las principales condiciones que debe poseer un solvente y se mide por el coeficiente de extracción y la capacidad de saturación.
3. Recuperabilidad. Es necesario separar el soluto del solvente después de la extracción para evitar la contaminación del producto y utilizarlo de nuevo.
4. Estabilidad. El solvente debe ser altamente estable para resistir muchos ciclos de extracción-reextracción sin necesidad de tratamiento para eliminar los productos de degradación.
5. Densidad, tensión interfacial y viscosidad. Es deseable que el solvente tenga alta diferencia de densidades entre las fases, tensión interfacial apropiada para permitir la separación rápida sin impedir la dispersión adecuada, y de baja viscosidad para favorecer la reextracción.
6. Reactividad química. El solvente debe ser estable e inerte químicamente frente a los demás componentes del sistema.
7. Inflamabilidad y toxicidad. El grado de inflamabilidad y toxicidad debe ser bajo para evitar problemas de seguridad e higiene.
8. Costo. El bajo costo y la disponibilidad en cantidades suficientes son características deseables de solvente.

La polaridad del componente a extraer también es importante para seleccionar el solvente. Los aceites de semillas oleaginosas están compuestos, en gran parte, por ésteres de glicerol, los cuales son apolares; y el hexano es una parafina (apolar).

Figura 11. Polaridad relativa de diferentes grupos funcionales



Fuente: Perry y Green (2008)

La Directiva 2009/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo presenta una aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre los disolventes de extracción utilizados en la fabricación de productos alimenticios y de sus ingredientes.

En esta norma se establece en el Anexo I Parte II los disolventes de extracción cuya utilización está autorizada para el tratamiento de materias primas, de productos alimenticios o de componentes de productos alimenticios o de sus ingredientes:

Figura 12. Disolventes autorizados para el tratamiento de materias primas.

Nombre	Condiciones de utilización (Descripción sucinta de la extracción)	Residuos máximos en los productos alimenticios o en los ingredientes extraídos
Hexano ⁽¹⁾	Producción o fraccionamiento de grasas y de aceites y producción de manteca de cacao	1 mg/kg en la grasa, en el aceite o en la manteca de cacao
	Preparación de productos a base de proteínas desgrasadas y harinas desgrasadas	10 mg/kg en los productos alimenticios que contengan el producto a base de proteínas desgrasadas y en las harinas desgrasadas
		30 mg/kg en los productos desgrasados de soja tal como se venden al consumidor final
Preparación de semillas de cereales desgrasados	5 mg/kg en las semillas de cereales desgrasados	
Acetato de metilo	Descafeinado o supresión de los elementos irritantes y amargos del café y del té	20 mg/kg en el café o en el té
	Producción de azúcar a partir de melazas	1 mg/kg en el azúcar
Metiletilcetona ⁽²⁾	Fraccionamiento de grasas y aceites	5 mg/kg en la grasa o en el aceite
	Descafeinado o supresión de los elementos irritantes y amargos del café y del té	20 mg/kg en el café o en el té
Diclorometano	Descafeinado o supresión de los elementos irritantes y amargos del café y del té	2 mg/kg en el café torrefacto y 5 mg/kg en el té
Metanol	Todos los usos	10 mg/kg
Propanol-2	Todos los usos	10 mg/kg

⁽¹⁾ Hexano: producto comercial compuesto esencialmente de hidrocarburos acíclicos saturados que contiene 6 átomos de carbono y se destila entre 64 °C y 70 °C. Se prohíbe el empleo conjunto del hexano y de la metiletilcetona.

⁽²⁾ El nivel de n-hexano en este disolvente no deberá exceder 50 mg/kg. Se prohíbe el empleo conjunto del hexano y de la metiletilcetona.

Fuente: Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado (BOE) (2009).

- Tipos de uniones entre las moléculas de solventes y solutos

Las fuerzas a través de las cuales las moléculas se mantienen unidas se llaman intermoleculares. A diferencia de las fuerzas intramoleculares que forman enlaces (covalentes, iónicos y metálicos), las fuerzas intermoleculares son mucho más débiles y, en vez de formar enlaces, únicamente generan fuerzas de atracción (Castro, 2004).

Entre las fuerzas intermoleculares se encuentran los puentes de hidrógeno, fuerzas de dispersión o de London y las interacciones entre dipolos (fuerzas polares). Las primeras son características de las moléculas compuestas de hidrógeno, unido a átomos pequeños con alta electronegatividad como el oxígeno, nitrógeno, flúor y cloro (Castro, 2004).

Las fuerzas de dispersión o de London son el resultado de la formación de dipolos temporales que se producen por el movimiento de nubes electrónicas (Castro, 2004).

Y finalmente, las interacciones dipolo-dipolo o fuerzas polares existen entre moléculas con dipolos permanentes (fuerzas de Keesom) o en moléculas en que un dipolo permanente induce dipolos en moléculas vecinas (fuerzas de Debye) (Castro, 2004).

- Centrifugación

La centrifugación se realiza en equipos que utilizan la fuerza centrífuga y la diferencia de densidades entre el agua y el aceite para la separación del aceite. La ventaja de este método es que se realiza a temperaturas menores de 45°C, lo cual permite que no se modifiquen las propiedades nutricionales del aceite (Acosta, 2011).

El fundamento de la centrifugación se basa en la diferencia de densidades en donde los componentes con mayor densidad que la del medio circundante tienden a sedimentar; cuando su densidad es menor las partículas flotan. Mientras mayor sea la diferencia de densidades más fácil es la separación. Para componentes con diferencia de densidades pequeña se utiliza la ultracentrifugación (Koolman y Röhm, 2004).

Al hacer girar la mezcla a gran velocidad en torno a un punto central y a una distancia radial constante, ésta estará sujeta a la acción de la fuerza. El objeto se acelera incluso cuando la magnitud escalar de su velocidad es constante. Dicha aceleración se debe a la fuerza centrípeta que actúa en la dirección hacia el centro de rotación y es la responsable de la sedimentación de las partículas sólidas pesadas a través de una capa de líquido (Perry, 2008).

- Extracción por prensado en frío.

De acuerdo con Acosta (2011), este método es originario de Europa en 1975; consiste en la separación de líquido en un sistema de dos fases (sólido – líquido) a través de la compresión en condiciones que permitan que el líquido escape, reteniendo el sólido entre las superficies de compresión. La separación final del aceite de la fase acuosa se hace por centrifugación.

El proceso inicia con la maceración y batido de la pulpa hasta lograr una consistencia homogénea. Luego, las prensas hidráulicas ejercen la presión necesaria para la extracción y, generalmente, se hace pasar a través de una serie de centrífugas. Algunos procesos incluyen métodos combinados con enzimas oleosas para mejorar la extracción del aceite (Acosta, 2011).

El prensado también suele utilizarse como un procedimiento previo a la extracción con solventes, para facilitar la acción y disminuir la cantidad necesaria del mismo (Acosta, 2011).

- Extracción con fluidos supercríticos.

Un fluido supercrítico es un gas o líquido en condiciones de presión y temperatura a las de su punto crítico. El punto crítico es aquél en el que las fases líquida y vapor se vuelven indistintas. En estas condiciones, el fluido tiene propiedades típicas que lo hacen especialmente indicado como solvente de extracción (Esquível y Gil, 1993).

Las principales características de un fluido supercrítico son:

- Posee densidad próxima a la del líquido, favoreciendo la interacción entre las moléculas de solvente y soluto.
- Posee viscosidades próximas a las del gas, aumentando su poder de difusión.
- Posee coeficiente de difusión próximo a los del líquido, lo que facilita el fenómeno de transporte.
- La separación de solvente se puede realizar con variaciones de presión y/o temperatura.
- Es posible controlar el poder solvente haciendo variar la densidad del fluido con pequeñas variaciones de presión y temperatura.

Los fluidos supercríticos más utilizados como solventes de extracción son el dióxido de carbono, hexano, agua, propano, amoníaco, óxido nitroso, tolueno y etileno (Esquível y Gil, 1993). El solvente más utilizado es el dióxido de carbono debido a sus bajos parámetros críticos; su baja temperatura crítica permite la extracción con productos volátiles sin alteración química, es inerte y no tóxico, no corrosivo y barato.

Esta tecnología tiene su principal aplicación en la extracción de aceites de semillas o frutos oleaginosos como el aceite de soya, colza, maíz y aguacate (Esquível y Gil, 1993).

- Extracción enzimática con medios físico-mecánicos.

Las enzimas son catalizadores eficaces y potentes que actúan en pequeñas cantidades y se recuperan indefinidamente ya que no modifican el sentido de los equilibrios químicos, sino solo aceleran su consecución. Es importante mencionar que no llevan a cabo reacciones que sean enérgicamente desfavorables y poseen elevada especificidad al actuar. (Acosta, 2011).

En el proceso de extracción de aceites de semillas o frutos oleaginosos, las enzimas actúan como biocatalizadores. Generalmente, se utilizan enzimas hidrolíticas para carbohidratos ya que su acción en la extracción del aceite es hidrolizar la estructura correspondiente al depósito de lípidos que atrapan el aceite. Esto permite liberar el aceite extra virgen, es decir no altera las propiedades nutricionales ni la calidad del aceite.

1.2.5. Industria de cosméticos

El Real Decreto 1599/1997, de 17 de octubre, establece la definición de cosmético como “toda sustancia o preparado destinado a ser puesto en contacto con las diversas partes superficiales del cuerpo humano (epidermis, sistema piloso y capilar, uñas, labios y órganos genitales externos o con los dientes y las mucosas bucales, con el fin exclusivo o principal de limpiarlos, perfumarlos, modificar su aspecto y/o corregir los olores corporal y/o protegerlos o mantenerlos en buen estado” (Badía, 2012).

El término “cosmética” fue creado en el siglo XVI derivado del griego *kosmetikos*, que significa relativo a la ornamentación y cuya raíz es *kosmos*, orden. Es una disciplina de las ciencias de la salud que tiene como objetivo mejorar el aspecto físico de las personas, como la belleza de la piel y del cabello (Badía, 2012).

La utilización de productos cosméticos se remota a la antigüedad y según la época han existido diferentes tendencias, desde las más desapercibidas hasta las más llamativas. Actualmente, la industria de cosméticos ha tenido gran éxito y evolución desde el punto de vista científico (en cuanto a las sustancias utilizadas) y técnico (en cuanto a los procesos de fabricación, formas de presentación y absorción). Por esta razón, todos los países occidentales han establecido leyes que garanticen la inocuidad de este tipo de productos (Badía, 2012).

De acuerdo con el Real Decreto 1599/1997, se consideran productos cosméticos las cremas, emulsiones, lociones, geles y aceites para la piel, jabones y productos para el baño o ducha, perfumes, aguas de tocador, aguas de colonia, desodorantes, productos capilares de todo tipo, productos para el afeitado, maquillaje y desmaquillaje, productos para el cuidado bucal y dental, cuidado de las uñas y productos solares (Badía, 2012).

También se establece que “quedan excluidos del presente Real Decreto aquellos preparados destinados a la prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades, así como los destinados a ser ingeridos, inhalados, inyectados o implantados en el cuerpo humano.” Los preparados destinados a la protección frente a la contaminación o infección por microorganismos, hongos o parásitos tampoco se consideran cosméticos (Badía, 2012).

1.2.6. Elementos de un cosmético

El cosmético es un preparado constituido de elementos internos y externos (Sabater, 2012). Los elementos internos son los ingredientes que constituyen el cosmético, es decir, el cosmético propiamente dicho y el que realizará la función para la que se ha fabricado. Los elementos externos son todos los demás elementos como envase, cartonaje, etiquetado, prospecto y publicidad los cuales son importantes para la comercialización del cosmético.

- Elementos internos de los cosméticos

Los productos cosméticos se realizan siguiendo una fórmula en la que intervienen cuatro componentes: el principio activo, el excipiente o vehículo, correctores y aditivos (conservantes, colorantes y perfumes).

- Principios activos

Son los ingredientes responsables de realizar la función a la que está destinado el cosmético. Un mismo cosmético puede incluir uno o varios activos (Sabater, 2012). Según su origen, se pueden clasificar en animales – como lanolina y cera de abeja –, vegetales – aceite de coco, jojoba, entre otros. –, minerales – como el óxido de hierro –, y sintéticos – siliconas y polímeros vinílicos.

Los activos cosméticos se pueden clasificar por la función que realizan:

Tabla 10. Tipos de activos según su función.

Tipos	Función	Principios activos
Emolientes	Suavizar y reblandecer	Grasas y aceites
Filmógenos	Proporcionar una película que se fija a una superficie	Ésteres celulósicos
Depilatorios	Eliminar el vello	Ceras, tioglicolatos, sulfuros.
Bactericidas	Eliminar bacterias	Triclosán
Detergentes	Eliminar la suciedad	Lauril sulfato sódico, lauril éter sulfato sódico
Cubrientes	Camuflar las pequeñas imperfecciones	Dióxido de titanio
Epitelizantes	Activar la regeneración de la epidermis	Alantoína
Filtros solares	Proteger de la radiación solar	Benzofenonas
Esencias	Producir sensaciones olfativas agradables	Rosa, jazmín, lavanda, limoneno
Suavizantes	Proporcionar suavidad y tersura a la piel o al pelo	Aceites y grasas
Queratólíticos	Eliminar las células superficiales de la capa córnea	Ácido glicólico, sulfuro de selenio

Fuente: Sabater (2012).

- Excipiente o vehículo

El excipiente se define como la sustancia o conjunto de sustancias donde van incorporadas los demás componentes del cosmético. Ocupan la mayor parte de él y le dan forma cosmética. Algunos ejemplos son: en un maquillaje fluido el excipiente sería el agua; en un maquillaje en emulsión, el excipiente sería la mezcla de aceite y agua (Badía, 2012).

Se le llama también vehículo, ya que transporta los demás componentes del cosmético. Su importancia reside en que debe transportar el principio activo a través de la piel y liberarlo para hacer su efecto (Sabater, 2012).

La elección del excipiente dependerá de la naturaleza del principio activo y, específicamente, en la solubilidad o capacidad para ser mezclados. Del excipiente depende la penetración del cosmético en la piel, la liberación del principio activo, la permanencia y la forma de presentación de cosmético.

Según su forma física, los excipientes pueden ser:

Tabla 11. Clasificación de los excipientes según su forma física

Excipientes		
Sólidos	Son polvos, materiales céreos y pastillas que son sólidos a temperatura ambiente. Por ejemplo: polvos de talco, polvo para maquillar, barras de labios y pastillas de jabón.	
Líquidos	Los excipientes son líquidos en los que se disuelven otros líquidos o ingredientes sólidos, formando disoluciones estables. Por ejemplo: tónicos, aguas de colonia y aceites para masajes.	
Semifluidos	Las leches y cremas están formadas por ingredientes líquidos no miscibles como el agua y las grasas.	

Fuente: Sabater (2012).

- Características de los excipientes

Para que un excipiente pueda ser utilizado en la elaboración de cosméticos debe ser un buen vehículo portador de los principios activos, liberar el principio activo sin dificultad, debe ser estable ante agentes internos o externos, debe ser inofensivo para la piel (que no sean tóxicos, alergénicos ni irritantes), deben tener un pH ligeramente ácido para que se aproxime al de la piel y debe permitir la conservación del cosmético hasta su fecha de caducidad.

Los excipientes determinan muchas de las características del cosmético en sí. Algunas de estas características son la capacidad de penetración de los principios activos en la piel (ésta dependerá de las materias primas utilizadas en el excipiente), la naturaleza del principio activo ya que si es hidrosoluble se podrá disolver en agua y si es liposoluble se podrá disolver en sustancias grasas o disolventes orgánicos, y finalmente, la presentación de un cosmético depende del tipo de excipiente (Sabater, 2012).

Los principios activos de los cosméticos de acción superficial no deben penetrar la piel. En consecuencia, se utilizan vehículos que tengan acción superficial como en el caso de los protectores solares que únicamente debe impedir la penetración de la radiación. En los cosméticos donde el principio activo debe ejercer una acción más profunda en la piel se utilizan los ácidos grasos linoleico y linolénico (Sabater, 2012).

- Correctores

Son un grupo de sustancias que mejoran las características del cosmético en cuanto a las propiedades de sus componentes, su aplicación y la calidad del mismo. Las sustancias correctoras tienen la función de proteger las propiedades cosméticas y mantener su estabilidad (Sabater, 2012).

Entre los correctores más utilizados están los siguientes (Sabater, 2012):

- Co-solventes: son productos hidrosolubles que facilitan la disolución de algunos productos activos como el etanol.
- Secuestrantes: capturan iones metálicos del agua impidiendo que se modifiquen las propiedades de algunos componentes del cosmético como el EDTA (ácido etilén diamino tetracético).
- Solubilizantes: son compuestos que provocan la solubilización de las moléculas lipófilas en agua como los tensoactivos que solubilizan esencias.
- Plastificantes: son productos químicos que se añaden a los excipientes para disminuir su rigidez y para que los cosméticos no sean quebradizos. Ejemplo: ftalato de dibutilo, que impide que la película de las lacas de uña se rompa.

- Modificadores reológicos o viscosizantes: son ingredientes que aumentan la consistencia del cosmético o estabilizan algunos tipos de excipientes. También se denominan espesantes. Ejemplos: polímeros como el carbopol, derivados de la celulosa como la metilcelulosa, silicatos como la bentonita, los alginatos y el agar-agar.
- Reguladores de pH: son sustancias químicas cuyo propósito es mantener el pH del cosmético próximo a la piel. Ejemplo: álcalis cuando el pH es muy ácido y ácidos cuando el pH es muy alcalino.

- Aditivos

Son productos que se añaden al cosmético para evitar su deterioro y mejorar su presentación. Pueden ser conservantes, colorantes y perfumes (Sabater, 2012).

- Conservantes

Son ingredientes que tienen como función mantener inalterables los productos cosméticos (Sabater, 2012). Existen dos tipos principales de conservantes:

- Antioxidantes: los antioxidantes son compuestos sensibles a la oxidación, por lo que se oxidan antes que las grasas, permitiendo que estas mantengan sus propiedades organolépticas (Sabater, 2012). Los antioxidantes más utilizados son el butil-hidroxi-tolueno (BHT), butil-hidroxi-anisol (BHA), acetato de alfa-tocoferol (vitamina E), ácido ascórbico (vitamina C) y el meta bisulfito de sodio.
- Antimicrobianos: son compuestos que impiden el crecimiento de microorganismos ya que la proliferación puede deteriorar cualquier cosmético y deja de ser apto para el consumo. Los más utilizados son los ésteres del ácido para-hidroxibenzoico, que se conocen como parabenos, como el p-hidroxibenzoato de metilo o metil-parabeno, el imidazolinil-urea, Quaternium 15 (Dowicil), Katon CG y Salicat MM ().

- Colorantes

Son compuestos químicos que le confieren color al cosmético para hacerlo más atractivo. La propiedad de brindar color se debe a la presencia de un grupo químico llamado cromóforo. Pueden ser hidrosolubles o liposolubles (Sabater, 2012).

- Perfumes

La función del perfume es proporcionar un olor agradable al cosmético y enmascarar ciertos olores de las materias primas. Los requisitos para el uso de perfumes es que no debe ser irritante para la piel, debe ser compatible con el resto de componentes de la formulación, debe ser estable a la luz y a los cambios de temperatura, y mantener una correlación con el colorante (Sabater, 2012).

1.2.7. Clasificación de los cosméticos

La clasificación de cosméticos puede responder a distintos criterios como su función, composición, forma cosmética, público al que va dirigido, lugar de aplicación, entre otros.

Las empresas cosméticas clasifican los cosméticos, principalmente, atendiendo los siguientes criterios como la zona de aplicación – cosméticos para ojos, cavidad bucal, uñas, entre otros –, la función que realizan – cosméticos de protección solar, de maquillaje, de higiene, entre otros –, mercado objetivo – cosmética masculina, cosmética femenina, para niños, para pieles jóvenes, para edad madura, entre otros –, el tipo de piel – cosméticos para pieles atópicas, pieles sensibles, pieles grasas o secas – y el excipiente que lo contiene o forma cosmética – polvos, líquidos y cremas (Sabater, 2012).

El criterio más utilizado es que tiene en cuenta la función que realizan:

- Cosméticos de higiene.
- Cosméticos hidratantes.
- Cosméticos de mantenimiento y protección.
- Cosméticos de belleza o decorativos.
- Cosméticos de tratamiento.

1.2.8. Formas cosméticas

La forma cosmética es la forma de presentación de un cosmético. Dependiendo del excipiente que se elija, un mismo cosmético puede presentarse y comercializarse de distintas formas (Sabater, 2012).

- Formas cosméticas anhidras

Son las que en su formulación no tienen agua. En este caso, la aplicación del cosmético requiere la ausencia de agua para su funcionamiento.

Tabla 12. Clasificación de formas cosméticas anhidras

Excipientes		
Barras y lápices	Contienen ceras y aceites hidrogenados a los que se añaden sustancias grasas líquidas. Ejemplos: barras de labios, maquillaje en barra, perfiladores de labios y ojos.	
Polvos	Contienen sólidos pulverulentos como caolín, talco y estearato de magnesio. Ejemplo: polvo traslúcidos, maquillaje compacto y colorete.	
Aceites	Contienen aceites minerales y vegetales. Ejemplos: aceites para baño y para masaje. Existen composiciones a base de siliconas, que son polímeros que parecen aceites pero no son grasos. Un ejemplo es la crema hidratante.	
Pomadas y bálsamos	Contienen distintos tipos de grasas minerales y cera. Ejemplo: pomadas para uñas, bálsamo para labios.	

Fuente: Sabater (2012).

- Formas cosméticas acuosas

Las formas acuosas son muy utilizadas en cosmética debido a que el agua es un buen disolvente (Sabater, 2012). Entre ellas se encuentran:

- Lociones: son disoluciones generalmente acuosas, hidroalcohólicas o hidroglicéricas (con glicerina).
- Geles: son mezclas viscosas formados por agua y una sustancia gelificante que forma coloides con el agua y fluyen con dificultad.
- Geles crema o cremigel: son geles a los que se han añadido pequeñas cantidades de aceite (3%). Son emolientes y aportan mayor suavidad a la piel que los anteriores.

- Emulsiones

Las emulsiones son dispersiones de líquidos en otro componente no miscible (dispersante). Son mezclas relativamente estables de aceites, grasas y agua. La presencia de un agente emulsificante facilita la mezcla de sustancias solubles en aceite y solubles en agua (Vargas, 2016).

Son los excipientes más utilizados en cosmética para la elaboración de cremas (Sabater, 2012). Esto se debe a que reúnen una serie de ventajas, entre las cuales destacan gran afinidad por la emulsión epicutánea, permiten la incorporación de un gran número de sustancias tanto hidrófilas como lipófilas, permiten la obtención de distinto tipo de texturas y consistencias con gran capacidad de penetración y pueden actuar como principio activo por sus propiedades emolientes y proporcionar hidratación a la piel.

Según Sabater (2012), las emulsiones se forman al agitar uno de los líquidos en el seno del otro, formando pequeñas gotas dispersas en la otra fase (la fase dispersante). Mientras ambas fases se encuentren en agitación constante, uno de los líquidos estará disperso en el otro, pero cuando la agitación cesa ambas fases tienen a separarse y se produce la ruptura de la emulsión.

Las emulsiones están formadas por una fase acuosa o hidrófila y una fase oleosa o lipófila. La fase hidrófila está compuesta por agua y sustancias hidrosolubles, como los humectantes, viscosizantes y algunos conservantes, y los principios activos como extractos vegetales, sales y urea. Y la fase lipófila está formada por el aceite y todas las demás sustancias liposolubles como hidrocarburos y alcoholes grasos.

Para mantener dispersas ambas fases sin ocurrir la ruptura de la emulsión se utiliza una sustancia llamada emulsionante, emulgente o surfactante. Dependiendo de la naturaleza de éste, puede formar parte de la fase acuosa u oleosa.

- Tipos de emulsiones

Las emulsiones se pueden clasificar en dos tipos principales, atendiendo a su fase dispersa y dispersante (Sabater, 2012).

En las emulsiones de aceite en agua, O/A (óleo-acuosa), la fase externa está compuesta de agua y todas las sustancias disueltas en ella, y la fase interna está formada por todas las sustancias lipófilas.

En las emulsiones de agua en aceite, A/O (acuoleosa), la fase externa es oleosa y la fase interna está compuesta de agua y todas las sustancias en ella disueltas.

- Emulsionantes

Son sustancias que estabilizan las emulsiones, impidiendo que sus fases se separen (Sabater, 2012).

Para estabilizar las emulsiones se aumenta la viscosidad de la fase continua con viscosizantes o espesantes; esto dificulta la unión de pequeñas gotas dispersas en ella y se incorporan a la fase acuosa. Algunos ejemplos son pectinas, metilcelulosa, alginatos, algunas gomas (agar-agar, xantano, tragacanto).

Un método alternativo consiste en utilizar un tercer componente que tiene afinidad por la fase acuosa y la fase oleosa. Estas moléculas se denominan tensoactivos ya que disminuyen la tensión entre las fases.

- Tensoactivos

Son sustancias cuyas moléculas se encuentran constituida por dos partes: una polar que se une a la parte hidrófila de la emulsión y una parte apolar que se une a la parte lipófila de la emulsión. Para que un tensoactivo sea efectivo, la parte hidrófila y lipófila de la molécula debe tener un peso o fuerza comparable. Las emulsiones O/A o A/O dependen más del tipo de tensoactivo y su fuerza hidrófila-lipófila que de la cantidad relativa de ambas fases (Sabater, 2012).

A su vez, los tensoactivos pueden clasificarse por su comportamiento al disolverse en agua disociándose o no en iones:

- Tensoactivos aniónicos: tienen carga negativa. Por ejemplo el estearato de trietanolamina y los alquil sulfatos como el lauril sulfato sódico, muy utilizado en las formulaciones cosméticas.
- Tensoactivos catiónicos: tienen carga positiva. Son sales de amonio cuaternario; actualmente no se utilizan por ser irritantes.
- Tensoactivos anfóteros: tienen cargas positivas y negativas simultáneamente en su molécula. Dependiendo del pH del medio se comportan de una forma u otra. Ejemplo: betaína.

- Tensoactivos no iónicos: no tienen carga en su molécula. Son derivados de sorbitol y ésteres de ácidos grasos polioxietilenados.

1.2.9. Penetración de un cosmético en la piel

- Tipos de penetración de sustancias

El primer nivel de penetración de los cosméticos en la piel se denomina contacto e imbibición; se trata de mezclas que se quedan en la superficie sin poder penetrar la piel (por ejemplo las soluciones limpiadoras, geles de baño y mascarillas). En el segundo nivel de penetración, los cosméticos pasan a zonas más profundas de la epidermis, pero no pasan de ahí. Y en el último nivel denominado absorción, los cosméticos pasan al torrente sanguíneo y por tanto pueden tener una acción generalizada. La absorción es un grado de penetración prohibido en cosmética. (Sabater, 2012).

- Grados de penetración de las sustancias

El grado de penetración depende la naturaleza química y, por lo tanto, de las propiedades de los principios activos y el excipiente (Sabater, 2012).

Tabla 13. Grados de penetración de las sustancias más utilizadas en cosmética

Grados de penetración en la piel		
Contactación	Hidrocarburos	Parafina líquida, vaselina
	Ceras vegetales y animales	Cera de abeja
	Alcoholes grasos	Alcohol cetílico, estearílico
	Siliconas	Dimeticona, ciclometicona
Penetración superficial	Aceite vegetal o animal	Aceite de palma y borraja, entre otros.
	Mantecas	Manteca de copra, cacao
	Ésteres grasos líquidos sintéticos	Laurato de metilo, linoleato de metilo
Acción epidérmica más profunda	Disolventes	Propilenglicol, etanol
	Ésteres de glicerol	Etilhexanoato de glicerilo, palmitato de glicerilo
	Otros ingredientes	Urea y aminoácidos

Fuente: Sabater (2012).

Sabater (2012) indica que las grasas vegetales tienen una cierta afinidad por la piel y penetran menos profundamente. Las grasas minerales son las que mejor se conservan.

- Factores que influyen en la penetración de los cosméticos

Los factores que intervienen en la penetración de los cosméticos en la piel son la naturaleza del principio activo, la naturaleza del excipiente, el estado de la piel y los métodos coadyuvantes en la aplicación (Sabater, 2012).

- Naturaleza del principio activo en la penetración de la piel

La naturaleza del principio activo se determina por los siguientes aspectos (Sabater, 2012):

- Naturaleza química y cantidad: la penetración de un cosmético será mayor cuanto más parecido sea la sustancia química a los componentes naturales de la piel y cuanto mayor sea la cantidad de sustancia activa en la formulación.
- Tamaño y forma de moléculas: se ha determinado que las moléculas más pequeñas y redondeadas tienen más facilidad para penetrar la epidermis.

- Influencia del excipiente en la penetración de la piel

El excipiente tiene gran influencia en la penetración del principio activo. Algunos vehículos lipídicos tienen la capacidad de penetrar a la piel, por lo que su elección dependerá de la profundidad a la que actúa el principio activo (Sabater, 2012).

- Estado de la piel

Los cosméticos son más efectivos en piel hidratada en zonas finas o donde exista una lesión que provoque pérdida de integridad de la piel (por ejemplo una herida). Sin embargo, los cosméticos no deben aplicarse en zonas lesionadas de la piel o que sufran alguna alteración dermatológica. Al envejecer, la hidratación de la piel es menor, por lo que la penetración de cosméticos se dificulta. Para este caso, los fabricantes de cosméticos utilizan vehículos especiales y de gran calidad para pieles maduras (Sabater, 2012).

1.2.10. Hidratación de la piel

La hidratación de la piel depende de la cantidad de agua que contenga. El agua cutánea se encuentra en sus dos capas, epidermis y dermis. En la epidermis, el agua se encuentra en todas las células de la epidermis. Las más ricas en agua son las células de la capa basal, con un 60-65% de agua, y la que menor cantidad de agua tiene es el estrato córneo, con un 10-15% de agua. Por otro lado, la dermis se considera la reserva acuosa del organismo; el agua se encuentra unida a las moléculas hidrófilas y constituye el 80% de su peso (Sabater, 2012).

El criterio de una piel hidratada es cuando el contenido de agua del estrato córneo es de 13%, aproximadamente.

- Equilibrio hídrico de la piel

La hidratación de la piel depende del equilibrio entre el agua que contiene y el que se evapora. Si el contenido natural de agua en la epidermis es escaso o no se retiene bien o si la evaporación es muy rápida, la cantidad total de agua de la piel disminuye y esta se vuelve seca, áspera y poco flexible, es decir, se deshidrata (Sabater, 2012).

- Factores que influyen en el equilibrio hídrico

Los factores externos físicos (aire acondicionado, el frío, el viento y la calefacción) y químicos (uso de cosméticos muy detergentes, sustancias químicas secantes o irritantes) desempeñan un papel importante en el equilibrio difusión-evaporación (Sabater, 2012).

El factor interno de mayor relevancia es la secreción sebácea insuficiente que provoca emulsión epicutánea escasa y capacidad de fijación de agua del estrato córneo no adecuada por una deficiencia en el NMF (natural moisturizing factor: factor natural de hidratación) (Sabater, 2012).

1.2.11. Cosméticos hidratantes

Los cosméticos hidratantes son aquellos que disminuyen la pérdida de agua de la piel. Según Sabater (2012), se pueden llevar a cabo dos acciones cosméticas para reducir la pérdida de agua del estrato córneo: la reducción de evaporación por oclusión y la retención de agua en el estrato córneo.

- Ingredientes de los cosméticos hidratantes
 - Ingredientes que reducen la evaporación por oclusión

Son sustancias que forman una capa oclusiva en la superficie de la piel cuya función es oponerse a la pérdida de agua por evaporación. Entre ellos destacan: hidrocarburos – como la vaselina y la parafina –; ceras – cera de abejas, cera carnauba, y sólidos cerosos como el ácido mirístico –; aceites vegetales – jojoba, aloe vera, palmito, borraja, oliva, aceite de germen de trigo, aceite de almendras, onagra –; sustancias hidrófilas con carácter filmógeno que retienen agua – colágeno, ácido hialurónico – y sustancias gelificantes y formadoras de película – como la CMC (carboximetilcelulosa) (Sabater, 2012).

- Ingredientes lipídicos semejantes al cemento intercelular

Entre ellos destacan las ceramidas, el colesterol y los ácidos grasos poliinsaturados (ácido linoleico y linolénico, entre otros). Los cosméticos hidratantes contienen otro tipo de compuestos de carácter oleoso como la manteca de karité, el alcohol cetílico, aceites vegetales como el aceite de argán y la vitamina F (Sabater, 2012).

- Ingredientes que retienen agua

Entre ellos destacan el ácido pirrolidín carboxílico, las mezclas de aminoácidos, el lactato de sodio o amonio, los azúcares y la urea para retener el agua en la capa córnea al igual que el factor natural de hidratación.

- Humectantes

Se caracterizan por poseer varios grupos hidroxilo que los hacen higroscópicos ya que si la humedad relativa ambiental es alta, estos compuestos tienden a captar agua. Entre los más utilizados se encuentran la glicerina, sorbitol, propilenglicol y los PEG (polietilenglicoles).

El sorbitol tiene un efecto prolongado y aumenta de forma significativa la extensibilidad de las emulsiones, propiedad apreciada por los consumidores. Sin embargo, disminuye la consistencia de las preparaciones, por lo que se añade ceras y ésteres céreos para regular.

- Otros componentes

Algunos cosméticos hidratantes contienen pigmentos coloreados para aportar calor, calmantes, cicatrizantes (vitaminas A y E), antiinflamatorios como la alantoína.

- Formas cosméticas hidratantes

La forma cosmética más utilizada para hidratar son las emulsiones por su similitud con la emulsión epicutánea que permite solubilizar sustancias hidrosolubles y liposolubles (Sabater, 2012).

Las emulsiones de fase externa oleosa (A/O) son más eficientes ya que retienen agua de la propia emulsión y la piel. Sin embargo, los consumidores prefieren las emulsiones de fase externa acuosa (O/A) por su frescura y evanescencia (Sabater, 2012).

1.2.12. Propiedades cosméticas del aceite de sésamo

El aceite de sésamo contiene una proporción significativa de antioxidantes naturales conocidos como lignanos (sesaminol y sesamina), que lo protegen parcialmente frente a la oxidación. En combinación con la vitamina E, hace que el aceite sea resistente a la rancidez oxidativa más que otros aceites vegetales (Zavala y Castillo, 2008).

Posee importantes propiedades hidratantes y nutritivas que lo hacen muy adecuado para tratamientos de cosmética natural o industrial. Es un aceite que se absorbe rápidamente y estimula las defensas naturales de la piel. Es muy recomendado para pieles sensibles, para casos de mala circulación, y para el cabello (Zavala y Castillo, 2008).

El aceite de sésamo es muy rico en antioxidantes, incluida la importante vitamina E, esencial para combatir el envejecimiento prematuro y numerosas enfermedades degenerativas. Es un revitalizante natural que hidrata las pieles muy secas, nutre y repara la piel aportando múltiples vitaminas, aporta firmeza a la piel, filtra parte de la radiación UV cuando es aplicado en la piel y resulta beneficioso contra irritaciones y quemaduras. Es indicado para el tratamiento de la piel seca, productos para protección solar, productos para bebé; cuidados para cuerpo, labios y cabello, y en tratamientos faciales.

El aceite de sésamo es muy estable y resistente a la oxidación y puede otorgar esta propiedad a otros componentes cosméticos, por lo que es un buen conservante natural. Tiene una acción regenerativa debido a su alto contenido insaponificable y es eficaz para contrarrestar los efectos nocivos en la piel resultantes del envejecimiento. Se ha informado que el aceite de sésamo tiene efectos curativos en ciertas afecciones de la piel como eczema, acné, seborreia, psoriasis y quemaduras solares (Rabasco y González, 2000).

El aceite de sésamo es también utilizado acondicionador de la piel y el cabello en cosméticos.

Posibles usos del aceite de sésamo en cosmética (Rabasco y González, 2000):

- Bases de maquillaje.
- Bálsamo labial.
- Maquillaje para los ojos.
- Cremas hidratantes.
- Aceite capilar.
- Mascarillas faciales.
- Lociones para manos y cuerpo.
- Filtros solares.

Warra (2011) indica que el aceite de semilla de sésamo se encuentra entre los humectantes oclusivos comúnmente utilizados en cosmética. Tiene la capacidad de formar una capa oclusiva en la piel, lo que mantiene el agua dentro de las capas del estrato córneo superior y, en consecuencia, actúa como humectante.

El aceite también está presente en algunos productos farmacéuticos parenterales y en varias cápsulas orales, emulsiones, tabletas y cremas tópicas que contienen este excipiente (Rabasco y González, 2000).

Tabla 14. Otros usos cosméticos de los aceites vegetales.

Cuidado facial	Piel normal	Almendra, albaricoque, avellana, borraja, jojoba.
	Piel seca a normal	Almendra, albaricoque, aguacate, aceituna, germen de trigo, borraja, jojoba, macadamia.
	Piel grasosa a normal	Almendra, albaricoque, semilla de uva, avellana, borraja.
Cuidado del cabello	Cabello normal	Almendra, borraja.
	Cabello seco	Almendra, aguacate, borraja, manteca de cacao, jojoba, <i>sésamo</i> , macadamia.
	Cabello grasoso	Borraja, <i>sésamo</i>

Fuente: Rabasco y González (2000).

El aceite es útil en la preparación industrial de perfumería, cosméticos (agentes acondicionadores de la piel y humectantes, preparaciones para el cabello, aceites de baño, productos de manos y maquillaje), productos farmacéuticos (vehículo para la entrega de medicamentos), insecticidas, pinturas y barnices (Warra, 2011).

Rabasco y González (2000) reportan la composición de ácidos grasos de principales grasas y aceites utilizados en ciencias cosméticas y farmacéuticas.

Tabla 15. Composición de ácidos grasos en el aceite de sésamo para uso en ciencias cosméticas y farmacéuticas.

Aceite	Ácidos grasos saturados		Ácidos grasos insaturados		
	Palmítico (16:0)	Esteárico (18:0)	Palmitoleico (16:1)	Oleico (18:1)	Linoleico (18:2)
Sésamo	7 – 12 %	3.5 – 6 %	0.5 %	35 – 50 %	35 – 50 %

Fuente: Rabasco y González (2000).

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El ajonjolí o semilla de sésamo (*Sesamum indicum*) es una planta oleaginosa cuyas semillas se utilizan en confitería, galletas, preparación de pan, aceite comestible, elaboración de margarinas, pinturas, jabones, en la industria cosmética y farmacéutica.

La mayor parte del ajonjolí guatemalteco cosechado es comercializado en el exterior como grano entero por su alto contenido de aceite, siendo principalmente exportado a Europa, Estados Unidos y Japón. La importancia de esta semilla ha crecido en el mercado internacional de forma sostenida, por lo que el Comité de Ajonjolí de la Asociación Guatemalteca de Exportadores (AGEXPORT), el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA), el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGA) y el Ministerio de Economía (MINECO) han reforzado la producción y calidad de esta oleaginosa por el valor que actualmente tiene el uso de productos naturales.

El análisis cuantitativo del rendimiento y propiedades fisicoquímicas del aceite de sésamo son requisitos fundamentales para que la semilla guatemalteca sea competitiva ante otras variedades. Sin embargo, en las empresas guatemaltecas no se han realizado estos estudios ya que la finalidad de ellas es la compra, limpieza y proceso de descortezado para luego exportarla.

Con el propósito de verificar la calidad de los aceites vegetales, se han establecido normativas como el Codex Stan 210-1999 para aceites comestibles y el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA 67.04.40:07) para grasas y aceites. Ambas normas indican los requisitos fisicoquímicos que deben cumplir los aceites de origen de origen vegetal para que sean considerados productos de calidad en el sector alimenticio.

Para determinar la calidad del aceite de sésamo de la región de Retalhuleu es necesario comparar sus propiedades fisicoquímicas con el Codex Stan 210-1999, el cual presenta una descripción más extensa de los requerimientos internacionales para los aceites vegetales comestibles.

Debido a la necesidad de establecer cuantitativamente el rendimiento y las propiedades fisicoquímicas del aceite de sésamo de las semillas comerciales procedentes de Retalhuleu (natural y descortezada), se pretende realizar la extracción a través del método Soxhlet y la caracterización fisicoquímica.

De esta forma se plantean las preguntas: ¿es posible caracterizar de manera fisicoquímica el aceite de sésamo extraído de las semillas comerciales natural y descortezada procedentes de Retalhuleu a través del método Soxhlet? Y ¿cumple el aceite de sésamo de la región de Retalhuleu con los requisitos fisicoquímicos de calidad establecidos en el Codex Stan 210-1999?

2.1 Objetivos

2.1.1. Objetivo general

Evaluar el rendimiento y la caracterización fisicoquímica del aceite de sésamo (*Sesamum indicum*) de las semillas comerciales natural y descortezada del departamento de Retalhuleu a nivel laboratorio.

2.1.2. Objetivos específicos

1. Determinar el rendimiento de extracción del aceite de sésamo (*Sesamum indicum*) de las semillas comerciales natural y descortezada por método Soxhlet.
2. Determinar las propiedades físicas del aceite de sésamo (*Sesamum indicum*) de las semillas comerciales natural y descortezada a través del análisis de densidad, humedad e índice de refracción.
3. Determinar las propiedades químicas del aceite de sésamo (*Sesamum indicum*) de las semillas comerciales natural y descortezada a través de los análisis de índice de acidez, índice de saponificación, índice de peróxido e índice de yodo.
4. Determinar el perfil de ácidos grasos del aceite de sésamo (*Sesamum indicum*) de las semillas comerciales natural y descortezada a través de un análisis de cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS.
5. Establecer comparativamente las propiedades fisicoquímicas y perfil de ácidos grasos del aceite de sésamo (*Sesamum indicum*) extraído a partir de semillas natural y descortezada con el Codex Stan 210-1999.

2.2 Hipótesis

2.2.1. Hipótesis nula

H₀₁: No existe diferencia significativa en el rendimiento del aceite de sésamo de la región de Retalhuleu en función del tipo de semilla utilizada para la extracción.

H₀₂: No existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas del aceite de sésamo de la región de Retalhuleu en función del tipo de semilla utilizada para la extracción.

H₀₃: No existe diferencia significativa en el perfil de ácidos grasos del aceite de sésamo de la región de Retalhuleu en función del tipo de semilla utilizada para la extracción.

H₀₄: El aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada de la región de Retalhuleu no cumple con los requerimientos internacionales de calidad en alimentos propuestos por el Codex Stan 210-1999.

2.2.2. Hipótesis alternativa

H₁: Sí existe diferencia significativa en el rendimiento del aceite de sésamo de la región de Retalhuleu en función del tipo de semilla utilizada para la extracción.

H₂: Sí existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas del aceite de sésamo de la región de Retalhuleu en función del tipo de semilla utilizada para la extracción.

H₃: Sí existe diferencia significativa en el perfil de ácidos grasos del aceite de sésamo de la región de Retalhuleu en función del tipo de semilla utilizada para la extracción.

H₄: El aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada de la región de Retalhuleu sí cumple con los requerimientos internacionales de calidad en alimentos propuestos por el Codex Stan 210-1999.

2.3 Variables

2.3.1. Variables independientes

- Semilla comercial utilizada para la extracción del aceite de sésamo (natural y descortezada) procedente de Retalhuleu.

2.3.2. Variables dependientes

- Rendimiento obtenido en la extracción de aceite de sésamo de la región de Retalhuleu.
- Propiedades físicas del aceite de sésamo de la región de Retalhuleu.
 - Humedad
 - Densidad
 - Índice de refracción
- Propiedades químicas del aceite de sésamo de la región de Retalhuleu.
 - Índice de acidez
 - Índice de peróxido
 - Índice de saponificación
 - Índice de yodo
- Perfil de ácidos grasos del aceite de sésamo de la región de Retalhuleu.

2.4. Definición de variables

Variables independientes

- a) Semilla de ajonjolí comercial utilizada para la extracción del aceite de sésamo (natural y descortezada).

Definición conceptual:

Variedad de granos producidos por diferentes plantas herbáceas de la familia de las pedaliáceas del ajonjolí (RAE, 2017) y comercializadas en Guatemala. La semilla natural se refiere a la semilla cuya cáscara no se ha retirado, es decir, la semilla sin descortezar.

Definición operacional:

Son los dos tipos de semillas comerciales que contienen el aceite de sésamo que es extraído con el método Soxhlet previamente pesadas (g) y caracterizado a través análisis fisicoquímicos.

Variables dependientes

- a) Rendimiento obtenido en la extracción de aceite de sésamo de la región de Retalhuleu.

Definición conceptual:

Proporción entre el producto o el resultado obtenido y los medios utilizados (RAE, 2017).

Definición operacional:

Porcentaje de rendimiento del aceite de sésamo obtenido a partir de la extracción por medio del método Soxhlet utilizando un solvente, una cantidad fija de materia prima vegetal, temperatura y tiempo de extracción. Se determina por medio del peso (g) de la materia prima vegetal y el extracto.

- b) Perfil de ácidos grasos del aceite de sésamo de la región de Retalhuleu.

Definición conceptual:

Es la identificación y cuantificación de los ácidos grasos que integran el aceite de sésamo.

Definición operacional:

Es el conjunto de compuestos o principios activos que integran el aceite de sésamo y que son detectados por medio de una cromatografía gaseosa con acoplamiento de espectrometría de masas GC-MS. Se identifican y cuantifican por medio del área (%) de cada componente presente en la muestra.

- c) Propiedades físicas del aceite de sésamo de la región de Retalhuleu.

Definición conceptual:

Atributo o cualidad esencial de algo (RAE, 2017). Son aquellas características propias de la sustancia que se pueden medir sin que se modifique la composición o identidad de la misma (Chang, 2007).

Definición operacional:

Análisis físicos de densidad (g/mL), humedad (%) e índice de refracción para el aceite de sésamo de las semillas comerciales natural y descortezada.

d) Propiedades químicas del aceite de sésamo de la región de Retalhuleu.

Definición conceptual:

Atributo o cualidad esencial de algo (RAE, 2017). Son aquellas características de una sustancia que al ser medidas se produce un cambio en la composición o identidad de la misma (Chang, 2007).

Definición operacional:

Análisis químicos de índice de acidez (mg KOH/g aceite), índice de peróxido (mEq O₂/kg aceite), índice de saponificación (mg KOH/g aceite) e índice de yodo (g I₂/10 g aceite) para el aceite de sésamo de las semillas comerciales natural y descortezada.

2.5. Alcances y límites

El presente estudio abarcó una investigación sobre antecedentes de la producción y comercialización actual del ajonjolí, características y propiedades del aceite de sésamo, su composición fisicoquímica, métodos de extracción de aceites vegetales y la industria de cosméticos.

El estudio se centró en la determinación del rendimiento de extracción y caracterización fisicoquímica del aceite de sésamo utilizando como materia prima vegetal las semillas comerciales natural y descortezada de la región de Retalhuleu. La semilla natural se refiere a la semilla cuya cáscara no se ha retirado, es decir, la semilla sin descortezar.

Entre los análisis físicos realizados se encuentra la densidad, humedad e índice de refracción. Los análisis químicos consisten en el índice de acidez, índice de peróxido, índice de saponificación e índice de yodo. La cromatografía gaseosa con acoplamiento de espectrometría de masas GC-MS permite la determinación del perfil de ácidos grasos del aceite de sésamo. El estudio excluye otros análisis como la determinación de contenido de contaminantes (plomo, arsénico, hierro y cobre), punto de deslizamiento, impurezas insolubles, la prueba de Baudouin, materia insaponificable, nivel de desmetilesteroles y nivel de tocoferoles/tocotrienoles incluidos en la normativa, debido a disponibilidad de recursos y el alto costo de los análisis.

Esta investigación se limitó a la extracción de aceite de sésamo a través del método conocido como Soxhlet por ser el procedimiento convencional de instrumentación simple más común para materias primas destinadas a uso cosmético. La materia prima vegetal utilizada en la presente investigación proviene de una mezcla de lotes de un mismo proveedor ubicado en Retalhuleu. Sin embargo, el producto fue adquirido en Productos Superb Especies, S.A. en la ciudad de Guatemala y a partir de éste se extrajeron las muestras del estudio.

Debido a los costos del estudio, los resultados obtenidos en la investigación se manejaron con un nivel de confianza del 95% apoyándose en el estudio de Cervantes (2012).

Esta investigación también incluye el costo de extracción del aceite de sésamo en función del tipo de semilla a nivel laboratorio utilizando el método Soxhlet. Sin embargo, no se lleva a cabo con la finalidad de presentar un estudio de viabilidad técnica o económica.

El Reglamento (CE) 1223/2009 del Parlamento Europeo y el Real Decreto 85/2018 indican las restricciones del uso de aceites vegetales en cosméticos pero no especifican los requisitos fisicoquímicos del aceite de sésamo para ser utilizado en cosmética. Por lo tanto, para el estudio en cuestión se utilizará el Codex Stan 210-1999 de aceites vegetales con el fin de evaluar si el aceite extraído cumple con requisitos de calidad alimenticia. La comparación de propiedades fisicoquímica y perfil de ácidos grasos del aceite de sésamo de la región de Retalhuleu será útil como un estudio preliminar para sugerir su aplicación en la industria de cosméticos.

En este estudio también se presenta una propuesta de aplicación del aceite de sésamo de la región de Retalhuleu en la industria de cosméticos, de forma que las empresas guatemaltecas extractoras de aceites vegetales y las empresas de cosméticos tengan a su disposición la información necesaria para darle un uso de valor agregado a esta materia prima y alcanzar una mayor rentabilidad. Es importante mencionar que la propuesta de aplicación del aceite de sésamo en un producto cosmético no incluye un estudio de mercado ni una evaluación de factibilidad económica ya que ello no figura entre los objetivos planteados en la investigación, realizada en los laboratorios del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar.

2.6. Aporte

Al Comité de Ajonjolí de la Asociación Guatemalteca de Exportadores (AGEXPORT), como precedente para futuras investigaciones y evaluaciones del contenido de aceite de las semillas de ajonjolí nacional y sus propiedades fisicoquímicas para cumplir con los requisitos internacionales de calidad e inocuidad y alcanzar una mayor competitividad ante otras variedades de ajonjolí.

A los a pequeños y grandes empresarios agroindustriales, como motivación a inclinarse hacia el procesamiento de semillas de ajonjolí, uno de los granos de mayor valor económico en Guatemala por su contenido de aceite y proteína, características que lo hacen codiciado en el extranjero.

A las industrias extractoras de aceites vegetales, para aumentar la rentabilidad de productos a partir de la semilla de ajonjolí que generen un valor agregado a través de la extracción del aceite de sésamo.

A las industrias de cosméticos, como estudio preliminar para futuras investigaciones sobre las propiedades cosméticas del aceite de sésamo de las semillas procedentes de Retalhuleu en el desarrollo de nuevos productos.

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Sujetos y unidades de análisis

3.1.1. Sujetos

Para la realización de la investigación se recolectó información de diversas fuentes:

a) Lic. Ricardo Montoya Segura

Coordinador de Laboratorios de Química y Física del Tecnológico de la Universidad Rafael Landívar.

b) Inga. Luisa María Arias

Coordinadora de Laboratorio de Físicoquímica y Microbiología Especializado de la Universidad Rafael Landívar.

c) Licda. Ana Luisa Mendizábal

Investigadora del Laboratorio de Instrumentación de Química Analítica del Instituto de Investigaciones de la Universidad del Valle de Guatemala.

3.1.2. Unidades de análisis

a) Semillas comerciales natural y descortezada de ajonjolí procedentes del departamento de Retalhuleu adquiridas en Productos Superb Especias, S.A., siendo las materias primas prioritarias para realizar la extracción del aceite de sésamo (*Sesamum indicum*)

b) Aceite de sésamo de las semillas natural y descortezada siendo el producto final el cual fue analizado a través de análisis físicoquímicos.

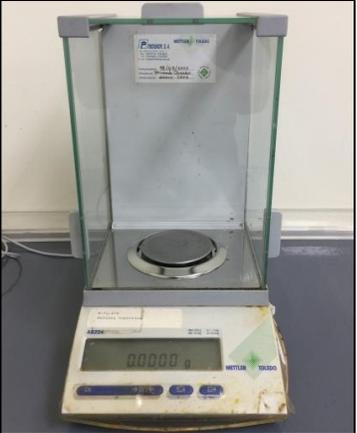
c) Cromatogramas (Software Agilent ChemStation) de los cuales se obtuvieron los valores de área y tiempo de retención para identificar para cuantificar los compuestos activos en las muestras de aceite analizadas.

d) Reporte de resultados de cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas, realizado en el laboratorio de Instrumentación de Química Avanzada, Instituto de Investigaciones de la Universidad Del Valle de Guatemala.

- e) Reglamento (CE) 1223/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea sobre los productos cosméticos.
- f) Real Decreto 1599/1997, de 17 de octubre, de regulación de los productos cosméticos.
- g) Real Decreto 85/2018 de regulación de productos cosméticos.
- h) Codex Stan 210-1999 para aceites vegetales especificados.
- i) Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA 67.04.40:07) de aceites y grasas.
- j) Directiva 2009/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea sobre los disolventes de extracción para el tratamiento de materias primas y productos alimenticios.

3.2. Instrumentos

3.2.1. Equipo para la preparación de la materia prima vegetal.

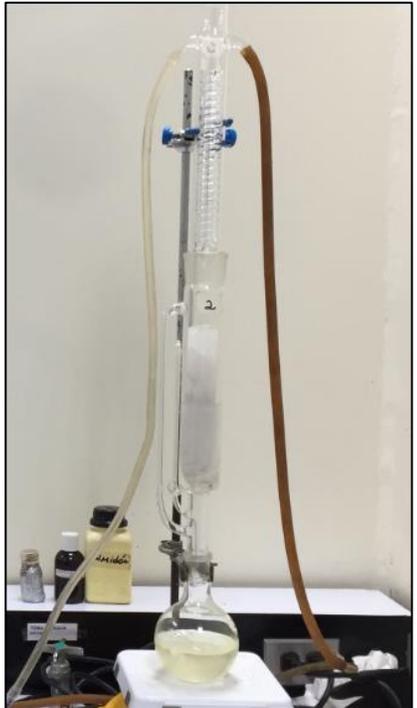
Instrumento o equipo	Descripción	Imagen
<p>Horno de calentamiento</p>	<p>Horno de calentamiento VWR International modelo No. 1305U, número de serie 01036906, amperaje de 7 A, 110 – 120 voltios y 50/60 Hz. Temperatura programada de secado de 100°C.</p>	<p>Figura 13. Horno de calentamiento</p>  <p>Fuente: elaboración propia (2018).</p>
<p>Balanza analítica</p>	<p>Balanza Mettler Toledo AB204. Capacidad de 10 mg a 210 g, sensibilidad de 0.1 mg e incerteza de 0.05 mg. Equipo certificado con ISO 9001</p>	<p>Figura 14. Balanza analítica</p>  <p>Fuente: elaboración propia (2018).</p>
<p>Procesador de alimentos de alta potencia</p>	<p>Licuada de alta potencia marca Premium modelo PB323, potencia de 350 W, capacidad de 1.5 L con cuchillas de acero inoxidable, 4 velocidades y pulso.</p>	<p>Figura 15. Procesador de alimentos</p>  <p>Fuente: elaboración propia (2018).</p>

Fuente: elaboración propia (2018).

3.2.2. Equipo para la extracción del aceite de sésamo

Instrumento o equipo	Descripción	Imagen
<p>Plancha de calentamiento</p>	<p>Modelo: SP194715 Thermo Scientific Cimarec Basic. Reduce la probabilidad de rotura de la placa, rango de temperaturas de 150°C a 538°C. Alcanza la temperatura máxima en menos de 8 minutos.</p>	<p>Figura 16. Plancha de calentamiento</p>  <p>Fuente: elaboración propia (2018).</p>
<p>Soxhlet Pequeño</p>	<p>Matraz de fondo redondo KIMAX® KIMBLE de 125 mL No. 25055 boquilla \$ 24/40</p> <p>Extractor Soxhlet KIMAX® KIMBLE, especificaciones de boquilla inferior \$ 24/40 y superior de \$ 34/45</p> <p>Condensador KIMAX® KIMBLE No. 24027 \$ 34/45</p>	<p>Figura 17. Soxhlet pequeño</p>  <p>Fuente: elaboración propia (2018).</p>

Fuente: elaboración propia (2018).

<p>Soxhlet Mediano</p>	<p>Matraz de fondo redondo ILMABOR® TGI de 250 mL boquilla NS 29.</p> <p>Extractor Soxhlet ILMABOR® TGI especificaciones de boquilla inferior NS29 y superior de NS45.</p> <p>Adaptador NS 45/NS 29.</p> <p>Condensador ILMABOR® TGI con boquilla doble NS 29.</p>	<p>Figura 18. Soxhlet mediano</p>  <p>Fuente: elaboración propia (2018).</p>
<p>Soxhlet Grande</p>	<p>Matraz de fondo redondo SCHOTT DURAN de 500 mL con boquilla Lenz DIN NS 29/32</p> <p>Extractor Soxhlet SCHOTT MAINZ DURAN 50 JENA^{ER}GLAS con boquilla inferior de NS 29/32 y boquilla superior de NS 45/40</p> <p>Condensador de serpentín SCHOTT MAINZ DURAN 50 JENA^{ER}GLAS con boquilla inferior de NS 45/40 y boquilla superior de NS 29/32</p>	<p>Figura 19. Soxhlet grande</p>  <p>Fuente: elaboración propia (2018).</p>

Fuente: elaboración propia (2018).

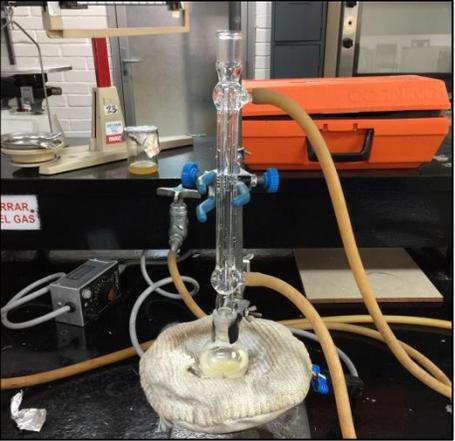
<p>Manta de calentamiento eléctrica</p>	<p>Marca Electrothermal CatNo. CMUT1000/CEX1 Serial No. M547680/03 Volts. 115 V ≈ 50/60 Watts. 300 W Fuse. F3. 15A</p>	<p>Figura 20. Manta de calentamiento eléctrica</p>  <p>Fuente: elaboración propia (2018).</p>
<p>Equipo de destilación</p>	<p>Matraz de ebullición de fondo redondo de 250 mL marca PYREX[®] No. 4320B-250 Modelo CO101001323 con boquilla $\bar{\\$}$ 10/22.</p> <p>Junta para vacío ángulo de 105° PYREX[®] No. 8947-19 Modelo CO101001330 con boquilla $\bar{\\$}$ 19/22.</p> <p>Condensador de tubo interno con punta de goteo PYREX[®] con boquilla de $\bar{\\$}$ 10/22.</p> <p>Tubo adaptador de tres vías ángulo de 75° PYREX[®] No. 9000-19 con boquilla $\bar{\\$}$ 19/22</p> <p>Matraz de ebullición de fondo redondo de 500 mL marca PYREX[®] No. 4320B-500 Modelo CO101001324</p>	<p>Figura 21. Equipo de destilación</p>  <p>Fuente: elaboración propia (2018).</p>

Fuente: elaboración propia (2018).

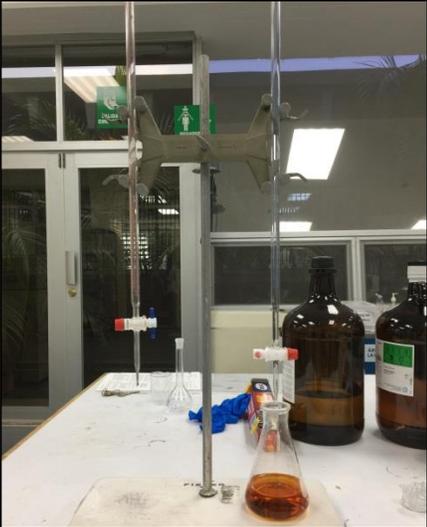
3.2.3 Equipo para caracterización fisicoquímica de aceite de sésamo

<p>Balón de aforo de 5 mL</p>	<p>Balón de aforo PYREX® de 5 mL No. 5642</p>	<p>Figura 22. Balón de aforo de 5 mL</p>  <p>Fuente: elaboración propia (2018).</p>
<p>Balanza de humedad</p>	<p>Balanza de humedad Sartorius modelo MA37-1 con número de serie 0033209112, temperatura programada de secado de 90°C, resultados en porcentaje de humedad.</p>	<p>Figura 23. Balanza de humedad</p>  <p>Fuente: elaboración propia (2018).</p>
<p>Refractómetro Abbé 3L AKA</p>	<p>Refractómetro Abbé 3L AKA Bausch y Lomb, modelo 10450. Precisión ± 0.0001 para índices de refracción de 1.30 a 1.71 $\pm 0.05\%$ en la escala de 0 a 85% de sólidos totales. Rango: 1.300 a 1.710.</p>	<p>Figura 24. Refractómetro</p>  <p>Fuente: elaboración propia (2018).</p>

Fuente: elaboración propia (2018).

<p>Reflujo</p>	<p>Matraz de ebullición de fondo redondo de 50 mL marca PYREX® No. 4320B-50 Modelo CO101001321 con boquilla \$ 19/22</p> <p>Condensador de juntas externas/internas con punta de goteo PYREX® No. 2705-19 con boquilla \$ 19/22</p>	<p>Figura 25. Sistema de reflujo</p>  <p>Fuente: elaboración propia (2018).</p>
<p>Centrífuga</p>	<p>Centrifuge 5702 Eppendorf Dilab, S.A. Velocidad máxima de 4400 rpm, cámara interna para 4x400 g</p>	<p>Figura 26. Centrífuga</p>  <p>Fuente: elaboración propia (2018).</p>
<p>Viales para cromatografía</p>	<p>Viales de vidrio ámbar con tapadera de teflón/silicona y rosca.</p>	<p>Figura 27. Viales para cromatografía</p>  <p>Fuente: elaboración propia (2018).</p>

Fuente: elaboración propia (2018).

<p>Bureta</p>	<p>Bureta de titulación de 25 ± 0.05 mL marca Pyrex.</p>	<p>Figura 28. Bureta de titulación</p>  <p>Fuente: elaboración propia (2018).</p>
<p>Pipetas volumétricas</p>	<p>Pipeta de 2 ± 0.01 mL Blau Brand, pipeta de 10 ± 0.02 mL Blau Brand, pipeta de 15 ± 0.03 Pyrex No. 7100, Pipeta de 25 mL marca Superior</p>	<p>Figura 29. Pipetas volumétricas</p>  <p>Fuente: elaboración propia (2018).</p>
<p>Pipetas graduadas</p>	<p>Pipeta de 2 ± 0.01 mL marca Superior, pipeta de 5 ± 0.05 mL marca Pyrex.</p>	<p>Figura 30. Pipetas graduadas</p>  <p>Fuente: elaboración propia (2018).</p>

Fuente: elaboración propia (2018).

Instrumentos varios	Matraz Erlenmeyer de 250 mL, vidrio de reloj, espátula, varilla de agitación, termómetro de mercurio con temperatura máxima de 160°C, probetas de 25 ± 0.05 mL y 100 ± 0.05 mL, matraz de aforo Blau Brand de 100 ± 0.1 mL NS 12/21, beakers de 50, 80, 100 y 250 mL	<p>Figura 31. Instrumentos varios</p>  <p>Fuente: elaboración propia (2018).</p>
---------------------	--	--

Fuente: elaboración propia (2018).

a) Cromatógrafo de alta resolución: utilizado para realizar la cromatografía del aceite de sésamo.

Agilent 1100 Seires Hp, con detector UV-Visible, Bomba Isocrática, Columna Zorvax Eclipse Plus C18, 3x1500 mm de 3.5 micrones. Con un sistema de cómputo Hp Compac, L1506. Software ChemStation (1999-2003).

3.2.4. Instrumentos y equipos utilizados en la metodología

Extracción con equipo Soxhlet

1. Sistema extractor Soxhlet.
2. Cartucho de papel filtro.
3. Balanza analítica
4. Equipo de destilación simple.
5. Soporte
6. Pinzas para soporte
7. Plancha de calentamiento

Determinación de densidad del aceite

1. Horno.
2. Deshidratador con gel de sílice.
3. Balón de aforo de 5mL.
4. Balanza analítica.

Determinación de humedad del aceite

1. Balanza de humedad.
2. Platillo de aluminio.
3. Papel filtro.

Índice de peróxido

1. Matraz Erlenmeyer, de 250 cm³ con tapa esmerilada.
2. Balanza analítica, sensible al 0,1 mg.
3. Pipetas volumétricas.
4. Bureta de titulación.
5. Soporte
6. Pinzas para bureta

Índice de acidez

1. Matraz Erlenmeyer, de 250 cm³ con tapa esmerilada.
2. Balanza analítica, sensible al 0,1 mg.
3. Pipetas volumétricas.
4. Bureta de titulación.
5. Soporte
6. Pinzas para bureta

Índice de yodo

1. Matraz Erlenmeyer, de 500 cm³ con tapa esmerilada.
2. Balanza analítica, sensible al 0,1 mg.
3. Pipetas volumétricas.
4. Bureta de titulación.
5. Soporte
6. Pinzas para bureta

Índice de saponificación

1. Balanza analítica, sensible al 0,1 mg.
2. Matraz de 250 mL.
3. Equipo de reflujo (Kit Corning)
4. Bureta de titulación
5. Soporte
6. Pinzas para bureta

Derivatización de aceite para análisis cromatográfico

1. Vial de vidrio de 10-20 mL con tapa con sello de teflón/silicona.
2. Horno.
3. Centrifugadora.

3.2.5. Reactivos utilizados en la metodología

Extracción con equipo Soxhlet

1. Hexano Grado Reactivo (selección de solvente en base a Figura 12).

Índice de peróxido

1. Solución de ácido acético glacial y cloroformo relación 3:2
2. Solución saturada de yoduro de potasio.
3. Solución 0.01 N de tiosulfato de sodio, debidamente estandarizada.
4. Solución de yodato de potasio 0.01 M
5. Solución de almidón.

Índice de acidez

1. Alcohol etílico 95%
2. Fenolftaleína 1% en alcohol al 95%.
3. Hidróxido de potasio 0.1 N

Índice de yodo

1. Solución de yoduro de potasio 15%.
2. Solución de almidón al 1%
3. Tiosulfato de sodio, 0,1 M.
4. Cloroformo
5. Reactivo de Hanus: monobromuro de yodo en ácido acético glacial.

Índice de saponificación

1. Solución alcohólica de hidróxido de potasio (KOH) 0.5 N
2. Solución ácido clorhídrico (HCl) 0.5 N
3. Indicador de fenolftaleína al 1% en alcohol al 95%.

Derivatización de aceite para análisis cromatográfico

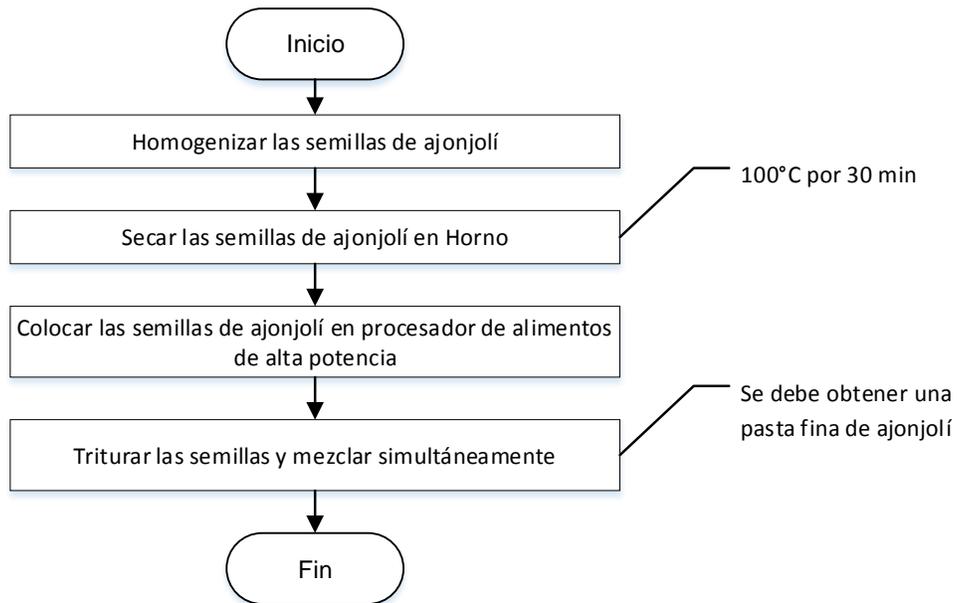
1. Triundecanoína – C_{11:0}
2. Soluciones estándar de metil-ésteres de ácidos grasos (FAMES).
3. Tolueno grado analítico
4. Metanol grado analítico
5. Sulfato de sodio anhidro grado analítico.
6. Trifluoruro de boro 7% en metanol a partir de solución comercial al 14% de BF₃

3.3. Procedimientos

3.3.1. Preparación de la muestra

1. Homogenizar las semillas de ajonjolí.
2. Secar las semillas de ajonjolí en Horno VWR por 30 minutos a 100°C.
3. Colocar las semillas de ajonjolí en procesador de alimentos de alta potencia.
4. Triturar las semillas y mezclar simultáneamente hasta obtener una fina pasta de ajonjolí.

Diagrama 1. Flujo para preparación de la muestra de ajonjolí



Fuente: elaboración propia (2018).

3.3.2. Lixiviación de pasta de ajonjolí por el método Soxhlet.

1. Armar el equipo de extracción como se observa en la Figura 34 Anexo H.
2. Pesar la cantidad de gramos indicada en la Tabla 16 de pasta de ajonjolí en el papel filtrante en forma de cartucho.

Tabla 16. Cantidad máxima de muestra (g) para los extractores Soxhlet utilizados.

Soxhlet Pequeño	Soxhlet Mediano	Soxhlet Grande
≈ 15 g	≈ 25 g	≈ 40 g

Fuente: elaboración propia (2018).

3. Agregar desde la cámara de extracción hasta el balón de fondo plano, la cantidad de hexano indicada en la Tabla 17, haciendo uso del equipo de protección durante la manipulación y agregar en el balón tres perlas de ebullición.

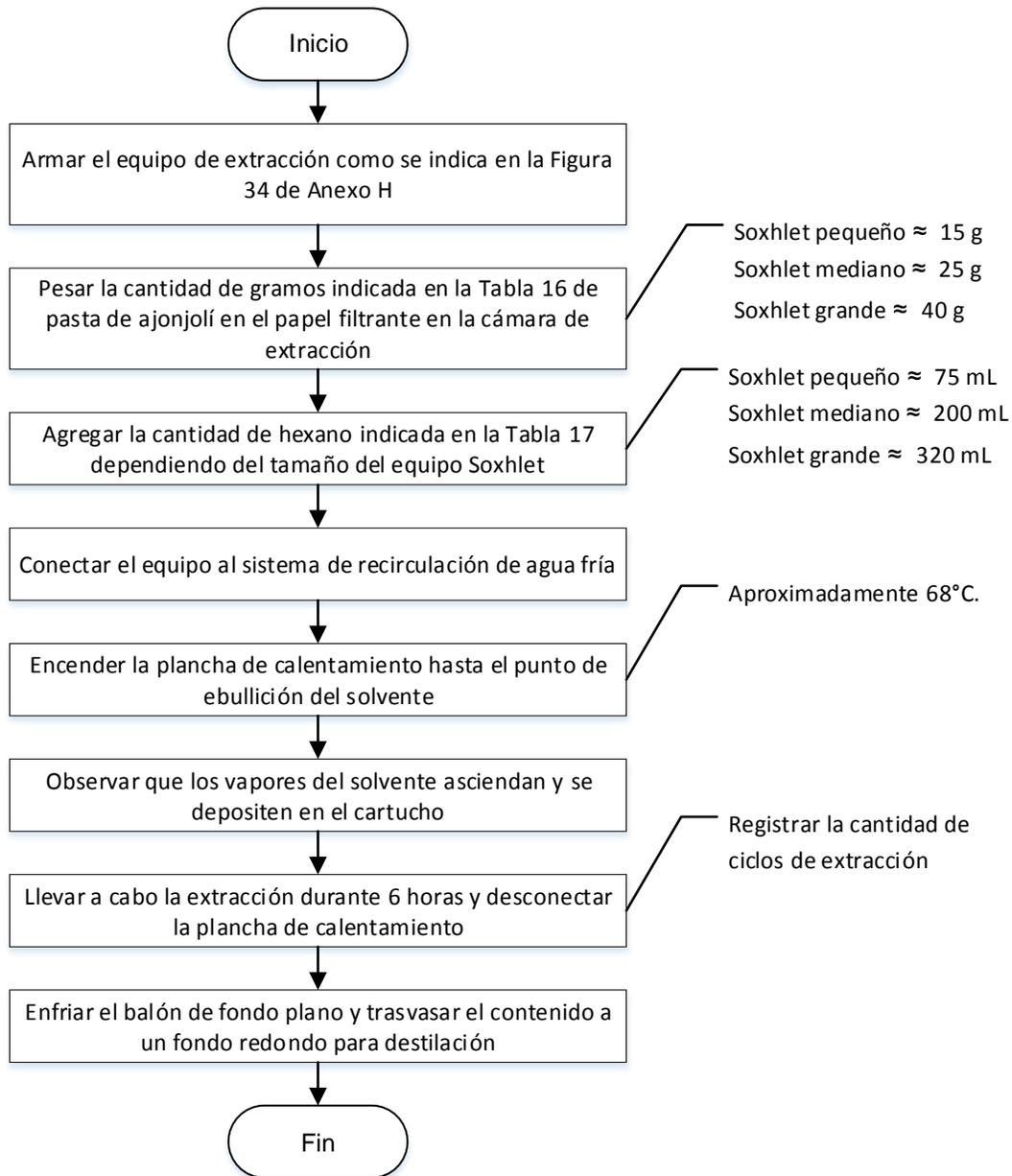
Tabla 17. Cantidad de hexano (mL) para los extractores Soxhlet utilizados.

Soxhlet Pequeño	Soxhlet Mediano	Soxhlet Grande
≈ 75 mL	≈ 200 mL	≈ 320 mL

Fuente: elaboración propia (2018).

4. Conectar el equipo a un sistema de recirculación de agua fría.
5. Encender la plancha de calentamiento hasta el punto de ebullición del solvente.
6. Observar que los vapores de hexano lleguen al tubo refrigerante, que el solvente se condense y se deposite en el papel filtro con la materia prima en la cámara de extracción.
7. Llevar a cabo la extracción durante 6 horas y desconectar la plancha de calentamiento.
8. Enfriar el balón de fondo plano y transvasar el contenido al fondo redondo para posterior destilación.

Diagrama 2. Flujo para extracción de aceite de sésamo con equipo Soxhlet

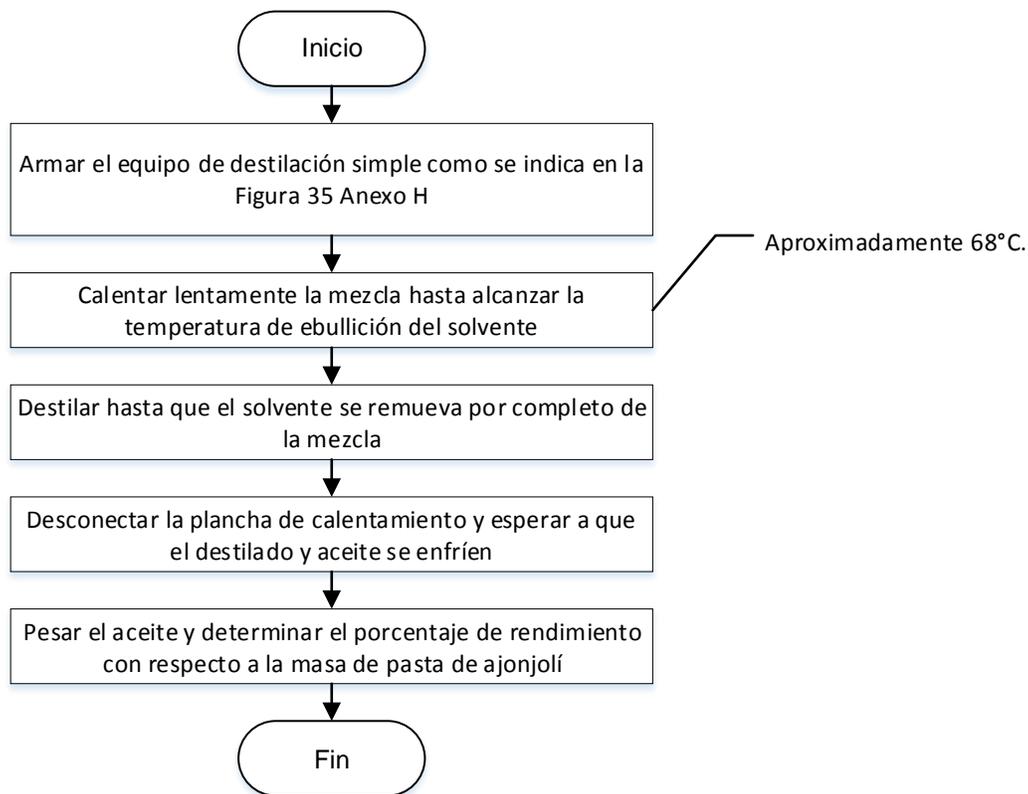


Fuente: elaboración propia (2018).

3.3.3. Obtención de aceite por destilación simple de hexano.

1. Armar el equipo de destilación simple como se indica en la Figura 35 Anexo H.
2. Calentar lentamente la mezcla hasta alcanzar la temperatura del líquido con el punto de ebullición más bajo (hexano, aproximadamente 68°C) el cual se convertirá en vapor y se condensará por medio del tubo refrigerante.
3. Destilar hasta que el solvente se remueva por completo de la mezcla.
4. Desconectar la plancha de calentamiento y esperar a que se enfríe el destilado y el aceite.
5. Pesarse el aceite y determinar el porcentaje de rendimiento con respecto a la masa de pasta de ajonjolí.

Diagrama 3. Flujo para obtención de aceite por destilación simple de hexano

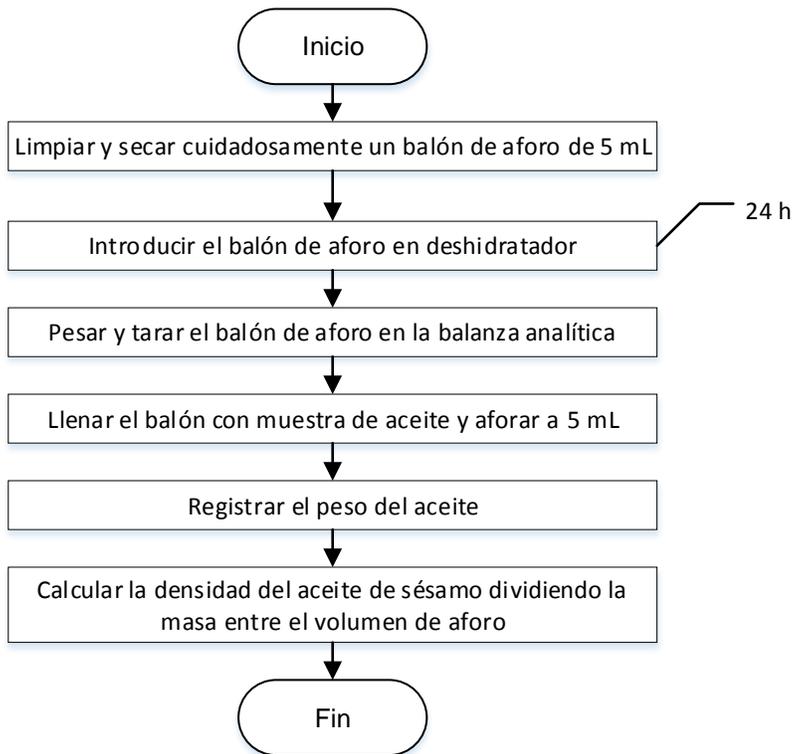


Fuente: elaboración propia (2018).

3.3.4. Determinación de la densidad de aceite de sésamo.

1. Limpiar y secar cuidadosamente un balón de aforo de 5 mL.
2. Introducir balón de aforo en deshidratador durante 24 horas.
3. Pesar y tarar el balón de aforo en la balanza analítica.
4. Llenar el balón con aceite de sésamo y aforar a 5 mL.
5. Anotar el peso del aceite.
6. Calcular la densidad del aceite de sésamo dividiendo la masa adicionada entre el volumen de aforo.

Diagrama 4. Flujo para determinación de densidad de aceite de sésamo

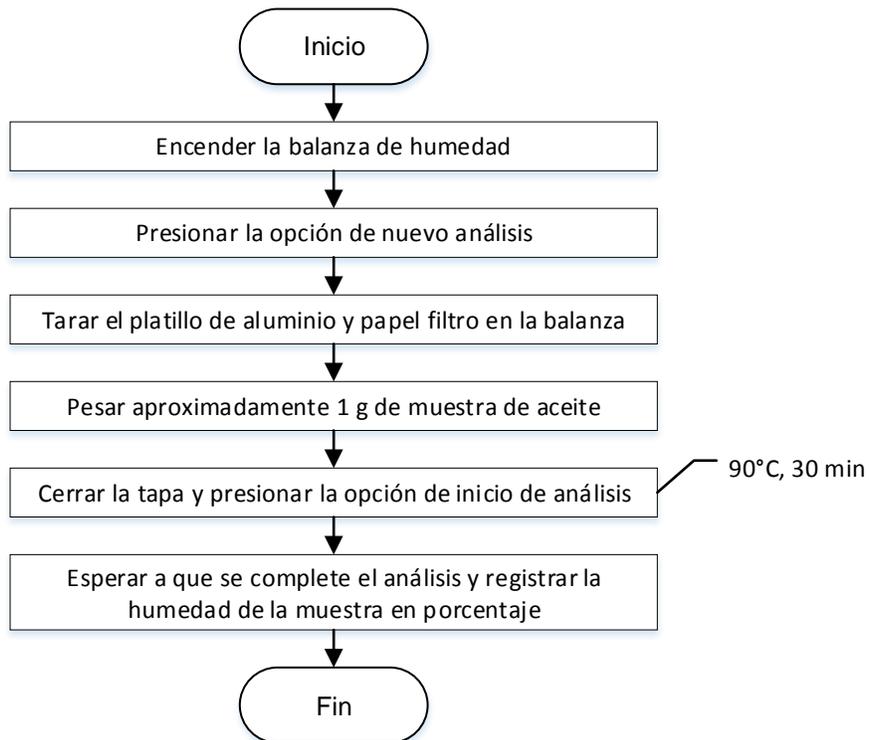


Fuente: elaboración propia (2018).

3.3.5. Determinación de la humedad de aceite de sésamo.

1. Encender la balanza de humedad Sartorius.
2. Presionar la opción de “nuevo análisis”.
3. Tarar platillo de aluminio y papel filtro.
4. Pesar aproximadamente 1 gramo de muestra de aceite en la balanza.
5. Presionar la opción de “iniciar” y esperar hasta que se complete el análisis a 90°C por 30 minutos.
6. Registrar la humedad de la muestra en porcentaje.

Diagrama 5. Flujo para determinación de humedad del aceite de sésamo

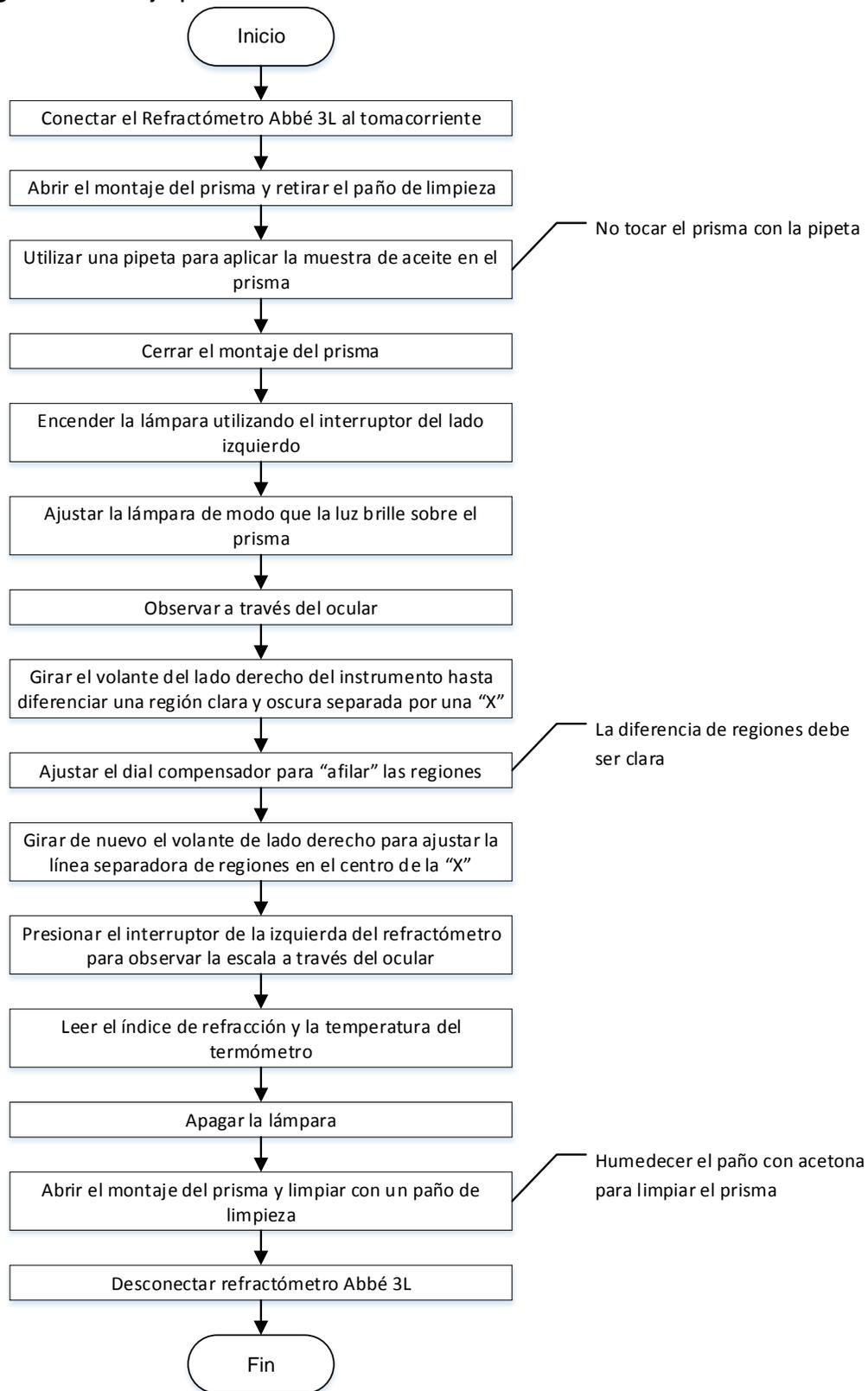


Fuente: elaboración propia (2018).

3.3.6. **AOAC 921.08.** Determinación del índice de refracción de aceite de sésamo.

1. Abrir el montaje del prisma y retirar el paño de limpieza.
2. Utilizar una pipeta para aplicar la muestra de líquido en el prisma. Nota: Verter cuidadosamente de forma que la punta de la pipeta no toque el prisma.
3. Cerrar el montaje del prisma.
4. Encender la lámpara utilizando el botón del lado izquierdo.
5. Ajustar la lámpara de modo que la luz brilla sobre el prisma.
6. Observar a través del ocular.
7. Girar el volante del lado derecho del instrumento hasta diferenciar una región clara y oscura separada por una "X".
8. Ajustar el dial compensador para "afilarse" las regiones de forma que se vea más clara.
9. Girar de nuevo el volante del lado derecho para ajustar la línea separadora de regiones en el centro de la "X".
10. Presionar el botón de la izquierda del refractómetro para observar la escala a través del ocular.
11. Leer el índice de refracción y anotar la temperatura del termómetro.
12. Apagar la lámpara.
13. Abrir el montaje del prisma y limpiar con un paño de limpieza.
14. Lavar el prisma con etanol u otro solvente para limpiarlo.

Diagrama 6. Flujo para determinación del índice de refracción aceite de sésamo

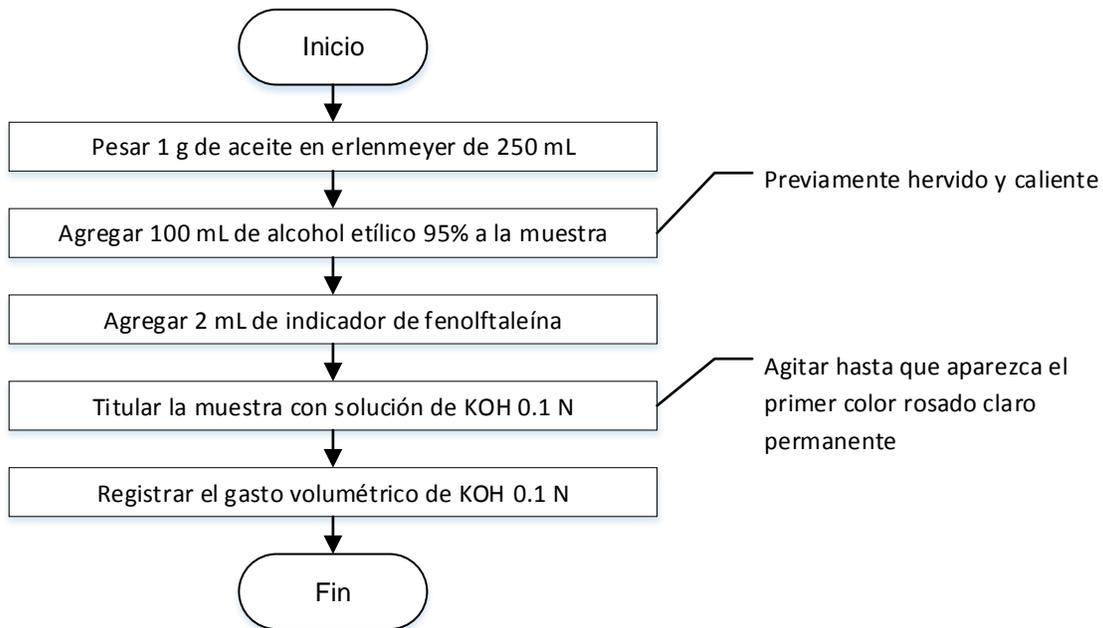


Fuente: elaboración propia (2018).

3.3.7. AOAC 940.28 Determinación del índice de acidez de aceite de sésamo.

1. Pesar 1 g de muestra de aceite dentro de un Erlenmeyer de 250 mL.
2. Agregar 100 mL de alcohol etílico al 95% hervido y caliente a la muestra.
3. Agregar 2 mL de indicador de fenolftaleína.
4. Titular la muestra con solución de KOH 0.1 N, agitando vigorosamente hasta que aparezca el primer color rosado claro permanente; el color debe persistir por más de 30 segundos.

Diagrama 7. Flujo para determinación del índice de acidez

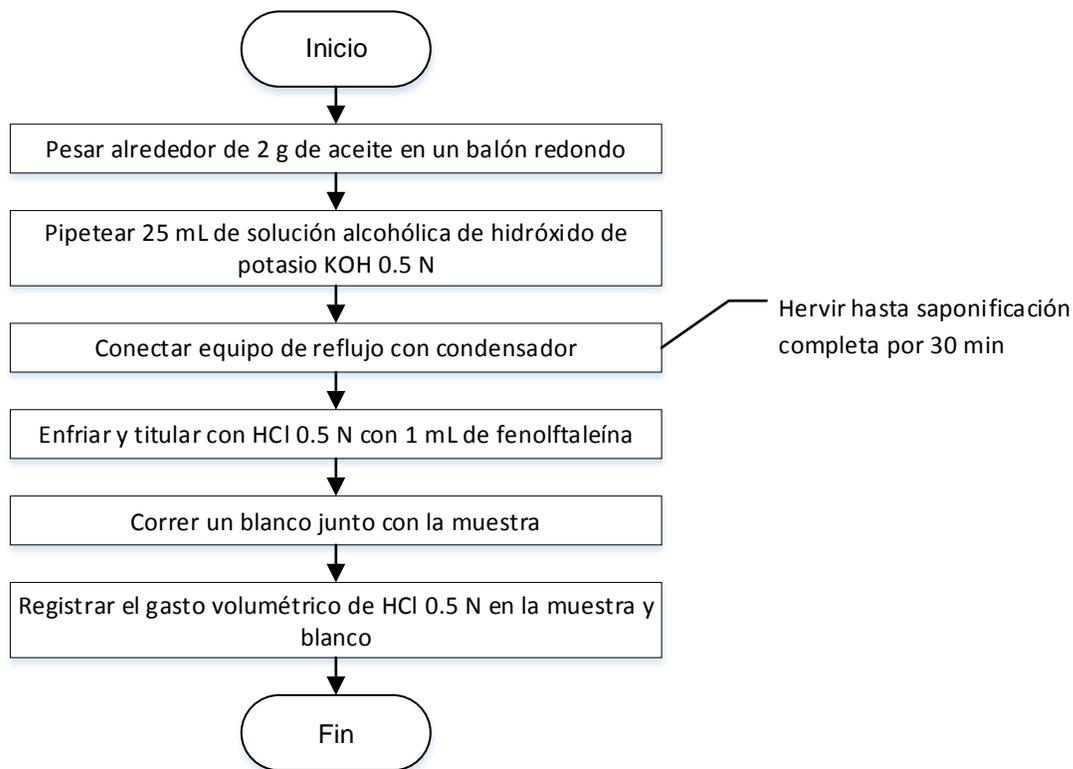


Fuente: elaboración propia (2018).

3.3.8. AOAC 920.160 Determinación del índice de saponificación de aceite de sésamo.

1. Pesar alrededor de 2 g de muestra de aceite en un balón redondo.
2. Pipetear 25 mL de solución alcohólica de hidróxido de potasio (KOH) 0.5 N.
3. Conectar el condensador en reflujo y hervir hasta que la grasa este completamente saponificada (aproximadamente 30 minutos).
4. Enfriar y titular con ácido clorhídrico (HCl) 0.5 N utilizando fenolftaleína (1 mL) como indicador.
5. Correr un blanco junto con la muestra usando la misma pipeta para medir la solución de KOH.

Diagrama 8. Flujo para determinación del índice de saponificación



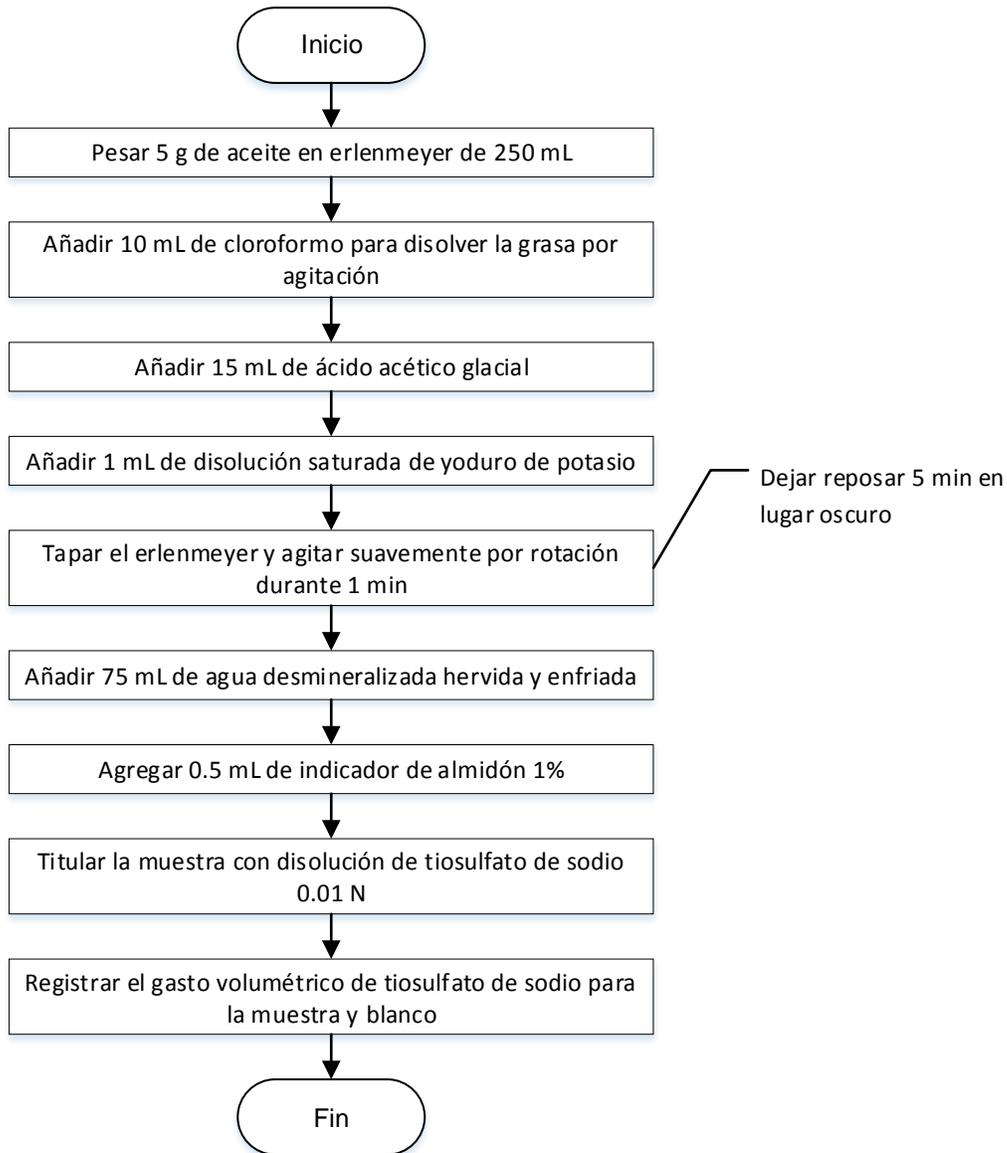
Fuente: elaboración propia (2018).

3.3.9. AOAC 965.33 Determinación del índice de peróxido de aceite de sésamo.

1. Pesar 5 g de muestra en un Erlenmeyer de 250 mL.
2. Añadir 10 mL de cloroformo para disolver rápidamente la grasa por agitación.
3. Añadir 15 mL de ácido acético glacial.
4. Añadir 1 mL de disolución saturada de yoduro de potasio.
5. Tapar el Erlenmeyer y agitar suavemente por rotación durante 1 minuto; dejar reposar 5 minutos en un lugar oscuro.
6. Añadir 75 mL de agua desmineralizada recientemente hervida y enfriada.

7. Agregar 0.5 mL de almidón al 1%.
8. Valorar en la muestra y el blanco el yodo liberado con una disolución de Tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0.01 N.

Diagrama 9. Flujo para determinación del índice de peróxido



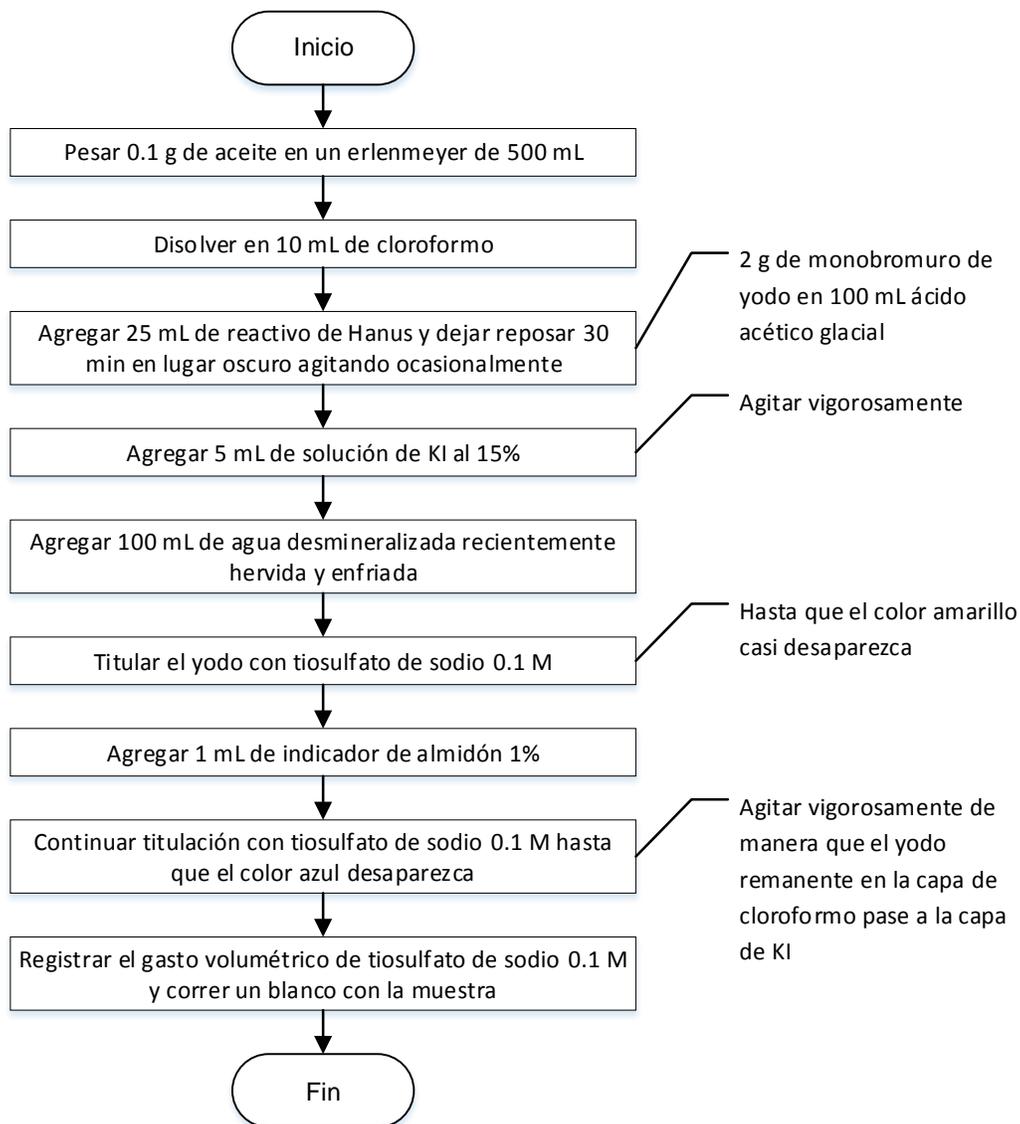
Fuente: elaboración propia (2018).

3.3.10. AOAC 920.158 Determinación del índice de yodo de aceite de sésamo.

1. Pesar alrededor de 4 gotas de aceite (0.1 g de grasa) en un Erlenmeyer de 500 mL.
2. Disolver en 10 mL de cloroformo.

3. Añadir con pipeta volumétrica 25 mL de reactivo de Hanus y dejar reposar exactamente 30 minutos en un lugar oscuro agitando ocasionalmente.
4. Añadir 5 mL de solución de KI al 15%, agitar vigorosamente.
5. Añadir 100 mL de agua desmineralizada recientemente hervida y enfriada, lavando cualquier cantidad de yodo libre de la boquilla.
6. Titular el yodo con tiosulfato de sodio 0.1 M añadiéndolo gradualmente, con agitación constante, hasta que el color amarillo de la solución casi desaparezca.
7. Añadir 1 mL de indicador de almidón al 1%.
8. Continuar la titulación hasta que el color azul desaparezca completamente.
9. Hacia el fin de la titulación, tapar el Erlenmeyer y agitar vigorosamente de manera que todo el yodo remanente en la capa de cloroformo pase a la capa de yoduro de potasio. Nota: correr un blanco con la muestra.

Diagrama 10. Flujo para determinación del índice de yodo

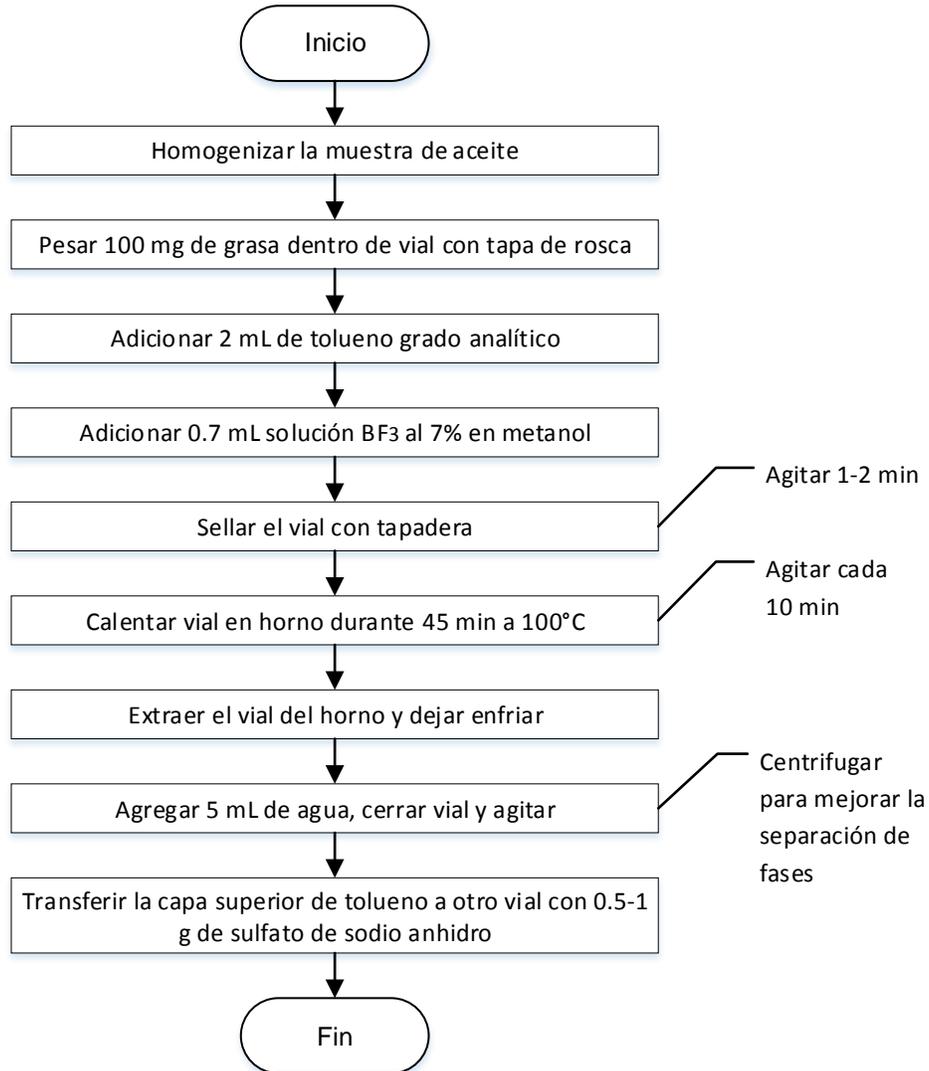


Fuente: elaboración propia (2018).

3.3.11. Derivatización de muestra de aceite para cromatografía

1. Homogenizar la muestra.
2. Pesar 100 mg de grasa dentro de un vial de vidrio de 10-20 mL con tapa con sello de teflón/silicona.
3. Adicionar 2 mL de solución de estándar interno de triundecanoína-C11:0 5 mg/mL disuelto en tolueno.
4. Adicionar 0.7 mL de solución de trifluoruro de boro al 7% en metanol.
5. Sellar el vial con tapadera de rosca y septo de teflón. Agitar suavemente durante 1-2 minutos.
6. Calentar el vial en horno durante 45 minutos a 100°C, agitando levemente el vial cada 10 minutos.
7. Extraer el vial del horno y dejar enfriar hasta temperatura ambiente. Añadir 5 mL de agua, cerrar vial y agitar 1 minuto. Dejar que se separen las capas. Nota: puede ser necesario centrifugar para acelerar y mejorar la separación de fases.
8. Transferir cuidadosamente la capa superior de tolueno a otro vial con 0.5-1 g de sulfato de sodio anhidro. Nota: la capa de tolueno contiene los FAMES, incluyendo el estándar interno.

Diagrama 11. Flujo para derivatización de aceite de sésamo



Fuente: elaboración propia (2018).

3.4 Diseño y metodología estadística

3.4.1. Determinación de número de muestras de laboratorio para extracción.

El tamaño de muestra necesario para poder extrapolar los resultados depende básicamente de cuatro variables:

1. El nivel de confianza. Es también llamado grado o nivel de seguridad. El nivel de confianza habitual para experimentación es 95% con nivel de significancia de $\alpha=0.05$. Cuanto más grande es el nivel de confianza, mayor será la garantía de que la estimación realizada a través de la muestra se aproxime a la realidad. Se representa en la ecuación por medio del valor “z” (Pérez, 2005).
2. La media. Es una medida de tendencia central que representa el valor característico de una serie de datos.
3. La desviación estándar del muestreo. Es una medida de dispersión de los valores de una serie de datos con respecto de la media aritmética.
4. El margen de error es un porcentaje de incertidumbre que establece el riesgo estimado de que la muestra elegida no sea representativa. Para diseños experimentales, es aceptable un error de 5%. El investigador decide el máximo error que está dispuesto a tolerar. López (2004) indica que puede ser 10%, 5%, 2%, entre otros.

El intervalo de confianza para una media utilizando la desviación estándar de muestreo conocida a partir de experiencias previas se puede expresar como:

$$\text{IC para } \mu = \bar{x} \pm \frac{z\sigma_s}{\sqrt{N}}$$

Sin embargo, cuando se utiliza una estimación de la desviación estándar de muestreo en un intervalo de confianza para una media, se debe utilizar t en lugar de z .

$$\text{IC para } \mu = \bar{x} \pm \frac{t\sigma_s}{\sqrt{N}}$$

El último término de esta ecuación representa el margen de error que se puede tolerar a un nivel de confianza particular. Si se divide este término entre el valor medio \bar{x} se puede identificar como la incertidumbre relativa σ_r , que es tolerable a un nivel definido de confianza por el investigador:

$$\sigma_r = \frac{t\sigma_s}{\bar{x}\sqrt{N}}$$

Para obtener la cantidad de muestreo, se resuelve la ecuación anterior para N:

$$N = \frac{t^2 s_s^2}{\bar{x}^2 \sigma_r^2}$$

Ecuación 1. Número de muestras para análisis experimental. **Fuente:** Skoog (2015), pág. 163-164.

Donde:

N: Número de repeticiones de la extracción.

t : Valor asociado al nivel de confianza de 95% ($t=1.96$)

s_s : Desviación estándar de la muestra obtenida de Anexo I.

\bar{x} : Media del conjunto de datos obtenida de Anexo I.

σ_r : Desviación estándar relativa. Dado que, en este tipo de muestreo y según Skoog (2015) la desviación estándar relativa se puede tolerar como un margen de error a un nivel de confianza, se asumirá un valor de 4.47% de acuerdo a lo establecido por López (2004).

La media y desviación estándar de muestreo fueron obtenidos de la investigación de Cervantes (2012) y se encuentran disponibles en el Anexo I.

El utilizar t , en lugar de z , en la Ecuación 1 provoca que el valor t , en sí mismo, dependa de N, lo cual es una complicación. Normalmente, sin embargo, se puede resolver la ecuación por iteración y se obtiene el número de muestras.

$$N = \frac{(1.96)^2 (1.87)^2}{(51.64)^2 (0.0447)^2} = 2.52$$

Se redondea este resultado a 3 muestras y se encuentra que el valor t para 2 grados de libertad es 4.303. Utilizando este valor t , se calcula ahora un segundo valor para N, el cual es 12.15. Si ahora se utiliza 11 grados de libertad y $t = 2.201$, el siguiente valor es $N = 3.18$. Al utilizar de nuevo 2 grados de libertad y $t = 4.303$, se obtiene $N = 12.15$.

En este caso, en lugar de aproximarse a un único valor, la cantidad de muestras se encuentra entre 3 y 12. Para resolverlo, se construirá una gráfica de tendencia evaluando otros valores de margen de error.

La siguiente tabla contiene los valores variables de grados de libertad, t , σ_r y N , manteniendo constantes la desviación estándar de la muestra y la media en la Ecuación 1.

Tabla 18. Obtención de datos de tendencia para selección de número de muestras.

$\sigma_r = 0.0405$			$\sigma_r = 0.04$			$\sigma_r = 0.037$			$\sigma_r = 0.0344$		
gL	t	N	gL	t	N	gL	t	N	gL	t	N
∞	1.96	3	∞	1.96	3	∞	1.96	4	∞	1.96	4
2	4.303	15	2	4.303	15	3	3.182	10	3	3.182	11
14	2.145	4	14	2.145	4	9	2.262	5	10	2.228	6
3	3.182	8	3	3.182	8	4	2.776	7	5	2.571	7
7	2.365	4	7	2.365	5	6	2.447	6	6	2.447	7
3	3.182	8	4	2.776	6	5	2.571	6	6	2.447	7
7	2.365	4	5	2.571	5	5	2.571	6	6	2.447	7
$\sigma_r = 0.03$			$\sigma_r = 0.025$			$\sigma_r = 0.02$			$\sigma_r = 0.017$		
gL	t	N	gL	t	N	gL	t	N	gL	t	N
∞	1.96	6	∞	1.96	8	∞	1.96	13	∞	1.96	17
5	2.571	10	7	2.365	12	12	2.179	16	16	2.12	20
9	2.262	7	11	2.201	10	15	2.131	15	19	2.093	20
6	2.447	9	9	2.262	11	14	2.145	15	19	2.093	20
8	2.306	8	10	2.228	10	14	2.145	15	19	2.093	20
7	2.365	8	9	2.262	11	14	2.145	15	19	2.093	20
7	2.365	8	10	2.228	10	14	2.145	15	19	2.093	20

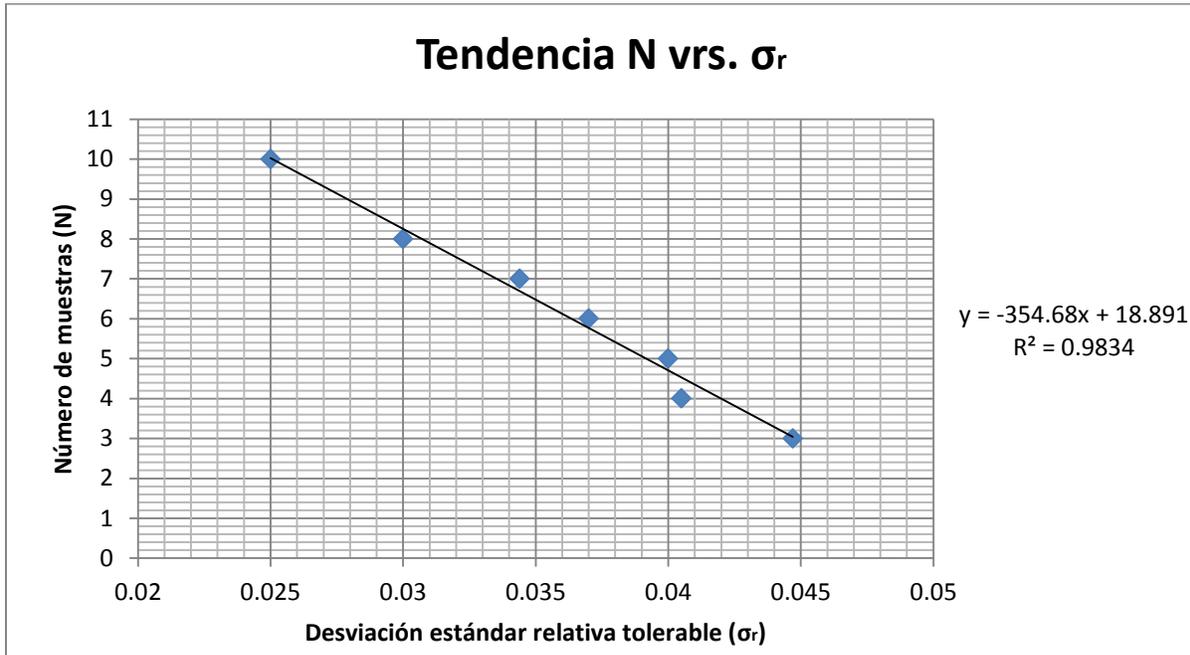
Fuente: elaboración propia (2018).

Tabla 19. Datos de gráfico de tendencia para selección de número de muestras.

Margen de error/Desviación estándar relativa (σ_r)	Número de muestras (N)
0.0447	3
0.0405	4
0.04	5
0.037	6
0.0344	7
0.03	8
0.025	10

Fuente: elaboración propia (2018).

Gráfica 1. Tendencia de la desviación estándar relativa tolerable (margen de error) con el número necesario de muestras a evaluar.



Fuente: elaboración propia (2018).

La tendencia de la Gráfica 1, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.9834$ y, por lo tanto, un coeficiente de correlación de $R = -0.9917$ indica que existe una relación inversamente proporcional entre la desviación estándar relativa y el número de muestras. A mayor margen de error se acepta una menor cantidad de muestras, mientras que a menor margen de error se requiere mayor cantidad de muestras, disminuyendo el riesgo de que la muestra no sea representativa.

Se comprueba que la desviación estándar relativa de $\sigma_r = 0.0447$ permite analizar 3 muestras debido a que éste punto de la gráfica pertenece a la tendencia y correlación de los datos.

Tabla 20. Número de extracciones Soxhlet y análisis fisicoquímicos por tipo de semilla.

Ajonjolí	Semilla natural	Semilla descortezada
Número de muestras	3	3

Fuente: elaboración propia (2018).

3.4.2. Diseño experimental

Tabla 21. Experimentos realizados en el desarrollo del proyecto de investigación.

No. Experimento	Descripción	Tratamiento	Repeticiones
<p>Experimento 1</p> <p>Lixiviación</p>	<p>Se realizó la preparación de la muestra y la extracción del aceite de sésamo a partir de pasta de ajonjolí con equipo Soxhlet.</p>	<p>Extracción del aceite de sésamo de semillas natural y descortezada durante 6 horas y concentración por destilación simple.</p>	<p>Tres corridas en las que se extrajo el aceite de la semilla natural y tres corridas para la semilla descortezada a la temperatura de ebullición del hexano.</p>
<p>Experimento 2</p> <p>Análisis fisicoquímicos</p>	<p>Se realizó una caracterización del aceite de sésamo por medio de análisis fisicoquímicos.</p>	<p>Análisis de densidad, humedad, índice de refracción, acidez, índice de peróxido, índice de saponificación e índice de yodo. Cromatografía de GC-MS.</p>	<p>Tres corridas por cada análisis fisicoquímico por semilla de sésamo natural y descortezada.</p>

Fuente: elaboración propia (2018).

3.4.3. Descripción de las unidades experimentales

Cada experimento fue realizado en base a una unidad de análisis la cual se describe a continuación.

- Experimento 1: extracción sólido-líquido del aceite de sésamo a partir de pasta de semillas natural y descortezada en equipo Soxhlet utilizando hexano como solvente.
- Experimento 2: caracterización fisicoquímica del aceite de sésamo a partir de semilla natural y descortezada. Los análisis físicos consisten en densidad, humedad e índice de refracción; los análisis químicos consisten en índice de acidez, índice de saponificación, índice de peróxido e índice de yodo.

3.4.4 Variable respuesta

Tabla 22. Experimentos realizados en el desarrollo del proyecto de investigación y su variable respuesta.

Experimento	Variable respuesta
Experimento 1 Lixiviación	Porcentaje de rendimiento de extracción de aceite de sésamo
Experimento 2 Análisis fisicoquímicos	Densidad, humedad, índice de refracción
	Índice de acidez, índice de saponificación, índice de peróxido, índice de yodo
	Tiempos de retención y área de picos determinados por cromatograma

Fuente: elaboración propia (2018).

3.4.5 Metodología de análisis estadístico

- Media aritmética: se utilizó para determinar medias para las variables respuesta en experimentos 1 y 2 de porcentaje de rendimiento de extracción, densidad, humedad, índice de refracción, índice de acidez, índice de saponificación, índice de peróxido, índice de yodo, tiempos de retención y área de picos del cromatograma.

La ecuación es la siguiente:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Ecuación 2. Media aritmética

Donde

\bar{x} = Media aritmética

x_i = Valores del experimento

n = Número de datos

- Desviación estándar: se utilizó para determinar la dispersión de los datos de las variables respuesta en experimentos 1 y 2 de porcentaje de rendimiento de extracción, densidad, humedad, índice de refracción, índice de acidez, índice de saponificación, índice de peróxido, índice de yodo, tiempos de retención y área de picos del cromatograma.

La ecuación es la siguiente:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Ecuación 3. Desviación estándar

Donde

s = Desviación estándar

x = Valores del experimento

\bar{x} = Media

n = Total de valores presentes

- Análisis de varianza ANOVA de un solo factor: se utilizó para determinar la diferencia significativa entre las variables respuesta de los experimentos 1 y 2 de rendimiento de extracción, densidad, humedad, índice de refracción, índice de acidez, índice de saponificación, índice de peróxido, índice de yodo y área de picos del cromatograma obtenidos de la semilla de sésamo natural y descortezada.

Este análisis consiste en una serie de cálculos en los que intervienen varias ecuaciones descritas a continuación.

$$sce = n \left[\sum (\bar{x}_i - \bar{X})^2 + \sum (\bar{x}_j - \bar{X})^2 \right]$$

Ecuación 4. Suma de cuadrados entre grupos

Donde

sce = Suma de cuadrados entre grupos

n = Número de datos por grupo

\bar{x}_i = Media del primer grupo de datos

\bar{x}_j = Media del segundo grupo de datos

\bar{X} = Media de las medias

$$sci = \sum (x_i - \bar{x}_i)^2 + \sum (x_j - \bar{x}_j)^2$$

Ecuación 5. Suma de cuadrados intra grupo

Donde

sci = Suma de cuadrados intra grupo

x_i = Datos del primer grupo

x_j = Datos del segundo grupo

\bar{x}_i = Media del primer grupo de datos

\bar{x}_j = Media del segundo grupo de datos

$$SCT = sce + sci$$

Ecuación 6. Suma de cuadrados total

Donde

SCT = Suma de cuadrados total

sce = Suma de cuadrados entre grupos

sci = Suma de cuadrados intra grupo

$$GLe = m - 1$$

Ecuación 7. Grados de libertad entre grupos

Donde

GLe = Grados de libertad entre grupos

m = Número de grupos

$$GLi = m(n - 1)$$

Ecuación 8. Grados de libertad intra grupo

Donde

GLi = Grados de libertad intra grupo

m = Número de grupos

n = Número de datos por grupo

$$CMe = \frac{sce}{GLe}$$

Ecuación 9. Cuadrado medio entre grupos

Donde

CMe = Cuadrado medio entre grupos

sce = Suma de cuadrados entre grupos

GLe = Grados de libertad entre grupos

$$CMi = \frac{sci}{GLi}$$

Ecuación 10. Cuadrado medio intra grupo

Donde

CMi = Cuadrado medio intra grupo

sci = Suma de cuadrados intra grupo

GLi = Grados de libertad intra grupo

$$F = \frac{CMe}{CMi}$$

Ecuación 11. Estadístico F

Donde

F = Estadístico F

CMe = Cuadrado medio entre grupos

CMi = Cuadrado medio intra grupo

Se utilizó el programa Microsoft Excel para facilitar los cálculos en el proceso de elaboración del proyecto. Las probabilidades a partir del estadístico F de Fisher fueron calculadas con la función DISTR.F de Excel, las cuales son obtenidas de tablas de distribución F. El valor crítico F se obtuvo a partir de los grados de libertad entre grupos (Ecuación 7) y los grados de libertad intra grupos (Ecuación 8), como se muestra a continuación:

$$n_1 = m - 1 = 2 - 1 = 1$$

$$n_2 = m (n - 1) = 2 (3 - 1) = 4$$

En base a la tabla estadística Distribución F de Fisher y los anteriores grados de libertad, se lee el valor crítico $F = 7.71$. Para cada análisis ANOVA, se calcula el estadístico F de la Ecuación 11 y se compara el valor crítico $F = 7.71$. Si el estadístico F de la prueba es mayor que el valor crítico F, la probabilidad de que se cumpla la hipótesis nula es muy pequeña (menor al nivel de significancia $\alpha=0.05$) y, por lo tanto, se rechazaría la hipótesis nula y se aceptaría la hipótesis alternativa.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

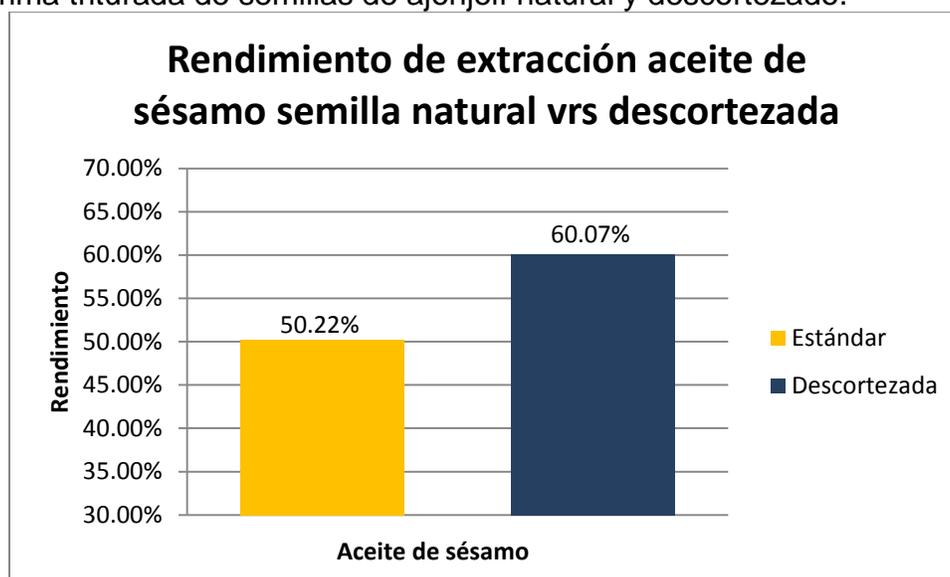
4.1. Rendimiento de extracción

Tabla 23. Rendimiento de extracción promedio de aceite de sésamo respecto al peso de la materia prima triturada de semillas de ajonjolí natural y descortezado.

Semilla	Media (%)	Desviación estándar (%)	Varianza
Natural	50.2170	± 1.1720	1.3736
Descortezada	60.0654	± 1.3200	1.7424

Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 44 y 45 del Anexo B (2018).

Gráfica 2. Rendimiento de extracción de aceite de sésamo respecto al peso de la materia prima triturada de semillas de ajonjolí natural y descortezado.



Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 23 (2018).

Tabla 24. ANOVA para extracción de aceite de sésamo respecto al peso de la materia prima triturada de semillas de ajonjolí natural y descortezado.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre grupos	145.4865	1	145.4865	93.3809	0.000642	7.71
Dentro de los grupos	6.2320	4	1.5580			
Total	151.7184	5				

Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 44 y 45 del Anexo B (2018).

El estadístico F de la prueba es mayor que el valor crítico F ($F_{\text{calculado}}=93.3809 > F_{\text{crítico}}=7.71$). La probabilidad de que se cumpla la hipótesis nula es de 0.000642 y ésta es menor que el nivel de significancia ($P=0.000642 < \alpha=0.05$). Se comprueba que sí existe una diferencia significativa del rendimiento de extracción de aceite de sésamo en función del tipo de semilla. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula.

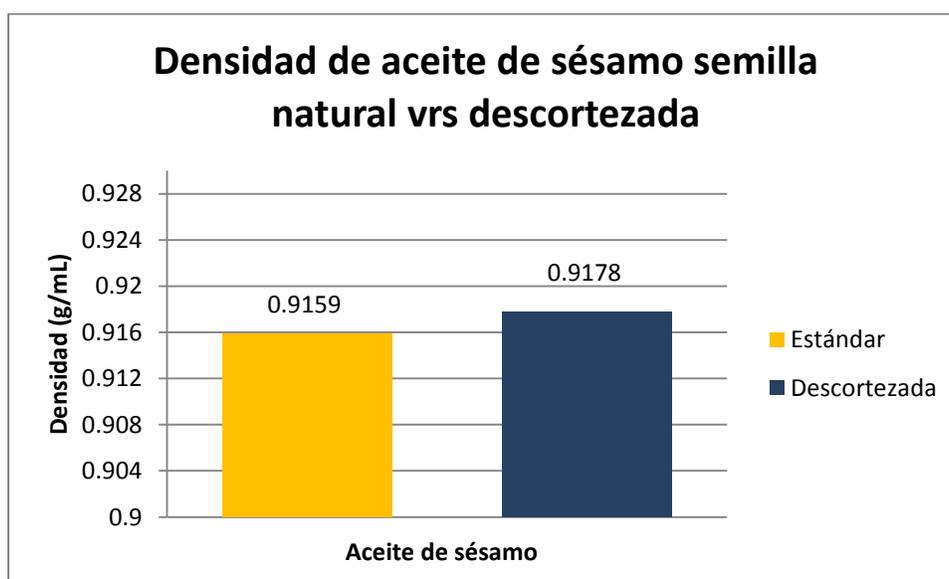
4.2. Densidad

Tabla 25. Densidad promedio del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.

Semilla	Media (g/mL)	Desviación estándar (g/mL)	Varianza
Natural	0.9159	± 0.0012	1.44×10^{-6}
Descortezada	0.9178	± 0.0054	2.11×10^{-5}

Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 46 del Anexo B (2018).

Gráfica 3. Densidad del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.



Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 25 (2018).

Tabla 26. ANOVA para densidad del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre grupos	5.8017×10^{-6}	1	5.8017×10^{-6}	0.3723	0.5747	7.71
Dentro de los grupos	6.2333×10^{-5}	4	1.5583×10^{-5}			
Total	6.8135×10^{-5}	5				

Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 46 del Anexo B (2018).

El estadístico F de la prueba es menor que el valor crítico F ($F_{\text{calculado}}=0.3723 < F_{\text{crítico}}=7.71$). La probabilidad de que se cumpla la hipótesis nula es de 0.5747 y ésta es mayor que el nivel de significancia ($P=0.5747 > \alpha=0.05$). Se comprueba que no existe una diferencia significativa entre la densidad de aceite de sésamo en función del tipo de semilla. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula.

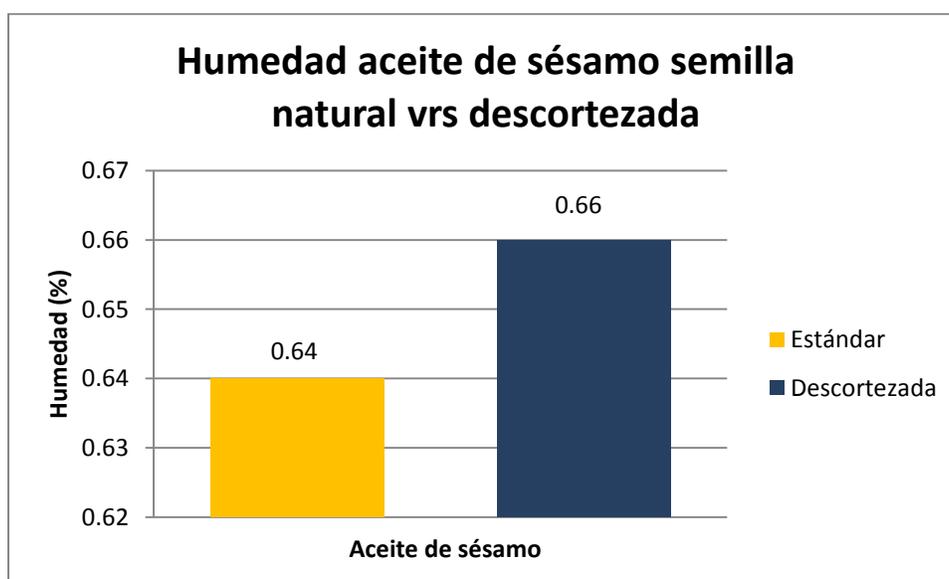
4.3. Humedad

Tabla 27. Humedad promedio del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.

Semilla	Media (%)	Desviación estándar (%)	Varianza
Natural	0.64	± 0.0781	0.0061
Descortezada	0.66	± 0.0520	0.0027

Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 47 del Anexo B (2018).

Gráfica 4. Humedad del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.



Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 27 (2018).

Tabla 28. ANOVA para humedad del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre grupos	0.0006	1	0.0006	0.1364	0.7306	7.71
Dentro de los grupos	0.0176	4	0.0044			
Total	0.0182	5				

Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 47 (2018).

El estadístico F de la prueba es menor que el valor crítico F ($F_{\text{calculado}}=0.1364 < F_{\text{crítico}}=7.71$). La probabilidad de que se cumpla la hipótesis nula es de 0.7306 y ésta es mayor que el nivel de significancia ($P=0.7306 > \alpha=0.05$). Se comprueba que no existe una diferencia significativa entre la humedad de aceite de sésamo en función del tipo de semilla. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula.

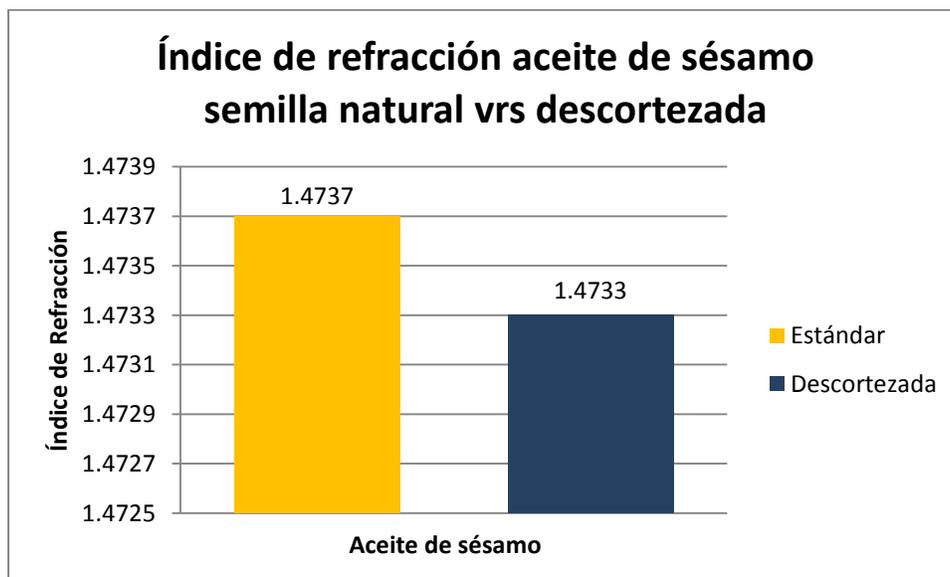
4.4. Índice de refracción

Tabla 29. Índice de refracción promedio del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.

Semilla	Media	Desviación estándar	Varianza
Natural	1.4737	$\pm 2.8867 \times 10^{-4}$	8.3330×10^{-8}
Descortezada	1.4733	$\pm 2.8867 \times 10^{-4}$	8.3330×10^{-8}

Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 48 del Anexo B (2018).

Gráfica 5. Índice de refracción del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.



Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 29 (2018).

Tabla 30. ANOVA para índice de refracción del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre grupos	1.6667×10^{-7}	1	1.6667×10^{-7}	2	0.2302	7.71
Dentro de los grupos	3.3333×10^{-7}	4	8.3333×10^{-8}			
Total	5.0000×10^{-7}	5				

Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 48 del Anexo B (2018)

El estadístico F de la prueba es menor que el valor crítico F ($F_{\text{calculado}}=2 < F_{\text{crítico}}=7.71$). La probabilidad de que se cumpla la hipótesis nula es de 0.2302 y ésta es mayor que el nivel de significancia ($P=0.2302 > \alpha=0.05$). Se comprueba que no existe una diferencia significativa entre el índice de refracción de aceite de sésamo en función del tipo de semilla. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula.

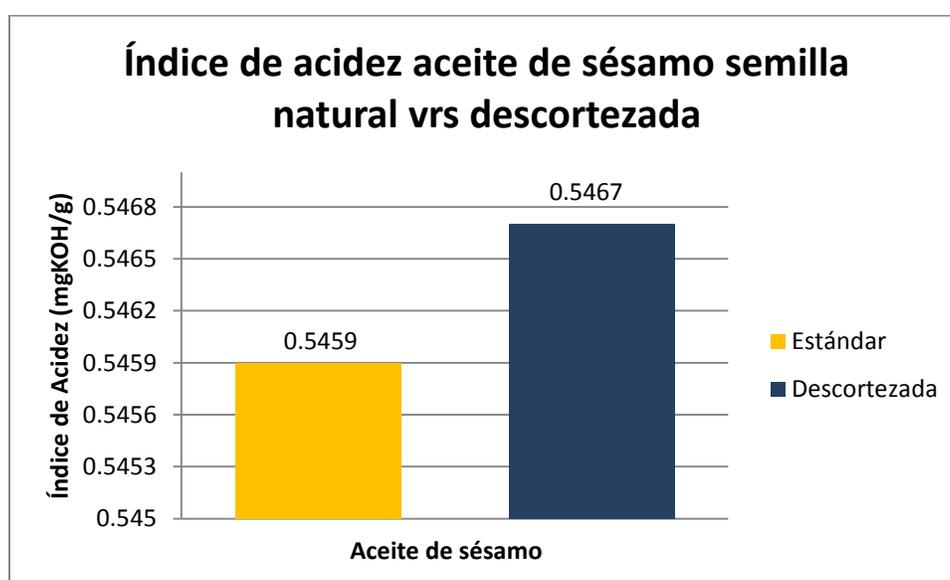
4.5. Índice de acidez

Tabla 31. Índice de acidez promedio del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.

Semilla	Media (mg KOH/g)	Desviación estándar (mg KOH/g)	Varianza
Natural	0.5459	± 0.02815	7.9242×10^{-4}
Descortezada	0.5467	± 0.0056	3.136×10^{-5}

Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 49 del Anexo B (2018).

Gráfica 6. Índice de acidez del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.



Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 31 (2018).

Tabla 32. ANOVA para índice de acidez del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre grupos	1.0667×10^{-7}	1	1.0667×10^{-7}	2.59×10^{-4}	0.9879	7.71
Dentro de los grupos	1.6482×10^{-3}	4	4.1206×10^{-4}			
Total	1.6483×10^{-3}	5				

Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 49 del Anexo B (2018).

El estadístico F de la prueba es menor que el valor crítico F ($F_{\text{calculado}}=2.59 \times 10^{-4} < F_{\text{crítico}}=7.71$). La probabilidad de que se cumpla la hipótesis nula es de 0.9879 y ésta es mayor que el nivel de significancia ($P=0.9879 > \alpha=0.05$). Se comprueba que no existe una diferencia significativa entre el índice de acidez de aceite de sésamo en función del tipo de semilla. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula.

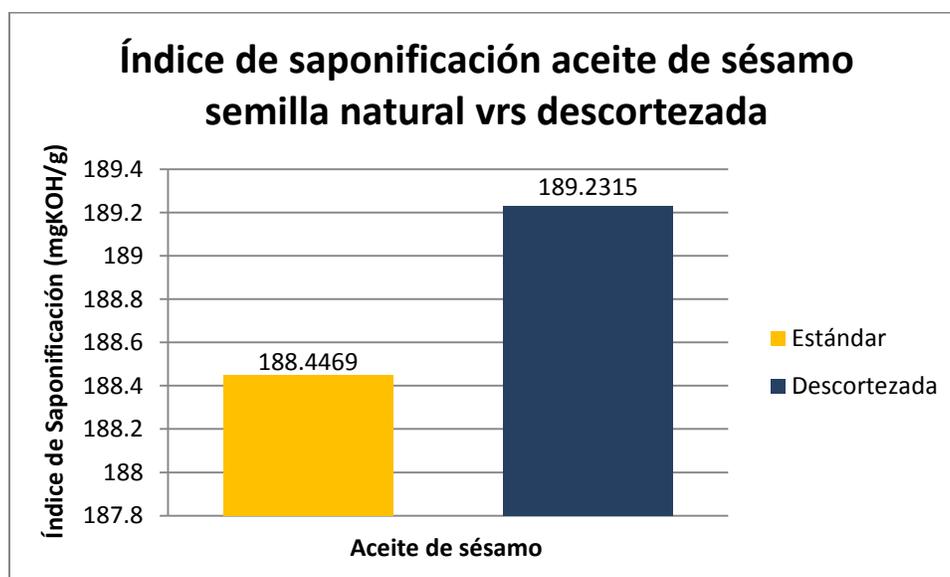
4.6. Índice de saponificación

Tabla 33. Índice de saponificación promedio del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.

Semilla	Media (mg KOH/g)	Desviación estándar (mg KOH/g)	Varianza
Natural	188.4469	± 1.8253	3.3317
Descortezada	189.2315	± 3.4341	11.7930

Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 50 del Anexo B (2018).

Gráfica 7. Índice de saponificación del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada



Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 33 (2018).

Tabla 34. ANOVA para índice de saponificación del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre grupos	0.9236	1	0.9236	0.1221	0.7444	7.71
Dentro de los grupos	30.2504	4	7.5626			
Total	31.1739	5				

Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 50 del Anexo B (2018).

El estadístico F de la prueba es menor que el valor crítico F ($F_{\text{calculado}}=0.1221 < F_{\text{crítico}}=7.71$). La probabilidad de que se cumpla la hipótesis nula es de 0.7444 y ésta es mayor que el nivel de significancia ($P=0.7444 > \alpha=0.05$). Se comprueba que no existe una diferencia significativa entre el índice de saponificación de aceite de sésamo en función del tipo de semilla. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula.

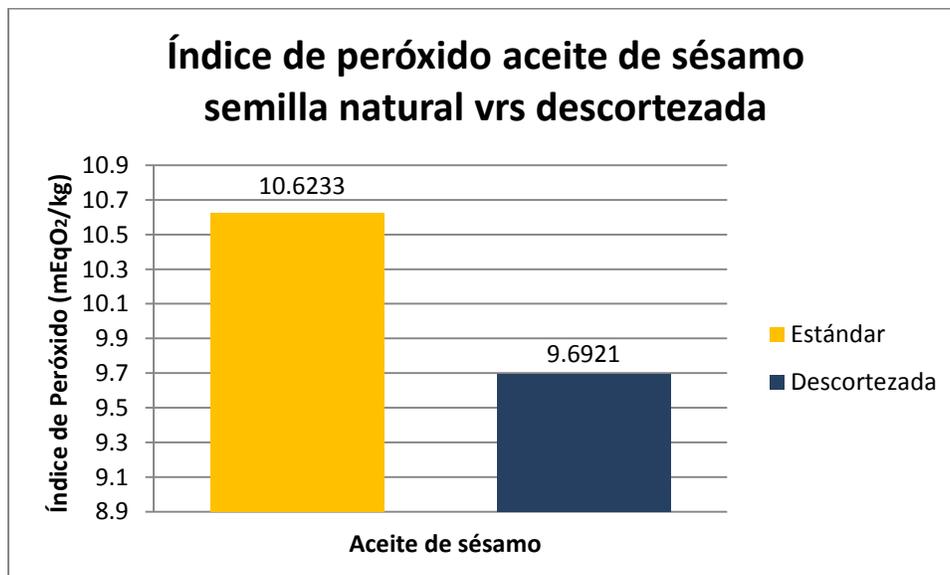
4.7. Índice de peróxido

Tabla 35. Índice de peróxido promedio del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.

Semilla	Media (mEq O ₂ /kg)	Desviación estándar (mEq O ₂ /kg)	Varianza
Natural	10.6233	± 1.5410	2.3747
Descortezada	9.6921	± 1.2311	1.5156

Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 51 del Anexo B (2018).

Gráfica 8. Índice de peróxido del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.



Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 35 (2018).

Tabla 36. ANOVA para índice de peróxido del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre grupos	1.3007	1	1.3007	0.7184	0.4444	7.71
Dentro de los grupos	7.2419	4	1.8105			
Total	8.5426	5				

Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 51 del Anexo B (2018).

El estadístico F de la prueba es menor que el valor crítico F ($F_{\text{calculado}}=0.7184 < F_{\text{crítico}}=7.71$). La probabilidad de que se cumpla la hipótesis nula es de 0.4444 y ésta es mayor que el nivel de significancia ($P=0.4444 > \alpha=0.05$). Se comprueba que no existe una diferencia significativa entre el índice de peróxido de aceite de sésamo en función del tipo de semilla. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula.

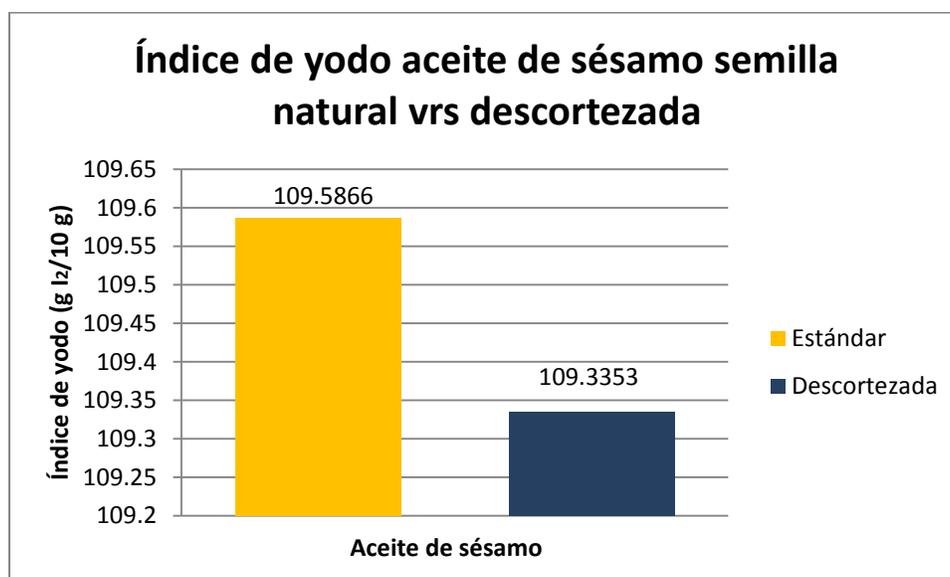
4.8. Índice de yodo

Tabla 37. Índice de yodo promedio del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.

Semilla	Media (g I ₂ / 10 g aceite)	Desviación estándar (g I ₂ / 10 g aceite)	Varianza
Natural	109.5866	± 1.6918	2.8622
Descortezada	109.3353	± 0.9329	0.8703

Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 52 del Anexo B (2018).

Gráfica 9. Índice de yodo del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.



Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 37 (2018).

Tabla 38. ANOVA para índice de yodo del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre grupos	0.0947	1	0.0947	0.0507	0.8328	7.71
Dentro de los grupos	7.4652	4	1.8663			
Total	7.5599	5				

Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 52 del Anexo B (2018).

El estadístico F de la prueba es menor que el valor crítico F ($F_{\text{calculado}}=0.0507 < F_{\text{crítico}}=7.71$). La probabilidad de que se cumpla la hipótesis nula es de 0.8328 y ésta es mayor que el nivel de significancia ($P=0.8328 > \alpha=0.05$). Se comprueba que no existe una diferencia significativa entre el índice de yodo de aceite de sésamo en función del tipo de semilla. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula.

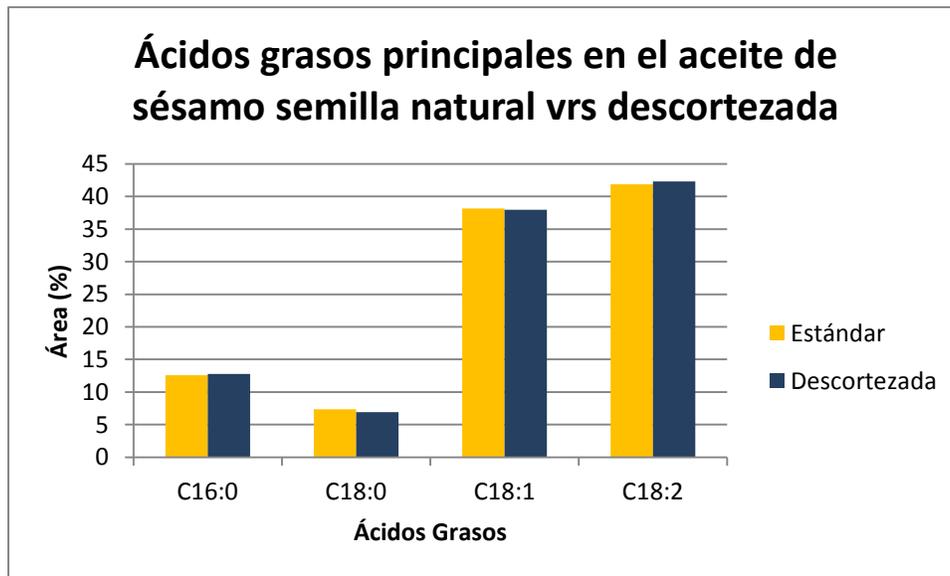
4.9. Cromatografía GC-MS

Tabla 39. Perfil de ácidos grasos promedio del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada

Semilla	Ácido Graso	Media (Área %)	Desviación estándar (Área %)	Varianza
Natural	C16:0	12.60	± 0.1701	0.0289
	C18:0	7.36	± 0.0802	0.0064
	C18:1	38.18	± 0.1710	0.0292
	C18:2	41.86	± 0.0764	0.0058
Descortezada	C16:0	12.79	± 0.1127	0.0127
	C18:0	6.92	± 0.0200	0.0004
	C18:1	37.99	± 0.0651	0.0042
	C18:2	42.31	± 0.0608	0.0037

Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 53, 54, 55, 56, 57 y 58 del Anexo B (2018).
Nota: C16:0 (Ácido palmítico), C18:0 (Ácido esteárico), C18:1 (Ácido oleico), C18:2 (Ácido linoleico).

Gráfica 10. Ácidos grasos principales en el aceite de sésamo semilla natural vrs descortezada.



Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 39 (2018).

Tabla 40. ANOVA para perfil de ácidos grasos del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico F
Ácido Palmítico						
Entre grupos	0.0561	1	0.0561	2.6934	0.1761	7.71
Dentro de los grupos	0.0833	4	0.0208			
Total	0.1393	5				
Ácido Esteárico						
Entre grupos	0.2948	1	0.2948	86.2878	0.000747	7.71
Dentro de los grupos	0.0137	4	0.0034			
Total	0.3085	5				
Ácido Oleico						
Entre grupos	0.0542	1	0.0542	3.2361	0.1464	7.71
Dentro de los grupos	0.0669	4	0.0167			
Total	0.1211	5				
Ácido Linoleico						
Entre grupos	0.3083	1	0.3083	64.67	0.0013	7.71
Dentro de los grupos	0.0191	4	0.0048			
Total	0.3273	5				

Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 53, 54, 55, 56, 57 y 58 del Anexo B (2018).

El estadístico F de la prueba para ácido palmítico es menor que el valor crítico F ($F_{\text{calculado}}=2.6934 < F_{\text{crítico}}=7.71$). La probabilidad de que se cumpla la hipótesis nula es de 0.1761 y ésta es mayor que el nivel de significancia ($P=0.1761 > \alpha=0.05$). Se comprueba que no existe una diferencia significativa entre el contenido de ácido palmítico en función del tipo de semilla. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula.

El estadístico F de la prueba para ácido esteárico es mayor que el valor crítico F ($F_{\text{calculado}}=86.2878 > F_{\text{crítico}}=7.71$). La probabilidad de que se cumpla la hipótesis nula es de 0.000747 y ésta es menor que el nivel de significancia ($P=0.000747 < \alpha=0.05$). Se comprueba que sí existe una diferencia significativa entre el contenido de ácido esteárico en función del tipo de semilla. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula.

El estadístico F de la prueba para ácido oleico es menor que el valor crítico F ($F_{\text{calculado}}=3.2361 < F_{\text{crítico}}=7.71$). La probabilidad de que se cumpla la hipótesis nula es de 0.1464 y ésta es mayor que el nivel de significancia ($P=0.1464 > \alpha=0.05$). Se comprueba que no existe una diferencia significativa entre el contenido de ácido oleico en función del tipo de semilla. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula.

El estadístico F de la prueba para ácido linoleico es mayor que el valor crítico F ($F_{\text{calculado}}=64.67 > F_{\text{crítico}}=7.71$). La probabilidad de que se cumpla la hipótesis nula es de 0.0013 y ésta es menor que el nivel de significancia ($P=0.0013 < \alpha=0.05$). Se comprueba que sí existe una diferencia significativa entre el contenido de ácido linoleico en función del tipo de semilla. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 41. Resumen de resultados de análisis de varianza (ANOVA)

No.	Hipótesis		Diferencia Significativa	
			No Existe	Sí Existe
1	Rendimiento extractivo del aceite de sésamo, en función del tipo de semilla (natural y descortezada)			X
2	Análisis físicos	Densidad	X	
		Humedad	X	
		Índice Refracción	X	
3	Análisis químicos	Índice acidez	X	
		Índice saponificación	X	
		Índice peróxido	X	
		Índice de yodo	X	
4	Perfil de ácidos grasos	Ácido palmítico	X	
		Ácido esteárico		X
		Ácido oleico	X	
		Ácido linoleico		X

Fuente: elaboración propia, en base a todas las tablas de análisis ANOVA presentadas (2018).

4.10. Estudio preliminar para la aplicación del aceite de sésamo de la región de Retalhuleu a la industria de cosméticos.

Tabla 42. Comparación de propiedades fisicoquímicas promedio del aceite de sésamo de semilla natural con los requisitos establecidos por el Códex Stan 210-1999.

Propiedad fisicoquímica	Semilla natural	Requisito fisicoquímico	¿Cumple con Codex Stan 210-1999?
Densidad (g/mL)	0.9159 ± 0.0012	0.915 – 0.924	Sí
Humedad (%)	0.64 ± 0.0781	≤ 0.2	No
Índice de refracción	1.4737 ± 2.89x10 ⁻⁴ (29°C)	1.465 – 1.469 (40°C)	No es posible determinar
Índice de acidez (mg KOH/g aceite)	0.5459 ± 0.02815	≤ 0.6	Sí
Índice de saponificación (mg KOH/ g aceite)	188.4469 ± 1.8253	186 – 195	Sí
Índice de peróxido (mEq O ₂ /kg)	10.6233 ± 1.5410	≤ 10	No
Índice de yodo (g I ₂ / 10 g aceite)	109.5866 ± 1.6918	104 – 120	Sí
Ácido Palmítico (%)	12.60 ± 0.1701	7.9 – 12	No
Ácido Esteárico (%)	7.36 ± 0.0802	4.8 – 6.1	No
Ácido Oleico (%)	38.18 ± 0.1710	35.9 – 42.3	Sí
Ácido Linoleico (%)	41.86 ± 0.0764	41.5 – 47.9	Sí

Fuente: elaboración propia (2018).

Tabla 43. Comparación de propiedades fisicoquímicas promedio del aceite de sésamo de semilla descortezada con los requisitos establecidos por el Códex Stan 210-1999.

Propiedad fisicoquímica	Semilla descortezada	Requisito fisicoquímico	¿Cumple con Codex Stan 210-1999?
Densidad (g/mL)	0.9178 ± 0.0054	0.915 – 0.924	Sí
Humedad (%)	0.66 ± 0.0520	≤ 0.2	No
Índice de refracción	1.4733 ± 2.8867x10 ⁻⁴ (29°C)	1.465 – 1.469 (40°C)	No es posible determinar
Índice de acidez (mg KOH/g aceite)	0.5467 ± 0.0056	≤ 0.6	Sí
Índice de saponificación (mg KOH/ g aceite)	189.2315 ± 3.4341	186 – 195	Sí
Índice de peróxido (mEq O ₂ /kg)	9.6921 ± 1.2311	≤ 10	Sí
Índice de yodo (g I ₂ / 10 g aceite)	109.3353 ± 0.9329	104 – 120	Sí
Ácido Palmítico (%)	12.79 ± 0.1127	7.9 – 12	No
Ácido Esteárico (%)	6.92 ± 0.0200	4.8 – 6.1	No
Ácido Oleico (%)	37.99 ± 0.0651	35.9 – 42.3	Sí
Ácido Linoleico (%)	42.31 ± 0.0608	41.5 – 47.9	Sí

Fuente: elaboración propia (2018).

CAPÍTULO V DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente trabajo de investigación se realizó la lixiviación de semillas natural y descortezada de ajonjolí (*Sesamum indicum*) con el objetivo de evaluar el rendimiento de la extracción del aceite de sésamo respecto al peso de ajonjolí triturado y realizar su caracterización fisicoquímica para posteriormente presentar una propuesta de aplicación en la industria de cosméticos.

Se utilizó hexano grado reactivo para la lixiviación del aceite de sésamo debido a que el Anexo I Parte II de la Directiva 2009/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo indica que se utiliza para producción o fraccionamiento de grasas y aceites. Adicionalmente, es un solvente con bajo punto de ebullición (68°C) fácil de recuperar por destilación, de bajo costo (Tabla 64), altamente selectivo por su característica no polar para disolver triglicéridos, posee alta estabilidad para resistir los ciclos de extracción-reextracción y por la disponibilidad de reactivos en la Universidad Rafael Landívar.

Los procedimientos de acondicionamiento de la materia prima son importantes como paso previo a la extracción de aceite. De acuerdo con Cervantes (2012) al retirar la cáscara de la semilla sin descortezar se deja expuesto el germen, el cual contiene alta concentración de lípido dentro de sus células generalmente emulsionada con agua.

El secado de las semillas a 100°C por 30 minutos y triturado en procesador de alimentos de alta potencia permite la ruptura de las paredes celulares, exponiendo al aceite localizado en el interior de la célula (específicamente los cuerpos lipídicos conocidos como oleosomas o esferosomas) y también facilita la percolación del solvente dentro del cual el aceite se difunde. Se ha determinado que la trituración y molienda de los sólidos acelera la acción de lixiviación porque las porciones solubles son más accesibles al disolvente (Treybal, 1968). Las gotas microscópicas de aceite contenidas en la semilla se unen entre sí para originar gotas de mayor dimensión, las que a su vez se extraen fácilmente de la semilla. Durante la extracción, el aceite es difundido hacia el solvente, mientras que las proteínas se retienen en la harina junto con las fibras y los carbohidratos (Grasso, 2013).

Para realizar las 6 extracciones con la materia vegetal se utilizó una fina pasta de ajonjolí ya que mientras más pequeño es el tamaño de partícula mayor es el área de contacto entre el sólido y el líquido y, por lo tanto, es más elevada la velocidad de transferencia del material. El solvente debe recorrer menor distancia en el interior del sólido y disminuye el recorrido de difusión del hexano en ajonjolí triturado (Foust, 2006). La extracción de compuestos activos es mayor cuando el material se encuentra seco ya que favorece un contacto más efectivo entre el solvente y el material orgánico,

facilitando el acceso de solvente en el interior de la estructura el sólido. El secado de las semillas también es importante para desactivar las enzimas que modifican los procesos de biosíntesis del aceite. Por otro lado, la ruptura de la pared celular en la trituration maximiza el área de transferencia de masa que propicia un mejor flujo en la interfase sólido-líquido.

La similitud química entre el solvente y el soluto (hexano y aceite de sésamo) se determina por la existencia de fuerzas de atracción denominadas fuerzas intermoleculares. Es decir, si las moléculas del hexano se encuentran unidas entre sí de forma similar a las moléculas del aceite, se produce la disolución. El hexano posee fuerzas de Van der Waals de dipolo inducido, ya que la molécula no muestra enlaces polares. McMurry (2012) indica que las moléculas de ácidos grasos saturados presentan destacadas fuerzas intermoleculares de Van der Waals mientras que las moléculas de ácidos grasos insaturados originan curvaturas estructurales que disminuyen las fuerzas de Van der Waals. Por lo tanto, la similitud química del hexano con los componentes principales del aceite de sésamo es alta y permite la disolución.

En las Tablas 44 y 45 del Anexo B se presenta el porcentaje de rendimiento de extracción de aceite de sésamo de semillas natural y descortezada respecto al peso de pasta de ajonjolí, respectivamente. En la Tabla 23 se observa que el promedio de rendimiento de extracción de aceite es mayor para la semilla descortezada presentando una media $60.0654 \pm 1.3200\%$ a comparación de la semilla natural que presenta una media de $50.2170 \pm 1.1720\%$. Esto representa una diferencia de $9.8484 \pm 1.7652\%$ apreciable en la Gráfica 2. Por medio del análisis de varianza (ANOVA) en la Tabla 24 se comprueba que la mayor variación proviene de la suma de cuadrados entre grupos, obteniendo una probabilidad de $P=0.000642$ la cual es menor que el nivel de significancia $\alpha=0.05$ y determinando que sí existe una diferencia significativa para el rendimiento de aceite de sésamo en función del tipo de semilla.

La diferencia de rendimiento de extracción entre la semilla natural y descortezada consiste en la composición del grano. La semilla descortezada presenta ausencia de cáscara y, por lo tanto, el contenido de lípido se encuentra más expuesto a diferencia de la semilla sin descortezar. En la extracción, el aceite de la semilla descortezada se encuentra rodeado de materia vegetal con una mayor solubilidad, lo cual le permite alcanzar una mejor velocidad de transferencia de masa y una mejor interacción entre el solvente y la estructura sólida. De acuerdo con McCabe (2007) la velocidad de lixiviación estará dominada principalmente por la velocidad de difusión a través del sólido y al acondicionar previamente la semilla de ajonjolí se obtiene un tamaño de partícula más pequeño que permite un contacto más efectivo con el solvente y una mayor concentración de soluto.

De acuerdo a la Tabla 2, las semillas de sésamo presentan una cantidad de fibra dietética total de 11.8 g por 100 g de porción comestible. Los componentes de esta fibra son celulosa (compuesto exclusivamente por moléculas de glucosa) y hemicelulosa (compuesto por monómeros de galactosa, manosa, xilosa, arabinosa, ácido glucurónico y ácido galacturónico), seguido de pectinas y otros polisacáridos no digeribles como la inulina, almidón y lignina (Lehninger, 2005). Murray (2010) indica que la celulosa es insoluble en la mayoría de solventes orgánicos, incluyendo el hexano. Además, Sjöström (1993) explica que ciertos compuestos de amonio cuaternario son más efectivos para disolver la celulosa y los solventes más importantes son bases orgánicas con complejos metálicos como el hidróxido de cuprietilendiamina e hidróxido de cadmio etilendiamina.

Debido a que los principales componentes de la fibra presentes en la cáscara de la semilla natural de ajonjolí son insolubles en hexano, el área efectiva de contacto del solvente con el interior del germen que contiene el aceite se reduce y, como consecuencia, el rendimiento de extracción disminuye. Otro factor que debe ser considerado en la extracción de aceite de sésamo de la semilla natural es que la ruptura de los enlaces glucosídicos $\beta(1\rightarrow4)$ de la estructura de celulosa y hemicelulosa permitiría que el aceite se separe más fácilmente del material vegetal. La ruptura se puede conseguir al hidrolizar los polisacáridos con enzimas celulasa y hemicelulasa, las cuales descomponen la fibra en múltiples monómeros de glucosa, galactosa, manosa, xilosa, arabinosa, ácido glucurónico y ácido galacturónico solubles en agua. Aunque la glucosa y el resto de monómeros no sean solubles en hexano, la descomposición de los polisacáridos en estructuras más simples permite una mayor transferencia de aceite hacia el solvente como consecuencia de la hidrólisis que incrementa la permeabilidad de la pared celular del material vegetal, permite la percolación del solvente y una extracción más eficiente (Grasso, 2013).

La caracterización fisicoquímica del aceite de sésamo consistió en análisis de densidad, humedad, índice de refracción, índice de acidez, índice de saponificación, índice de peróxido, índice de yodo y la identificación los ácidos grasos presentes por medio de una cromatografía gaseosa con acoplamiento a espectrometría de masas GC-MS. Cada una de las muestras fue almacenada en refrigeración para resguardar las propiedades del aceite y protegerlo de la luz que puede causar la oxidación de los componentes del mismo. Es importante mencionar que los resultados fisicoquímicos del aceite están en función de muchas variantes climatológicas y condiciones de suelo (altitud, latitud, longitud, clima, precipitación pluvial, humedad y tipo de suelo) y la metodología que se utilizó para la extracción del mismo.

Los valores de las medias para la densidad del aceite de sésamo se indican en la Tabla 25, obteniendo 0.9159 ± 0.0012 g/mL y 0.9178 ± 0.0046 g/mL para semilla natural y descortezada, respectivamente. En la Tabla 26 se muestra el análisis de varianza

(ANOVA) cuyo resultado indica que la mayor variación se encuentra en la suma de cuadrados dentro de los grupos, obteniendo una probabilidad de $P=0.5747$ la cual es mayor que el nivel de significancia $\alpha=0.05$ y determinando que no existe una diferencia significativa para la densidad del aceite de sésamo en función del tipo de semilla. La norma del Codex Stan 210-1999 para aceites vegetales comestibles establece que la densidad del aceite de sésamo se encuentra entre el rango de $0.915 - 0.924$ g/mL, por lo que tanto el aceite extraído de semillas natural como descortezada cumplen con dicho parámetro de calidad. Los resultados de densidad se encuentran entre el rango establecido, lo cual es importante para rechazar inconformidad por presencia de sólidos disueltos o impurezas que alteran la pureza del aceite; característica vital para los compradores internacionales del aceite de sésamo.

En la Tabla 27 se presentan los valores promedio para la humedad del aceite de sésamo, para el aceite de semilla natural el resultado es de $0.64 \pm 0.0781\%$ y para la semilla descortezada de $0.66 \pm 0.0520\%$. En la Tabla 28 se presenta el análisis de la varianza (ANOVA) cuyo resultado indica que la mayor variación proviene de la suma de cuadrados dentro de los grupos, obteniendo una probabilidad de $P=0.7306$ la cual es mayor que el nivel de significancia $\alpha=0.05$ y determinando que no existe una diferencia significativa para la humedad del aceite de sésamo en función del tipo de semilla. Sin embargo, el Codex Stan 210-1999 especifica que los aceites vegetales comestibles deben presentar un máximo de humedad de 0.2% y los resultados presentan aproximadamente 3 veces dicho valor. La presencia de humedad en el aceite extraído se debe que la semilla de ajonjolí contiene 4.69% de agua por 100 g de porción comestible (INCAP, 2012). La preparación de materia prima tiene influencia en el contenido de humedad; sería más efectivo triturar la muestra y luego secarla en el horno por más tiempo para reducir el contenido de agua en la pasta de ajonjolí de modo que al realizar la extracción, el aceite se encuentre con un menor porcentaje de humedad. Durante la lixiviación, pequeñas cantidades de agua fueron arrastradas por el solvente al momento en que el extractor Soxhlet realiza el sifón o ciclo de extracción. Debido a que la temperatura de extracción no superó los 70°C , el agua permaneció líquida en el fondo del balón junto con el aceite extraído. La destilación del solvente se realizó a una temperatura aproximada de 68°C , por lo que no se separó las trazas de agua del aceite. Generalmente, la humedad se determina con el método de Karl Fischer, el cual utiliza una valoración coulombimétrica o volumétrica para determinar trazas de agua en una muestra (Skoog, 2015). Entre las ventajas de éste método se pueden mencionar la alta exactitud, selectividad del agua, rango de medición casi ilimitado e independencia de otros compuestos volátiles.

El índice de refracción, η , es una propiedad que depende de la temperatura, la longitud de onda de la luz y la presión (Skoog, 2001); a mayor temperatura, el índice de refracción disminuye. Este comportamiento se puede explicar por medio de la densidad;

cuando existe un aumento de temperatura en un líquido se produce una dilatación que hace que el volumen aumente y, por lo tanto, la densidad disminuye. Al disminuir la densidad, la masa se encuentra más dispersa en el líquido, provocando un mayor ángulo de refracción de la luz incidente. Al aumentar el ángulo de refracción con respecto al ángulo de incidencia de la luz, el índice de refracción disminuye (ver Ecuación 14). En el caso que el aceite contuviera sólidos disueltos o impurezas, el ángulo de refracción sería menor dando como resultado un índice de refracción elevado.

El índice de refracción obtenido para el aceite de sésamo se muestra en la Tabla 29 cuyos valores medios son $1.4737 \pm 2.8867 \times 10^{-4}$ y $1.4733 \pm 2.8867 \times 10^{-4}$ a 29°C para aceite de semilla natural y descortezada, respectivamente. La Tabla 30 de análisis ANOVA indica que la mayor variación se encuentra en la suma de cuadrados dentro de los grupos, obteniendo una probabilidad de $P=0.2302$ la cual es mayor que el nivel de significancia $\alpha=0.05$ y determinando que no existe una diferencia significativa para la densidad del aceite de sésamo en función del tipo de semilla. El Codex Stan 210-1999 establece que el índice de refracción de aceite de sésamo a 40°C se encuentra entre el rango de 1.465 – 1.469, el cual es ligeramente menor al resultado obtenido. El índice de refracción a 40°C es menor que el índice de refracción del aceite a 29°C ya que éste último reduce en mayor cantidad la velocidad de la luz dentro del medio, es decir, provoca un menor ángulo de refracción y, por lo tanto, el índice de refracción es mayor. Debido a que el índice de refracción depende de la temperatura, no es posible comparar el parámetro de la norma a 40°C con el resultado obtenido a 29°C. Esta es una propiedad muy utilizada para comprobar la calidad del aceite de sésamo ya que permite la detección y cuantificación de impurezas o si el aceite fue mezclado con agua u otro líquido (Skoog, 2001).

El índice de acidez representa un factor de calidad por dos razones; la primera porque constituye una medida del grado de hidrólisis de una grasa y la segunda porque los ácidos grasos libres tienden a reaccionar con el oxígeno y ocasionar la rancidez hidrolítica del aceite. Los aceites vegetales están constituidos fundamentalmente por triglicéridos, ésteres de la glicerina con ácidos grasos y pueden contener ácidos grasos libres en distintas proporciones que varían desde 1% o menos hasta cantidades mayores que dependen de la naturaleza del aceite y de los procesos a los que ha sido sometido (Martínez *et al.*, 2008). El origen de los ácidos grasos libres se debe a la hidrólisis de los triglicéridos con el agua contenida en la semilla, la cual separa algunos ácidos grasos, produciendo glicerol y ácidos grasos libres (Medina, s.f.). Éstos se caracterizan porque no están unidos a la lipoproteína y son los únicos que reaccionan al ser neutralizados con hidróxido de potasio formando un jabón potásico (jabón sódico si reacciona con hidróxido de sodio) y agua como se observa en la Reacción 1 (Anexo F). Debido al método de extracción con solvente, el aceite extraído se considera pre-refinado y es común que contenga una cantidad reducida de ácidos grasos libres

debido a que el índice de polaridad del hexano es cero, es decir, tiende a extraer compuestos de naturaleza no polar (triglicéridos) y es inmisible con los componentes polares como el agua. Al separar a los triglicéridos del agua se evita la hidrólisis y, en gran parte, la producción de ácidos grasos libres. Es importante mencionar que para que se lleve a cabo la hidrólisis de los triglicéridos, el agua debe ser catalizada por el oxígeno o la temperatura para poder reaccionar.

La norma del Codex Stan 210-1999 establece que los índices de ácido para aceites refinados, aceites prensados en frío y aceites de palma vírgenes son 0.6, 4 y 10 mg KOH/g de aceite, respectivamente. Los valores medios obtenidos de índice de acidez se muestra en la Tabla 31, los cuales son 0.5459 mg KOH/g y 0.5467 mg KOH/g para el aceite de semilla natural y descortezada, respectivamente. Los resultados se encuentran levemente por debajo de la norma (0.6 mg KOH/g), lo cual es favorable ya que mientras más bajo sea el índice de acidez, la calidad del aceite es mayor en cuanto a la rancidez hidrolítica. Esta es la razón por la cual el índice de acidez permitido para aceites prensados en frío es más alto (4 mg KOH/g); en este tipo de extracción se utiliza únicamente medios mecánicos y el agua contenida en la semilla tiene contacto directo con el aceite, produciendo la hidrólisis de triglicéridos y dando como resultado una mayor cantidad de ácidos grasos libres. Sin embargo, el aceite prensado en frío presenta una mejor calidad en cuanto a la retención de sus nutrientes, a diferencia de la lixiviación al utilizar fuertes solventes. Tanto el aceite de sésamo de semilla natural como descortezada cumplen con el requerimiento internacional de calidad para el índice de acidez. En la Tabla 32 se muestra el análisis ANOVA cuyo resultado indica que la mayor variación proviene de la suma de cuadrados dentro de los grupos, obteniendo una probabilidad de $P=0.9879$ la cual es mayor que el nivel de significancia $\alpha=0.05$ y determinando que no existe diferencia significativa entre el índice de acidez del aceite de sésamo en función del tipo de semilla utilizada para la extracción.

El índice de saponificación es una medida de pureza ya que un alto índice significa que existe un alto nivel de oxidación del aceite. En la Tabla 33 se presentan las medias para el índice de saponificación del aceite de sésamo, para el aceite de semilla natural el resultado es de 188.4469 ± 1.8253 mg KOH/g y para la semilla descortezada de 189.2315 ± 3.4341 mg KOH/g. La norma del Codex Stan 210-1999 establece que el índice de saponificación para el aceite de sésamo se encuentra en un rango de 186-195 mg KOH/g por lo que tanto el aceite extraído de semillas natural como descortezada cumplen con este parámetro de calidad. Estos índices son útiles para recomendar el aceite de sésamo como materia prima para elaboración de jabones con su debido estudio de alérgenos en función del tipo de piel. El índice de saponificación indica qué cantidad de hidróxido de potasio debe reaccionar con los ácidos grasos ligados a los triglicéridos para saponificar el aceite, es decir, para convertirlo en jabón (Reacción 2, anexo F). El conocimiento de esta propiedad es útil ya que un exceso de aceite

produce un jabón blando y aceitoso, y un exceso de álcali produce un exceso de alcalinidad siendo perjudicial para la piel. En la Tabla 34 se muestra el análisis ANOVA cuyo resultado indica que la mayor variación se encuentra en la suma de cuadrados dentro de los grupos, obteniendo una probabilidad de $P=0.7444$ contra el nivel de significancia $\alpha=0.05$ y determinando que no existe diferencia significativa entre el índice de saponificación del aceite en función del tipo de semilla.

El índice de peróxidos proporciona información acerca del grado de oxidación de un aceite permitiendo hacer estimaciones de hasta qué punto la grasa ha sido alterada. Es importante mencionar que la determinación de este índice debe realizarse en las primeras etapas de la rancidez oxidativa para que sea representativo ya que produce diversos peróxidos que modifican las propiedades sensoriales de la grasa. El aceite de sésamo es muy resistente a la rancidez oxidativa ya que contiene 2.53 mg de vitamina E por 100 g de semilla (MAPAMA, 2013) y otros antioxidantes como el sesamol y sesaminol que son buscadores de radicales libres (Shahidi, 1997). En el proceso de oxidación de un aceite, el reactivo es el oxígeno y es catalizado por la temperatura y el agua; a diferencia de la hidrólisis (acidez) cuyo reactivo es el agua catalizado por el oxígeno y la temperatura.

La evaporación de hexano en las muestras de aceite de semilla natural se realizó directamente en la plancha de calentamiento mientras que el aceite de semilla descortezada se realizó en baño maría. En ambos casos, el aceite se calentó a una temperatura inferior de 65°C ya que existe riesgo de oxidación. Según Esquível *et al.* (2012) los ácidos grasos insaturados presentan desventajas por su estabilidad, ya que a mayor grado de insaturación son menos estables al efecto de la temperatura. Esta característica es aplicable al aceite de sésamo ya que contiene 39.70 g de ácidos grasos monoinsaturados, 41.70 g de ácidos grasos poliinsaturados y 14.20 g de ácidos grasos saturados por 100 g de porción comestible (INCAP, 2012).

En la Tabla 35 se presentan las medias para el índice de peróxido del aceite de sésamo, para el aceite de semilla natural el resultado es de 10.6233 ± 1.5410 mEq O_2/kg y para la semilla descortezada de 9.6921 ± 1.2311 mEq O_2/kg . La norma del Codex Stan 210-1999 establece un límite máximo de índice de peróxidos de 10 miliequivalentes de oxígeno por kilogramo de aceite. El aceite de semilla natural presenta un ligero exceso del índice debido a que la evaporación de solvente de estas muestras se llevó a cabo con la plancha de calentamiento; a diferencia del aceite de semilla descortezada que se realizó en baño de maría. La diferencia se debe a que el baño de maría proporciona un aumento ligero de temperatura con respecto al tiempo mientras que con la plancha de calentamiento la temperatura aumenta rápidamente, propiciando la formación de peróxidos en la muestra. Se ha comprobado que un aceite alterado térmicamente deteriora la composición química si éste es muy insaturado ya que se forman productos de oxidación como peróxidos, cetonas, aldehídos y alcoholes

(Esquível *et al.*, 2012). De acuerdo con el Codex Stan 210-1999, el índice de peróxidos del aceite de sésamo de la semilla descortezada cumple con los requerimientos internacionales mientras que el aceite de sésamo de semilla natural no cumple. En la Tabla 36 se muestra el análisis ANOVA cuyo resultado indica que la mayor variación se encuentra en la suma de cuadrados dentro de los grupos y que no existe una diferencia significativa entre el índice de peróxido del aceite en función del tipo de semilla al comparar una probabilidad de $P=0.4444$ contra el nivel de significancia $\alpha=0.05$.

El índice de yodo mide el grado de insaturación, es decir, el número de dobles enlaces de los componentes de una grasa. Se trata de una prueba que evalúa la identidad y la pureza de las grasas. En la determinación del índice de yodo, se añade a la muestra un exceso de reactivo halogenado que reacciona selectivamente con los dobles enlaces; la velocidad de adición de yodo a los dobles enlaces es muy lenta, por lo que se utilizan combinaciones de halógenos como el caso del reactivo de Hanus que se compone de 2 g de monobromuro de yodo en 100 mL de ácido acético glacial. El método para la determinación de este índice (Hanus) es alternativo al método de Wijs, cuya única diferencia es que el reactivo consiste en monocloruro de yodo. El propósito del reactivo halogenado en el procedimiento es exactamente el mismo.

Los valores medios obtenidos de índice de yodo para aceite de sésamo de semilla natural y descortezada se muestran en la Tabla 37 los cuales son 109.5866 ± 1.6918 g I₂/10 g aceite y 109.3353 ± 0.9329 g I₂/10 g aceite, respectivamente. En la Tabla 38 se muestra el análisis ANOVA cuyo resultado indica que la mayor variación proviene de la suma de cuadrados dentro de los grupos y que no existe una diferencia significativa entre el índice de yodo del aceite de sésamo en función del tipo de semilla al comparar una probabilidad de $P=0.8328$ con el nivel de significancia $\alpha=0.05$. La norma del Codex Stan 210-1999 establece, para el aceite de sésamo, un requisito de índice de yodo de 104-120 g I₂/10 g, por lo que el aceite extraído de ambas semillas cumple con los requerimientos internacionales de calidad. Mientras más bajo es el índice de yodo, más alto es el grado de saturación de los ácidos grasos. Debido a que el aceite de sésamo contiene mayor cantidad de ácidos grasos insaturados, el índice de yodo debe ser alto como lo reflejan los resultados del análisis. El aceite de semillas de sésamo que se exporta debe cumplir con éste requisito para garantizar la calidad del mismo.

Se realizaron las cromatografías para cada muestra en el Laboratorio de Química Analítica de la Universidad del Valle de Guatemala, 3 muestras de aceite de semilla natural y 3 muestras de aceite de semilla descortezada haciendo un total de 6 análisis que se muestran en el Anexo K con su cromatograma y perfil de ácidos grasos en cada muestra. Los ácidos grasos detectados en el análisis fueron: ácido palmítico (C16:0), ácido esteárico (C18:0), ácido oleico (C18:1) y ácido linoleico (C18:2); para el aceite de semilla natural se obtuvo un área media de: $12.60 \pm 0.1701\%$, $7.36 \pm 0.0802\%$, $38.18 \pm$

0.1710% y $41.86 \pm 0.0764\%$ respectivamente, y para aceite de semilla descortezada $12.79 \pm 0.1127\%$, $6.92 \pm 0.02\%$, $37.99 \pm 0.0651\%$ y $42.31 \pm 0.0608\%$, respectivamente. Al comparar con el perfil de ácidos grasos de la Tabla 7, se observa que el porcentaje de contenido de ácido palmítico y ácido esteárico de las muestras es relativamente mayor al reportado en la norma del Codex Stan 210-1999 y el RTCA 67.04.40:07.

Los cuerpos lipídicos de las semillas oleaginosas contienen abundante cantidad de una proteína llamada oleosina, la cual tiene como función principal estabilizar la reserva lipídica evitando la interacción y coalescencia del lípido. La coalescencia se refiere a que dos o más dominios de fase de composición esencialmente idéntica entren en contacto para formar un dominio de fase mayor, es decir, la oleosina evita que el aceite se concentre en áreas específicas. Por lo general, la estructura de la oleosina es la misma en todas las semillas, la cual contiene un dominio hidrofóbico compuesto alrededor de 70 residuos de aminoácidos no polares que podrían interactuar fuertemente con los triglicéridos (Grasso, 2013). Ésta interacción, junto con los factores ambientales de pre-cosecha (riego, luz, temperatura, tipo de suelo, ataque de plagas) puede ser la causa del aumento de la biosíntesis de ácido palmítico y esteárico (Acosta, 2011).

En la Tabla 39 y Gráfica 10 se comparan las áreas de ácidos grasos entre sí. El análisis ANOVA del perfil de ácidos grasos (Tabla 40) determina que sí existe una diferencia significativa del contenido de ácido esteárico y ácido linoleico con respecto a la extracción del aceite de la semilla natural y descortezada. Por otra parte, se determina que no existe diferencia significativa del contenido de ácido palmítico y ácido oleico entre el aceite de semilla natural contra descortezada. Los resultados indican que el aceite de semilla natural presentó más cantidad de ácido esteárico y menor cantidad de ácido linoleico, lo cual es contrario a los resultados del aceite de semilla descortezada. La disminución del ácido linoleico en el aceite de semilla natural puede explicarse a través de la alteración térmica que sufrió el aceite al ser calentado directamente en la plancha al momento de evaporar el solvente. Un pequeño porcentaje de ácido linoleico pudo haber sido oxidado a cetona utilizando la temperatura como catalizador (Esquível *et al.*, 2012), razón por la cual el espectrómetro de masas indica menor cantidad del ácido graso.

Se determinó el costo total de materia prima y extracción realizada del aceite de sésamo para comparar en función del tipo de semilla comercial y extractor Soxhlet (Anexo G). En las Tablas 66 y 67 se puede observar el costo de los insumos del proceso de extracción del aceite y el precio de compra de la materia prima vegetal. Para la semilla natural se obtuvo un costo total de Q57.38, Q69.23 y Q80.77 para extractor pequeño, mediano y grande, respectivamente. Para la semilla descortezada se obtuvo un costo total de Q57.46, Q69.37 y Q80.99 para extractor pequeño, mediano y grande, respectivamente (Tabla 68). Se observa que los costos, según el tamaño de

extractor, no presentan una variación significativa; sin embargo, el costo adquiere una diferenciación importante al tomar en cuenta el rendimiento de extracción, el cual fue mayor para la semilla descortezada. La Tabla 69 indica que el costo total por gramo de aceite de semilla natural para el extractor pequeño, mediano y grande fue de Q7.77, Q5.39 y Q4.02, respectivamente. En el caso del costo total por gramo de aceite de semilla descortezada fueron de Q6.35, Q4.53 y Q3.45. Esto representa un ahorro de 18.28%, 15.96% y 14.18% al extraer aceite de semilla descortezada en extractor pequeño, mediano y grande, respectivamente. Por lo tanto, en términos de extracción, se puede afirmar que la semilla descortezada es la materia prima que produce un aceite de sésamo más económico, además de ser el aceite que más se apega a los requerimientos del Codex Stan 210-1999. Es importante mencionar que se reutilizó el solvente para la extracción de aceite de semilla natural y descortezada ya que la mayoría de métodos permite una recuperación del 90% y disminuye los costos.

El aceite de sésamo contiene una proporción significativa de antioxidantes naturales conocidos como lignanos (sesaminol y sesamina), que lo protegen parcialmente frente a la oxidación (Zavala y Castillo, 2008). Esta propiedad haría del aceite de sésamo un principio activo muy importante en la conservación de productos cosméticos debido a que, en combinación con vitamina E, el aceite es resistente a la rancidez oxidativa más que otros aceites vegetales.

Entre las aplicaciones cosméticas del aceite de sésamo se encuentran las bases para maquillajes, bálsamos labiales, maquillaje para ojos, aceites capilares, mascarillas faciales, lociones para manos y cuerpo, filtros solares y cremas hidratantes (Rabasco y González, 2000). Warra (2011) indica que el aceite se encuentra entre los humectantes oclusivos y tiene la capacidad de formar oclusiva en la piel, lo que mantiene el agua dentro de las capas del estrato córneo superior y, en consecuencia, actúa como humectante. En base a lo anterior se presenta una propuesta de formulación para una crema hidratante a base de aceite de sésamo (Tabla 62, Anexo D).

De acuerdo con la comparación fisicoquímica del aceite de sésamo y los requerimientos del Codex Stan 210-1999 es posible sugerir su uso en la industria de cosméticos, en especial el aceite de semilla descortezada ya que se apega mejor a la normativa. Es probable que el índice de peróxidos de aceite de sésamo de semilla natural cumpla con la normativa; en este caso el no cumplimiento se atribuye al calentamiento directo del aceite que forma productos de oxidación (Esquivel *et al.*, 2012) y, con la cantidad de muestreo, no es posible aplicar una prueba Q para eliminar el resultado anormal (corrida 1). Sin embargo, es preciso realizar otros estudios que incluyan análisis de contaminantes (plomo, arsénico, hierro y cobre), punto de deslizamiento, impurezas insolubles, la prueba de Baudouin, materia insaponificable, nivel de desmetilesteroles y nivel de tocoferoles/tocotrienoles que completan el perfil de calidad de acuerdo la normativa.

CAPÍTULO VI CONCLUSIONES

1. El rendimiento extractivo del aceite de sésamo por método Soxhlet, de acuerdo al análisis ANOVA, presenta diferencia significativa en función del tipo de semilla utilizada siendo mayor el de semilla descortezada con $60.0654 \pm 1.3200\%$ que para la semilla natural con $50.2170 \pm 1.1720\%$, debido a que el contenido de lípido se encuentra más expuesto en la semilla descortezada lo cual permite una mayor percolación de hexano y una mejor velocidad de transferencia de masa del aceite hacia el solvente.
2. La determinación de propiedades físicas demostró que el aceite de sésamo a partir de semilla descortezada presenta una densidad de 0.9178 ± 0.0054 g/mL, humedad de $0.66 \pm 0.0520\%$ e índice de refracción de $1.4733 \pm 2.8867 \times 10^{-4}$ mientras que para la semilla natural presenta una densidad de 0.9159 ± 0.0012 g/mL, humedad de $0.64 \pm 0.0781\%$ e índice de refracción de $1.4737 \pm 2.8867 \times 10^{-4}$, determinando por medio de análisis ANOVA que no existe diferencia significativa de estas propiedades en función del tipo de semilla.
3. La determinación de propiedades químicas demostró que el aceite de sésamo a partir de semilla descortezada presenta un índice de acidez de 0.5467 ± 0.0056 mg KOH/g, índice de saponificación de 189.2315 ± 3.4341 mg KOH/g, índice de peróxidos de 9.6921 ± 1.2311 mEq O₂/kg e índice de yodo de 109.3353 ± 0.9329 g I₂/10 g mientras que para la semilla natural presenta un índice de acidez de 0.5459 ± 0.02815 mg KOH/g, índice de saponificación de 188.4469 ± 1.8253 mg KOH/g, índice de peróxidos de 10.6233 ± 1.5410 mEq O₂/kg e índice de yodo de 109.5866 ± 1.6918 g I₂/10 g, determinando por medio de análisis ANOVA que no existe diferencia significativa de estas propiedades en función del tipo de semilla.
4. El perfil de ácidos grasos para el aceite de sésamo de la semilla descortezada presenta una media de áreas de $12.79 \pm 0.1127\%$ para ácido palmítico, $6.92 \pm 0.0200\%$ para ácido esteárico, $37.99 \pm 0.0651\%$ para ácido oleico y $42.31 \pm 0.0608\%$ para ácido linoleico, mientras que para el aceite de semilla natural es de $12.60 \pm 0.1701\%$ para ácido palmítico, $7.36 \pm 0.0802\%$ para ácido esteárico, $38.18 \pm 0.1710\%$ para ácido oleico y $41.86 \pm 0.0764\%$ para ácido linoleico, determinando por medio de análisis ANOVA que únicamente existe diferencia significativa en el contenido de ácido esteárico debido a la posible actividad de la proteína oleosina, condición climática y condición del suelo de la cosecha y el proceso enzimático natural previo a la extracción; y en el ácido linoleico por a la producción de cetonas como consecuencia de la oxidación catalizada por la temperatura al evaporar el solvente.

5. El aceite de sésamo a partir de semilla descortezada cumple con el Codex Stan 210-1999 en cuanto a los requisitos fisicoquímicos de densidad, índice de acidez, índice de saponificación, índice de peróxidos, índice de yodo, contenido de ácido oleico y ácido linoleico; pero no cumple con los requisitos de humedad, contenido de ácido palmítico y ácido esteárico. El aceite de sésamo a partir de semilla natural cumple con el Codex Stan 210-1999 en cuanto a los requisitos fisicoquímicos de densidad, índice de acidez, índice de saponificación, índice de yodo, contenido de ácido oleico y ácido linoleico; pero no cumple con los requisitos de humedad, índice de peróxidos, contenido de ácido palmítico y ácido esteárico. En el caso del índice de refracción no se puede determinar debido a que la norma establece el parámetro a 40°C y éste fue medido a 29°C. Por lo tanto, en términos generales y según la metodología utilizada, se determinó que el aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada de la región de Retalhuleu no cumple con el Codex Stan 210-1999.

CAPÍTULO VII RECOMENDACIONES

1. Estandarizar el método de extracción de aceite de sésamo utilizando el mismo equipo Soxhlet para obtener mayor repetibilidad en los resultados. Esto sería útil para descartar resultados anormales en base al tamaño de muestra, el nivel de confianza y la prueba estadística Q.
2. Al realizar el tratamiento de la materia prima, se recomienda triturar la semilla de sésamo y luego secarla en horno para disminuir el contenido de humedad previo a la extracción del aceite. Se recomienda utilizar el método de Karl Fischer para determinar el contenido de humedad en aceites.
3. Refinar el aceite de sésamo y reevaluar la metodología utilizada en la caracterización fisicoquímica para validar su calidad de acuerdo a la completa adecuación a los requerimientos del Codex Stan 210-1999.
4. Evaluar el rendimiento y propiedades fisicoquímicas del aceite de sésamo de las semillas de ajonjolí por región de procedencia debido a que éstas no dependen únicamente del tipo de semilla sino del factor ambiental en las que fueron cosechadas.
5. Realizar la extracción de aceite de sésamo con tratamientos enzimáticos que incluyan pectinasas, celulasas y hemicelulasas para obtener mayor rendimiento, un producto de mayor calidad y determinar su caracterización fisicoquímica.
6. Al realizar una extracción con el método Soxhlet, es importante remover totalmente el solvente para obtener un aceite libre de impurezas. Para ello, se recomienda utilizar un rotavapor con medidor de presión digital y una bomba de vacío incorporada para alcanzar presiones reducidas con el fin de no exponer el aceite a altas temperaturas que pueden modificar sus propiedades fisicoquímicas y obtener un producto de alta calidad.
7. Estudiar las aplicaciones cosméticas del aceite de sésamo de la región de Retalhuleu en productos como cremas hidratantes, filtros de protección solar, mascarillas faciales, aceites capilares, bálsamos labiales y aceites para baño.
8. Estudiar las aplicaciones del aceite de sésamo de la región de Retalhuleu en la industria de alimentos como aceite de cocina gurmé, margarinas y mantecas para pasteles; y en la industria farmacéutica como excipiente para medicamentos.

CAPÍTULO VIII REFERENCIAS

Acofarma (2007). **Ficha de información técnica Vitamina E.** [En Línea] [Consultado 18/03/2018] Disponible en: http://www.acofarma.com/admin/uploads/descarga/4091-62934192e7320ed61a0e79fcd0b95f056885aa39/main/files/Vitamina E_alfa_tocoferol_acetato_.pdf

Acosta, M. (2011). **Evaluación y escalamiento del proceso de extracción de aceite de aguacate utilizando tratamiento enzimático.** Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de Magister en Ingeniería Química. Bogotá, Colombia.

American Oils Chemist's Society (AOCS) (1998). **Official Methods and Recommended Practices of The AOCS.** (5ª. Ed.). Editors of Analytical Methods; Champaign Illinois.

Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado (BOE) (1997). **Real decreto 1599/1997, de 17 de octubre, que recoge la regulación de los productos cosméticos.** (1ª. Ed.) Editorial Aranzadi, S.A. España. [En Línea] [Consultado 20/03/2018] Disponible en: https://www.aemps.gob.es/legislacion/espana/cosmeticosHigiene/docs/cosmeticos/rcl_1_997_2572.pdf

Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado (BOE) (2008). **Reglamento (CE) N.º 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas.** Diario Oficial de la Unión Europea, España. [En Línea] [Consultado 20/03/2018] Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2008/353/L00001-01355.pdf>

Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado (BOE) (2009). **Directiva 2009/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a los disolventes de extracción utilizados en la fabricación de productos alimenticios y de sus ingredientes.** Diario Oficial de la Unión Europea, España. [En Línea] [Consultado 27/07/2018] Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2009/141/L00003-00011.pdf>

Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado (BOE) (2009). **Reglamento (CE) N.º 1223/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre los productos cosméticos.** Diario Oficial de la Unión Europea, España. [En Línea] [Consultado 20/03/2018] Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:342:0059:0209:es:PDF>

Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado (BOE) (2018). **Real Decreto 85/2018, de 23 de febrero, por el que se regulan los productos cosméticos.** Diario Oficial de la Unión Europea, España. [En Línea] [Consultado 20/03/2018] Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2018/02/27/pdfs/BOE-A-2018-2693.pdf>

Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado (BOE) (2010). **Real Decreto 994/2010, de 23 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1599/1997 sobre productos cosméticos para adaptarlo al Reglamento (CE) N.º 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas.** (1ª. Ed.) Editorial Aranzadi, S.A. España. [En Línea] [Consultado 20/03/2018] Disponible en: https://www.aemps.gob.es/legislacion/espana/cosmeticosHigiene/docs/cosmeticos/rcl_2010_2219.pdf

AGEXPORT (2014). **Semilla de ajonjolí en el top 5 de los productos agrícolas exportados.** Periódico Digital del Sector Exportador de Guatemala. [En Línea] [Consultado 18/02/2018] Disponible en: <http://agexporthoy.export.com.gt/sectores-de-exportacion/sector-agricola/semilla-de-ajonjoli-en-el-top-5-de-los-productos-agricolas-exportados/>

Armstrong, W.P. (2016). **Sesame: *Sesamum indicum* (Pedaliaceae).** [En Línea] [Consultado 27/07/2018] Disponible en: <https://www2.palomar.edu/users/warmstrong/ecoph44.htm>

Badía, M. y García, E. (2012). **Cosmetología aplicada a la estética decorativa.** (3ª.Ed.). Madrid, España. Editorial Paraninfo, S.A.

Barrera, L. (1981). **Evaluación de cuatro variedades de ajonjolí (*Sesamun indicum* L.) y cuatro niveles decrecientes de nitrógeno en el sur del departamento de Retalhuleu.** Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Bedigian, D. (2010). **Medicinal and Aromatic Plants: Sesame, the genus *Sesamum*.** (1a. Ed.) Editorial Taylor & Francis Group. Boca Raton, Florida.

Bekia Belleza (2013). **Aceite de sésamo.** [En Línea] [Consultado 23/03/2018] Disponible en: <https://www.bekiabelleza.com/tratamientos/aceite-sesamo-conoce-propiedades-sesamo/>

Beroza, M. y Kinman, M. (1955). **Sesamin, sesamolin, and sesamol content of the oil of sesame seed.** The Journal of the American Oil Chemists' Society [En Línea] [Consultado 17/03/2018] Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02640380>

Bosch, M. y Navarro, A. (2010). **Hágase sus propios cosméticos.** (1ª. Ed.) Barcelona, España. Editorial Paidotribo.

Cáceres, A. y Girón, L. (1994). **Técnicas básicas para el cultivo y procesamiento de plantas medicinales.** (1ª. Ed.) Guatemala. Centro Mesoamericano de Estudios sobre Tecnología Apropriada (CEMAT).

Castro, A. (2004). **Solventes y diluyentes para la remoción de barnices.** [En Línea] [Consultado 16/08/2018] Disponible en: http://www.dibam.cl/dinamicas/DocAdjunto_632.pdf

Cervantes, M. (2012). **Evaluación de los niveles de proteína y aceite en la semilla de ajonjolí (*Sesamun indicum*) nacional de los cultivares criollos (R-198, Estándar y Trébol), en su estado natural vrs ajonjolí descortezado.** Tesis de investigación para optar al título de Ingeniera en Alimentos, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Chang, R. (2007). **Química.** (9ª. Ed.) México. Editorial McGraw-Hill Interamericana.

Cofepris (2010). **Acuerdo por el que se determinan las sustancias prohibidas y restringidas en la elaboración de productos de perfumería y belleza.** (2ª. Ed.). México. [En Línea] [Consultado 19/03/2018] Disponible en: <http://www.cofepris.gob.mx/MJ/Documents/AcuerdosSecretario/salud21may10.pdf>

Coulson y Richardson, J. (2002). **Chemical Engineering: Particle Technology and Separation Processes** (Vol. 2) (5ª. Ed.). Bath Press Editorial. Oxford, Inglaterra.

De León, W. (2005). Folleto. **Producción de semillas de ajonjolí de calidad.** ICTA-MAGA. Cisur. Guatemala. pp. 4 y 26.

Esquível, A. *et al* (s.f.). **Cambios químicos de los aceites comestibles durante el proceso de fritura.** *Boletín científico de ciencias básicas e ingenierías* (Vol. 2, n. 3). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.

Esquível, M. y Gil, B. (1993). **El uso de fluidos supercríticos en la industria de aceites alimentarios, Grasas y Aceites.** [En Línea] [Consultado 28/03/2018] Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/49583457> **El uso de fluidos supercriticos e n la industria de aceites alimentarios**

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (1999). **Norma del Codex para aceites vegetales especificados Codex Stan 210-1999.** [En Línea] [Consultado 18/03/2018] Disponible en: <https://previa.uclm.es/profesorado/mdsalvador/58119/practicas/Codex%20Stan%20210%20Aceites%20vegetales.pdf>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (1997). **Producción y manejo de datos de composición química de alimentos en nutrición.** Capítulo 16: Análisis de fibra dietética. [En Línea] [Consultado 27/07/2018] Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/010/ah833s/Ah833s18.htm#18.1>

Foust, A. *et al.* (2006). **Principios de operaciones unitarias.** (2ª. Ed.) Décima reimpresión. Compañía Editorial Continental. México.

Guarnizo, A. y Martínez, P. (2013). **Experimentos de Química Orgánica**. (1ª. Ed.) Colombia. Editorial Elizcom S.A.

Grasso, F. (2013). **Diseño del proceso: Pretratamiento enzimático para extracción de aceites vegetales en un extractor de columna**. Tesis presentada para el grado de doctor en Ingeniería Química. Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

Harris, D. (2003). **Análisis químico cuantitativo**. (3ª. Ed.) Barcelona, España. Editorial Reverté S.A.

ICTA (1981). **El cultivo de ajonjolí (Sesamum indicum L.) Manual Técnico**. MAGA. INFOAGRO. Guatemala

INCAP (2012). **Tabla de Composición de Alimentos de Centroamérica**. [En Línea] [Consultado 21/08/2017] Disponible en: http://www.incap.int/index.php/es/publicaciones/doc_view/80-tabla-de-composicion-de-alimentos-de-centroamerica

Kathler, H. (2004). **Cultivo del Sésamo**. Guía del emperador. [En Línea] [Consultado 27/02/2018] Disponible en: <http://www.guiadelemprendedor.com.ar/Sesamo.htm>

Koolman y Röhm (2004). **Bioquímica: texto y atlas**. (3ª. Ed.). Madrid, España. Editorial Médica panamericana, S.A.

Lehninger, A. *et al.* (2005). **Principios de bioquímica**. (4ª. Ed.). London, Inglaterra. Editorial W. H. Freeman Company.

López Tejeda, A. (2016). **Evaluación del rendimiento extractivo e índices de calidad del aceite fijo de la nuez de marañón (Anacardium occidentale L.), obtenido por el método de lixiviación maceración dinámica con reflujo utilizando tres solventes a escala laboratorio**. Tesis de investigación presentada como requisito para optar al título de Ingeniera Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

López, P. L. (2004). **Población, muestra y muestreo**. *Punto Cero*, (Vol. 9, n. 8), p. 69-74. [En Línea] [Consultado 24/07/2018] Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012&lng=es&tlng=es.

Martínez, N. *et al.* (2008). **Esterificación de los ácidos grasos libres del aceite de soya por catálisis heterogénea**. *Revista CENIC*. Ciencias Químicas (Vol. 39, n. 3) p. 139-140. Centro Nacional de Investigaciones Científicas. La Habana, Cuba.

Mazzani, E. y Layrisse, A. (1998). **Características químicas del grano de cultivares de ajonjolí seleccionados de la colección venezolana de germoplasma**. Tesis de investigación presentada como requisito para optar al título Agrónomo. Universidad Central de Venezuela, Venezuela.

McCabe, W. L. (2007). **Operaciones unitarias en ingeniería química**. (7ª. Ed.). México. Editorial McGraw Hill Interamericana.

McMurry, J. (2012). **Química Orgánica**. (8. Ed.). México. Cengage Learning Editores, S.A.

Medina, G. (s.f.). **Aceites y grasas comestibles**. Departamento de Farmacia. Universidad de Antioquia. [En Línea] [Consultado 27/07/208] Disponible en: http://aprendeenlinea.udea.edu.co/lms/moodle/file.php/424/Gilma_Medina/Grasasyaceites/Documento_Grasas_y_aceites.pdf

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) (2016). **El Agro en Cifras 2016**. [En Línea] [Consultado 13/03/2018] Disponible en: <http://web.maga.gob.gt/download/EI%20agro16.pdf>

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGA, Costa Rica) (1991). **Ajonjolí**. [En Línea] [Consultado 25/03/2018] Disponible en: http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec_ajonjoli.pdf

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPAMA) (2013). **Sésamo**. [En Línea] [Consultado 24/03/2018] Disponible en: http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/plataforma_conocimiento/alimentos/fichas%20de%20alimentos/frutos%20secos/SESAMO.pdf

Ministerio de Economía (MINECO) (2014). **Evaluación cualitativa de la cadena de valor de ajonjolí en Guatemala**. [En Línea] [Consultado 18/2/2018] Disponible en: https://www.pronacom.gt/website/biblioteca/biblioteca_2_ajonjoli.pdf

Ministerio de Salud y Protección Social (2012). **Reglamento técnico resolución número 0002154 de 2012 sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los aceites y grasas de origen vegetal o animal**. [En Línea] [Consultado 20/03/2018] Disponible en: <http://www.aduanimex.com.co/Documentos/TLC/RES%202154%20AGO%202%202012%20REGL%20TEC%20GRASAS%20Y%20ACEITES.pdf>

Morán, F (1998). **Evaluación de diferentes niveles de N-P-K aplicados al follaje en ajonjolí (*Sesamun indicum L.*)** Trabajo supervisado para optar al título de Técnico Universitario Fitotecnista Especializado en Cultivos, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Rafael Landívar, Guatemala.

Murray, M. et. al. (1953). **Sesame oil: The stability of vitamin A in sesame oil and in margarine stock containing sesame oil**. [En Línea] [Consultado 29/03/2018] Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02636945>

Murray, R. et al. (2010). **Bioquímica ilustrada de Harper**. (28ª. Ed.). México. Editorial McGraw Hill Interamericana.

Natursan (2018). **Ajonjolí: beneficios, propiedades y contraindicaciones.** [En Línea] [Consultado 23/03/2018] Disponible en: <https://www.natursan.net/ajonjoli-beneficios-y-propiedades/>

Nestlé (2018). **Granos enteros.** [En Línea] [Consultado 26/07/2018] Disponible en: <https://www.nestle-cereals.com/co/es/ingredientes/los-ingredientes-de-nuestros-cereales/granos-enteros>

Nikitakis, J. y Lange, B. (2016). **International Cosmetic Ingredient Dictionary and Handbook.** (16ª. Ed.) Vol. 1. Washington, D.C. Editorial Advisory Board. [En Línea] [Consultado 23/03/2018] Disponible en: http://webdictionary.personalcarecouncil.org/ctfa-static/online/FrontMatter_Vol1%20Edited%20for%20Websites.pdf

Pérez, C. (2018). **Ajonjolí: Beneficios, propiedades y contraindicaciones.** [En Línea] [Consultado 29/03/2018] Disponible en: <https://www.natursan.net/ajonjoli-beneficios-y-propiedades/>

Pérez López, C. (2005). **Muestreo estadístico: conceptos y problemas resueltos.** Madrid, España. Editorial Pearson Prentice Hall.

Perry, R. y Green, D. (2008). **Perry's Chemical Engineers' Handbook.** (8ª Ed.). Estados Unidos. Editorial McGraw-Hill Interamericana.

Pineda M. (2009). **Respuesta del cultivo de ajonjolí (*Sesamum indicum* L., *Pedaliaceae*) a la fertilización al suelo y foliar en Aldea El Paredón Buena Vista, La Gomera, Escuintla, Guatemala.** Trabajo supervisado para optar al título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Rafael Landívar, Guatemala.

Rabasco, A. y González, M. (2000). **Lípidos en preparaciones farmacéuticas y cosméticas.** *Grasas y Aceites* (Vol. 51), p. 74-96. Facultad de Farmacia. Universidad de Sevilla, España.

Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA) (2007). **Alimentos y bebidas procesados. Grasas y aceites. Especificaciones.** RTCA 67.04.40:07. [En Línea] [Consultado 9/08/2018] Disponible en: http://asp.salud.gob.sv/regulacion/pdf/rtca/rtca_67_04_4007_grasa_y_aceites.pdf

Ruano, A. (2003). **Evaluación del rendimiento de 21 líneas de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) en Nueva Concepción, Escuintla.** Tesis presentada para optar a título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Sabater, I. y Moqueira, L. (2012). **Cosmetología para estética y belleza.** (1ª. Ed.). Madrid, España. Editorial McGraw-Hill Interamericana.

Sánchez, A. (1982). **Cultivos Oleaginosos.** (1ª. Ed.). México. Editorial Trillas, S.A.

Shahidi F. (1997) **Natural Antioxidants: Chemistry, Health Effects and Applications.** (1a. Ed.) Editorial AOCS Press. Illinois, Estados Unidos.

Sjöström, E. (1993) **Wood Chemistry: Fundamentals and Application**. (2ª. Ed.). Academic Press Editorial. California, Estados Unidos.

Skoog, D. *et al.* (2015). **Fundamentos de Química Analítica**. (9ª. Ed.). México. Editorial Cengage Learning, S.A.

Skoog, D. *et al.* (2001). **Principios de Análisis Instrumental**. (5ª. Ed.). Madrid, España. Editorial McGraw Hill Interamericana.

Terevinto, A. (2013). **Técnicas de análisis de materias grasas**. [En Línea] [Consultado 17/03/2018] Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/~nutrical/ensenanza/AVI%20WEB/cursoema/MGTecnicas.pdf>

Treybal, R. (1968). **Operaciones de transferencia de masa**. (2ª. Ed.). México. McGraw Hill Interamericana.

Universidad Autónoma de Madrid, UAM (s.f.). **Características físico-químicas de los principales aceites producidos en el mundo. Principales ácidos grasos**. [En Línea] [Consultado 24/07/2018] Disponible en: https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/alimento/TCAC-2-Caracteristicas%20fisico-quimicas%20aceites.pdf

Universidad de Sevilla (s.f.). **Cuadernillo de prácticas: destilación simple**. [En Línea] [Consultado 25/07/2018] Disponible en: https://rodas5.us.es/file/e3684961-322a-673c-dfa0-505c2bcc0e27/3/cuadernillo_scorm.zip/pagina_07.htm

Universidad de Sevilla (2014). **Prácticas de química orgánica II**. Departamento de Química Orgánica [En Línea] [Consultado 25/07/2018] Disponible en: <http://personal.us.es/gdegonzalo/uploads/Docencia/Qu%C3%ADmica%20Org%C3%A1nica%20II/QOII%20Pr%C3%A1cticas%20Manual%20alumnos%202014-15.pdf>

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) (2013). **Estructura y morfología de los cereales**. [En Línea] [Consultado 26/07/2018] Disponible en: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com_content&view=article&id=14&Itemid=18

Valderrama, José O. (1994). **Información tecnológica: extracción por solvente**. (Vol. 5). La Serena, Chile. [En Línea] [Consultado 12/03/2018] Disponible en: <https://books.google.com.gt/books?id=jxZ94A4RO0kC&pg=PA93&dq=extracción+con+solvente&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjmoXpu7vZAhXF0FMKHfCmATQQ6AEIMDAB#v=onepage&q=extracci%C3%B3n%20con%20solvente&f=false>

Vargas, Y. *et al.* (2016). **Diseñar y formular una crema antiestrías a base de aceites esenciales elaborada en el laboratorio de tecnología de medicamentos de la Facultad de Ciencias Químicas**. Monografía para optar al título de Licenciado Químico-Farmacéutico. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.

Velásquez, G. (2006). **Fundamentos de alimentación saludable**. (1ª. Ed.). Editorial Universidad de Antioquia, Colombia.

Warra, A. (2011). **Sesame (*Sesamum indicum*) seed oil methods of extraction and its prospects in cosmetic industry: a review**. *Bayero journal of pure and applied sciences* (Vol. 4) p. 164-168. Department of Biochemistry, Kebbi State University of Science & Technology, Nigeria.

Zavala, F. y Castillo, F. (2008). **Obtención del aceite virgen de la semilla de ajonjolí**. Tesis presentada para optar al título de Ingeniero Químico. Universidad de Guayaquil, Ecuador.

ANEXOS

Anexo A. Glosario

Cromatografía GC-MS: la cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) es una combinación de técnicas que permite la separación e identificación individual de los componentes de una mezcla a través de la comparación del peso atómica en una base de datos de espectros de masas.

Cosmético: es toda sustancia o preparado destinado a ser puesto en contacto con las diversas partes superficiales del cuerpo humano con el fin exclusivo o principal de limpiarlos, perfumarlos, modificar su aspecto y/o corregir los olores corporales y/o mantenerlos en buen estado (Badía, 2012).

Principio activo: es el ingrediente responsable de realizar la función a la que está destinado el cosmético.

Excipiente: es una sustancia o conjunto de sustancias donde van incorporado el ingrediente activo y los demás componentes del cosmético.

Antioxidantes: son compuestos sensibles a la oxidación, por lo que se oxidan antes que los aceites, permitiendo que éstos mantengan sus propiedades organolépticas (Sabater, 2012).

Emulsión: son dispersiones de líquidos en otro componente no miscible (dispersante) produciendo mezclas relativamente estables de aceites, grasas y agua. Se caracterizan por presentar una consistencia ligera.

Crema: es un preparado cosmético semisólido de uso tópico que utiliza la emulsión como excipiente.

Aceite: sustancia líquida y grasa de origen mineral, vegetal o animal insoluble en agua y generalmente menos densa que el agua que está constituida por ésteres de ácidos grasos.

Neutralización (Reacción): es una reacción entre un ácido y base para producir una sal y agua (Chang, 2007).

Titulación: método de análisis químico cuantitativo utilizado para determinar la concentración desconocida de una solución o la cantidad de analito presente en una muestra a partir de un reactivo con concentración conocida.

Destilación: proceso por el que la sustancia volátil de una mezcla se separa de otra que no lo es mediante evaporación y posterior condensación de la misma.

Lixiviación: extracción de materia soluble de una mezcla sólida – líquida mediante la acción de un disolvente líquido.

Ácidos grasos: son biomoléculas de constitución lipídica en forma de cadena hidrocarbonada lineal y extensa, con un grupo carboxilo en su extremo.

Densidad: magnitud física que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo (RAE, 2017).

Humedad: es la medida de cantidad de agua contenida en el aceite, la cual representa un factor negativo para el aceite ante la posibilidad de formar enlaces fisicoquímicos favorables para las reacciones de degradación.

Índice de refracción: es el valor numérico que expresa la relación entre los senos de los ángulos de incidencia y refracción.

Índice de acidez: el índice de acidez se define como los miligramos de NaOH o KOH necesarios para neutralizar los ácidos grasos libres presentes en 1 gramo de aceite o grasa, y constituye una medida del grado de hidrólisis de una grasa.

Índice de saponificación: es el número de miligramos de hidróxido de potasio requeridos para saponificar 1g de grasa.

Índice de peróxido: se define como el número de mili-equivalentes de oxígeno por kilogramo de muestra de aceite extraído. Es una medida del oxígeno enlazado a las grasas en forma de peróxido.

Índice de yodo: es un índice que mide el grado de insaturación, es decir, el número de dobles enlaces de los componentes de una grasa. Se trata de una prueba que evalúa la identidad y la pureza de las grasas.

Anexo B. Datos obtenidos por cada corrida de análisis.

Tabla 44. Rendimiento de extracción respecto al peso de la materia prima triturada de semillas de ajonjolí natural.

Corrida	Peso de semillas trituradas (g)	Peso de aceite obtenido (g)	Rendimiento de Extracción (%)
1	15.0531	7.385	49.0597 ± 0.0004972
2	25.0082	12.855	51.4031 ± 0.0003008
3	40.0241	20.0874	50.1882 ± 0.0001875

Fuente: elaboración propia (2018).

Tabla 45. Rendimiento de extracción respecto al peso de la materia prima triturada de semillas de ajonjolí descortezado.

Corrida	Peso de semillas trituradas (g)	Peso de aceite obtenido (g)	Rendimiento de Extracción (%)
1	15.0103	9.044	60.2520 ± 0.0005121
2	25.0066	15.3246	61.2822 ± 0.0003082
3	40.0196	23.4763	58.6620 ± 0.0001913

Fuente: elaboración propia (2018).

Tabla 46. Densidad del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.

Semilla	Corrida	ρ (g/mL)
Natural	1	0.9145 ± 0.009145
	2	0.9168 ± 0.009168
	3	0.9163 ± 0.009163
Descortezada	1	0.9116 ± 0.009116
	2	0.9217 ± 0.009217
	3	0.9202 ± 0.009202

Fuente: elaboración propia (2018).

Tabla 47. Humedad del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.

Semilla	Corrida	Peso ± 0.0005 g	Humedad (%)
Natural	1	0.999	0.59
	2	1.004	0.60
	3	1.024	0.73
Descortezada	1	1.000	0.60
	2	1.008	0.69
	3	1.011	0.69

Fuente: elaboración propia (2018).

Tabla 48. Índice de refracción del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.

Semilla	Corrida	Índice de refracción	Temperatura (°C)
Natural	1	1.4735	29
	2	1.4735	29
	3	1.4740	29
Descortezada	1	1.4730	29
	2	1.4735	29
	3	1.4735	29

Fuente: elaboración propia (2018).

Tabla 49. Índice de acidez del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.

Semilla	Corrida	Índice de Acidez (mg KOH/g)
Natural	1	0.5148 ± 0.0649
	2	0.5590 ± 0.0704
	3	0.5671 ± 0.0715
Descortezada	1	0.5435 ± 0.0685
	2	0.5532 ± 0.0697
	3	0.5434 ± 0.0685

Fuente: elaboración propia (2018).

Tabla 50. Índice de saponificación del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada.

Semilla	Corrida	Índice de Saponificación (mg KOH/g)
Natural	1	189.9610 ± 0.9664
	2	186.4200 ± 0.9764
	3	188.9596 ± 0.9897
Descortezada	1	190.7748 ± 1.0792
	2	191.6233 ± 1.0754
	3	185.2965 ± 1.0567

Fuente: elaboración propia (2018).

Tabla 51. Índice de peróxido del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada

Semilla	Corrida	Índice de Peróxido (mEq O ₂ /kg)
Natural	1	12.1905 ± 0.0999
	2	9.3265 ± 0.0992
	3	10.3530 ± 0.0977
Descortezada	1	8.3456 ± 0.1987
	2	10.7599 ± 0.1993
	3	9.9709 ± 0.1994

Fuente: elaboración propia (2018).

Tabla 52. Índice de yodo del aceite de sésamo extraído a partir de semillas natural y descortezada

Semilla	Corrida	Índice de Yodo (g I ₂ / 10 g aceite)
Natural	1	109.0085 ± 0.4220
	2	108.2596 ± 0.3669
	3	111.4917 ± 0.3834
Descortezada	1	109.6945 ± 0.4112
	2	108.9586 ± 0.4041
	3	110.3977 ± 0.4052

Fuente: elaboración propia (2018).

Tabla 53. Perfil de ácidos grasos del aceite de sésamo extraído a partir de semilla natural para corrida 1.

No.	Ácido Graso	Retención (min)	Área (%)	Núm. CAS.
1	Ácido Palmítico	31.769	12.47	000057-10-3
2	Ácido Esteárico	35.453	7.44	000057-11-4
3	Ácido Oleico	35.817	38.29	000112-80-1
4	Ácido Linoleico	36.617	41.79	000060-33-3

Fuente: elaboración propia (2018).

Tabla 54. Perfil de ácidos grasos del aceite de sésamo extraído a partir de semilla natural para corrida 2.

No.	Ácido Graso	Retención (min)	Área (%)	Núm. CAS.
1	Ácido Palmítico	31.764	12.79	000057-10-3
2	Ácido Esteárico	35.448	7.28	000057-11-4
3	Ácido Oleico	35.808	37.98	000112-80-1
4	Ácido Linoleico	36.613	41.94	000060-33-3

Fuente: elaboración propia (2018).

Tabla 55. Perfil de ácidos grasos del aceite de sésamo extraído a partir de semilla natural para corrida 3.

No.	Ácido Graso	Retención (min)	Área (%)	Núm. CAS.
1	Ácido Palmítico	31.764	12.53	000057-10-3
2	Ácido Esteárico	35.448	7.37	000057-11-4
3	Ácido Oleico	35.812	38.26	000112-80-1
4	Ácido Linoleico	36.608	41.84	000060-33-3

Fuente: elaboración propia (2018).

Tabla 56. Perfil de ácidos grasos del aceite de sésamo extraído a partir de semilla descortezada para corrida 1.

No.	Ácido Graso	Retención (min)	Área (%)	Núm. CAS.
1	Ácido Palmítico	31.769	12.86	000057-10-3
2	Ácido Esteárico	35.448	6.92	000057-11-4
3	Ácido Oleico	35.812	37.99	000112-80-1
4	Ácido Linoleico	36.608	42.24	000060-33-3

Fuente: elaboración propia (2018).

Tabla 57. Perfil de ácidos grasos del aceite de sésamo extraído a partir de semilla descortezada para corrida 2.

No.	Ácido Graso	Retención (min)	Área (%)	Núm. CAS.
1	Ácido Palmítico	31.769	12.66	000057-10-3
2	Ácido Esteárico	35.453	6.94	000057-11-4
3	Ácido Oleico	35.817	38.05	000112-80-1
4	Ácido Linoleico	36.613	42.35	000060-33-3

Fuente: elaboración propia (2018).

Tabla 58. Perfil de ácidos grasos del aceite de sésamo extraído a partir de semilla descortezada para corrida 3.

No.	Ácido Graso	Retención (min)	Área (%)	Núm. CAS.
1	Ácido Palmítico	31.769	12.85	000057-10-3
2	Ácido Esteárico	35.453	6.90	000057-11-4
3	Ácido Oleico	35.817	37.92	000112-80-1
4	Ácido Linoleico	36.613	42.34	000060-33-3

Fuente: elaboración propia (2018).

Anexo C. Propiedades cualitativas del aceite de sésamo extraído

Figura 32. Aceite de sésamo extraído a partir de semillas de ajonjolí natural.



Fuente: elaboración propia (2018).

Tabla 59. Propiedades cualitativas evaluadas del aceite de sésamo extraído a partir de semillas de ajonjolí natural.

Propiedad cualitativa	Descripción
Estado	Líquido
Color	Ámbar
Olor	Fresco, agradable, casi inodoro, característico de la semilla de ajonjolí
Turbidez	Turbidez media

Fuente: elaboración propia (2018).

Figura 33. Aceite de sésamo extraído a partir de semillas de ajonjolí descortezado.



Fuente: elaboración propia (2018).

Tabla 60. Propiedades cualitativas evaluadas del aceite de sésamo extraído a partir de semillas de ajonjolí descortezado.

Propiedad cualitativa	Descripción
Estado	Líquido
Color	Amarillo claro
Olor	Fresco, agradable, casi inodoro, característico de la semilla de ajonjolí
Turbidez	Turbidez baja

Fuente: elaboración propia (2018).

Anexo D. Propuesta de aplicación del aceite de sésamo en una crema hidratante óleo-acuosa

Tabla 61. Propuesta del uso cosmético de aceite de sésamo de la región de Retalhuleu en una crema de piel hidratante.

Categoría de cosmético	Cosmético hidratante
Tipo de cosmético	Crema hidratante óleo/acuosa (O/A)
Grado de penetración en la piel	Penetración superficial

Fuente: elaboración propia (2018).

Tabla 62. Formulación propuesta para una crema hidratante O/A con aceite de sésamo de la región de Retalhuleu a partir de semilla natural y descortezada.

Ingrediente	Función	Composición
Aceite de sésamo	Ingrediente activo	15%
Vitamina E (tocoferol)	Antioxidante	5%
Vitamina C (ácido ascórbico)	Antioxidante	1%
Monoestearato de glicerilo autoemulgente O/A	Emulsionante	20%
Salicat mm	Conservante	0.01%
Urea	Hidratante	5%
Glicerina	Humectante	8%
Sorbitol 70% USP	Humectante	5%
EDTA disódico	Secuestrante	2%
Agua desmineralizada	Hidratante	36.99%
Esencia de rosa mosqueta	Fragancia	2%
Total		100%

Fuente: elaboración propia (2018).

El glicerilo monoestearato auto-emulgente se utiliza como factor de consistencia que permite estabilizar la emulsión entre la parte acuosa y oleosa. El sorbitol 70% USP y glicerina son otros humectantes que proporcionarían viscosidad y textura a la crema. La vitamina E es uno de los antioxidantes más potentes con la capacidad de retrasar el envejecimiento general de la piel. La función de la vitamina C sería inactivar los radicales libres inducidos por los rayos ultravioleta, regenerar la vitamina E y estimular la producción de colágeno en la piel el cual da firmeza y forma una barrera protectora frente a sustancias tóxicas, sustancias patógenas y microorganismos (Warra, 2011). La urea es importante para impedir la pérdida de agua a través de la piel y el EDTA disódico protege los componentes de fragancias, previene la rancidez, estabiliza los colorantes e incrementa la prevención contra bacterias Gram negativas.

El Real Decreto 85/2018 de la regulación de productos cosméticos, junto su anterior Real Decreto 1599/1997 en su Anexo II (Lista de sustancias prohibidas en la composición de los productos cosméticos) y el Reglamento (CE) 1223-2009 establecen que los ingredientes propuestos para la formulación no se encuentran prohibidos.

El Anexo III (Lista de sustancias que no pueden contener los productos cosméticos en concentraciones superiores y en condiciones diferentes a las establecidas) establece que los ingredientes propuestos para la formulación no se encuentran restringidos, a excepción del conservante Salicat mm (Metilcloroisotiazolinona y Metilisotiazolinona) cuya restricción es de 0.01%. El Reglamento (CE) 1223-2009 establece su concentración máxima al 0.0015% (de una mezcla en proporción 3:1 de 5-cloro-2-metil-3,4-isotiazolona y 2-metil-3,4-isotiazolona).

Anexo E. Ecuaciones implicadas en los análisis fisicoquímicos

Determinación del porcentaje de aceite:

$$\% \text{ aceite} = \left(\frac{\text{Peso aceite extraído}}{\text{Peso de muestra}} \right) (100)$$

Ecuación 12. Rendimiento de aceite

Determinación de la densidad del aceite:

$$\rho = \frac{\text{Masa (g)}}{\text{Volumen (mL)}}$$

Ecuación 13. Densidad

Determinación del índice de refracción:

$$\eta = \frac{\text{sen } \phi_{\text{inc}}}{\text{sen } \phi_{\text{refr}}}$$

Ecuación 14. Índice de Refracción

Determinación del índice de acidez (AOAC 940.28)

$$\text{Índice acidez (valor de acidez)} = \frac{(V_B - V_m)(N)(28.2)}{M} (1.99)$$

Ecuación 15. Índice de acidez

Donde:

Valor de acidez = Expresado en mg KOH/g aceite

VB = volumen de KOH 0.1 N en mL gastado para titular el blanco.

Vm = volumen de KOH 0.1 N en mL gastado para titular la muestra.

N = Concentración normal de HCl.

M = Peso de la muestra, en gramos.

56.1 = Peso molecular de KOH

Determinación del índice de saponificación (AOAC 920.160)

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

Ecuación 16. Índice de saponificación

Donde:

Índice de saponificación = Expresado en mg KOH/g aceite.

VB = volumen de HCl 0.5 N en mL gastado para titular el blanco.

Vm = volumen de HCl 0.5 N en mL gastado para titular la muestra.

N = Concentración normal de HCl.

M = Peso de la muestra, en gramos.

56.1 = Peso molecular de KOH

Determinación del índice de peróxido (AOAC 965.33)

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

Ecuación 17. Índice de peróxido

Donde:

Índice de peróxido = Expresado en mEq O₂/kg aceite.

VB = volumen de disolución de Tiosulfato de sodio gastado para titular el blanco, en mL.

Vm = volumen de disolución de Tiosulfato de sodio gastado para titular la muestra, mL.

N = Concentración normal del tiosulfato de sodio.

M = Peso de la muestra, en gramos.

Determinación del índice de yodo (AOAC 920.158)

$$\text{Índice de yodo} = \frac{(V_B - V_m)(N)(12.67)}{M}$$

Ecuación 18. Índice de yodo

Donde:

Índice de yodo = Expresado en g I₂/10 g aceite.

VB = volumen de tiosulfato de sodio gastado para titular el blanco, en mL.

Vm = volumen de tiosulfato de sodio gastado para titular la muestra, en mL.

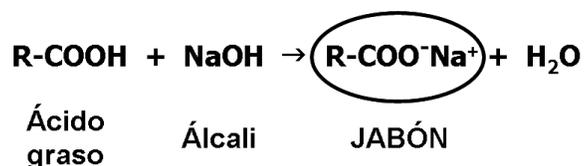
N = Concentración normal del tiosulfato de sodio.

M = Peso de la muestra, en gramos.

12.67 = Procede del peso molecular del yodo (126.7 mol/g)

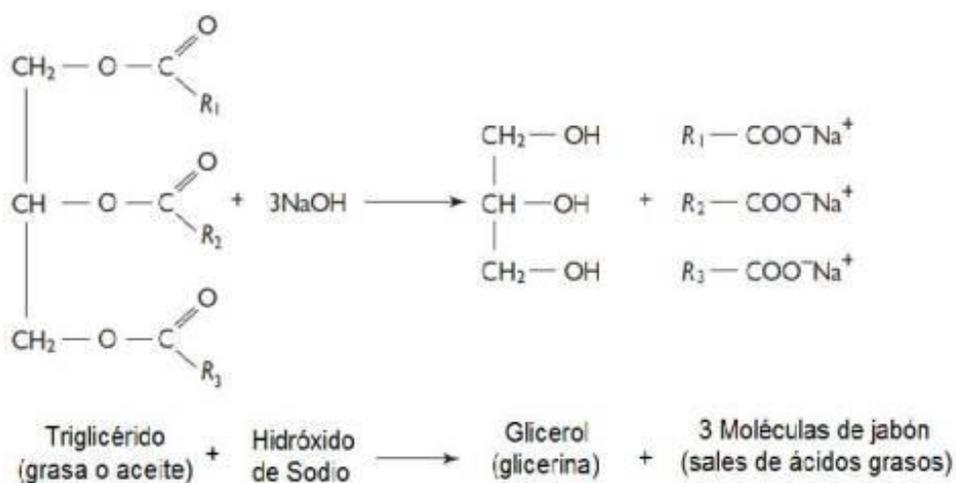
Anexo F. Reacciones

Reacción de neutralización de ácidos grasos.



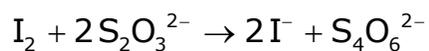
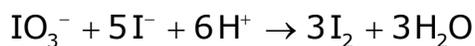
Reacción 1. Neutralización de ácidos grasos.

Reacción de saponificación de un triglicérido



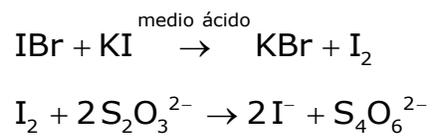
Reacción 2. Saponificación de un triglicérido

Reacciones del índice de peróxido



Reacción 3. Reacciones implicadas en el procedimiento de índice de peróxido.

Reacciones del índice de yodo



Reacción 4. Reacciones implicadas en el procedimiento de índice de yodo.

Anexo G. Costos de extracción de aceite de sésamo

Tabla 63. Costos de energía eléctrica de un proceso de extracción y destilación simple de hexano para obtener el aceite de sésamo.

Equipo	Consumo (kW)	Duración (h)	Consumo (kW-h)	Costo (Q/kW-h) ¹	Costo Total (Q)
Horno	0.840	0.5	0.4200	1.103029	0.4633
Procesador de alimentos	0.350	0.17	0.0595		0.0656
Plancha de calentamiento	0.405	6.5	2.63		2.9010
Manta de calentamiento	0.300	0.75	0.225		0.2482
Total de consumo	1.895	7.92	3.3345	1.103029	3.6781
Energía (sin IVA)					3.6781
Cargo fijo (sin IVA)					10.4759
Total cargo (sin IVA)					14.154
Total cargo (con IVA)					15.85
Tasa Municipal (sin IVA) de 13%					1.84
Total					17.69

Fuente: elaboración propia (2018). Nota: Tarifa de energía eléctrica disponible en: <http://www.cnee.gob.gt/Calculadora/pliegos.php>

Tabla 64. Costo de solvente en el proceso de extracción del aceite de sésamo en función del tamaño del extractor Soxhlet.

Descripción	Consumo (L)	Costo (Q/L) ²	Costo Total (Q)
Soxhlet pequeño	0.075	92.5	6.94
Soxhlet mediano	0.200	92.5	18.5
Soxhlet grande	0.320	92.5	29.6

Fuente: elaboración propia (2018).

1. Tarifa social del kW-h distribuido por EEGSA el mes de junio de 2018, Guatemala.

2. Costo de solvente proporcionado por Universidad Rafael Landívar, 2018.

Tabla 65. Costos de agua de un proceso de extracción y destilación simple de hexano para obtener el aceite de sésamo.

Proceso	Consumo total (m ³)	Duración (h)	Costo (Q/m ³) ¹	Costo Total (Q)
Extracción Soxhlet	0.5143	6	2.16	1.111
Destilación	0.0857	0.75	2.16	0.185
Total de consumo	0.6	6.75	2.16	1.296
Cargo fijo (sin IVA)				27.19
Alcantarillado (20%)				0.2592
Total cargo (sin IVA)				28.75
Total cargo (con IVA)				32.19

Fuente: elaboración propia (2018).

Tabla 66. Costo total de insumos implicados en una extracción de aceite de sésamo.

Tamaño de Soxhlet	Costo energía eléctrica (Q)	Costo de agua (Q)	Costo de solvente (Q)	Costo total insumos (Q)
Pequeño	17.81	32.19	6.94	56.94
Mediano	17.81	32.19	18.5	68.50
Grande	17.81	32.19	29.6	79.60

Fuente: elaboración propia (2018).

Tabla 67. Costo de semillas de ajonjolí natural y descortezado implicado en la extracción Soxhlet.

Tipo de semilla	Extractor Soxhlet	Peso de semillas trituradas (g)	Costo unitario (Q/lb semilla)	Costo unitario (Q/g semilla)	Costo de semillas (Q)
Natural	Pequeño	15.0531	13.25	0.0292	0.44
	Mediano	25.0082			0.73
	Grande	40.0241			1.17
Descortezada	Pequeño	15.0103	15.75	0.0347	0.52
	Mediano	25.0066			0.87
	Grande	40.0196			1.39

Fuente: elaboración propia (2018).

1. Tarifa de consumo de agua de Q2.16/m³ para un rango de 1 a 20 m³ consultado en EMPAGUA (2018).

Tabla 68. Costo total de extracción de aceite de sésamo por tipo de semilla y tamaño de extractor Soxhlet.

Tipo de semilla	Extractor Soxhlet	Costo de insumos (Q)	Costo de semillas (Q)	Costo total de extracción (Q)
Natural	Pequeño	56.94	0.44	57.38
	Mediano	68.50	0.73	69.23
	Grande	79.60	1.17	80.77
Descortezada	Pequeño	56.94	0.52	57.46
	Mediano	68.50	0.87	69.37
	Grande	79.60	1.39	80.99

Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 66 y 67 (2018).

Tabla 69. Costo de extracción por peso de aceite de sésamo obtenido.

Tipo de semilla	Extractor Soxhlet	Costo total de extracción (Q)	Peso de aceite obtenido (g)	Costo de extracción por gramo de aceite (Q/g)
Natural	Pequeño	57.38	7.385	7.77
	Mediano	69.23	12.855	5.39
	Grande	80.77	20.0874	4.02
Descortezada	Pequeño	57.46	9.044	6.35
	Mediano	69.37	15.3246	4.53
	Grande	80.99	23.4763	3.45

Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 68 (2018).

Tabla 70. Ahorro al utilizar la semilla descortezada en la extracción de aceite de sésamo.

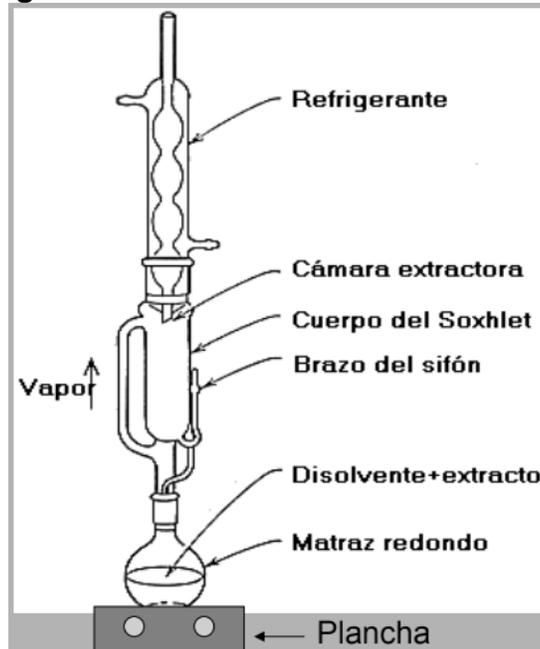
	Aceite de semilla natural	Aceite de semilla descortezada	
Extractor Soxhlet	Costo por gramo de aceite obtenido (Q/g)	Costo por gramo de aceite obtenido (Q/g)	Ahorro al utilizar semilla descortezada
Pequeño	7.77	6.35	18.28%
Mediano	5.39	4.53	15.96%
Grande	4.02	3.45	14.18%

Fuente: elaboración propia, en base a Tabla 69 (2018).

Anexo H. Técnicas de laboratorio

Sistema de extracción Soxhlet

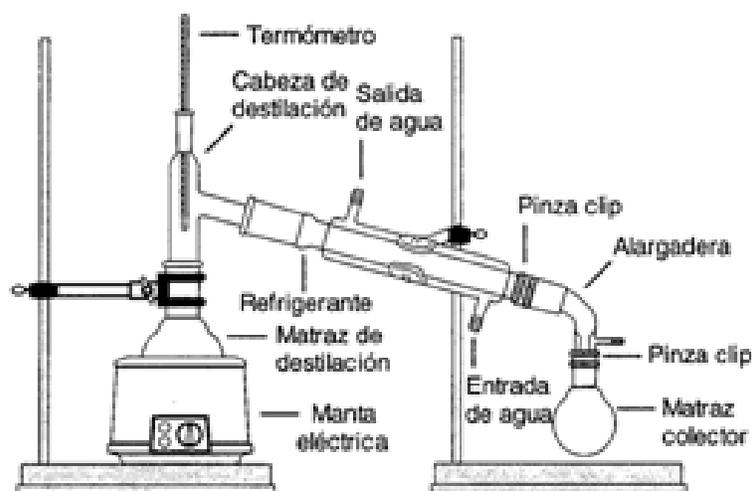
Figura 34. Sistema de extracción Soxhlet



Fuente: Terevinto (2013)

Sistema de destilación simple.

Figura 35. Sistema de destilación simple



Fuente: Universidad de Sevilla (s.f.)

Sistema de reflujo con condensador.

Figura 36. Sistema de reflujo con condensador



Fuente: Universidad de Sevilla (2014).

Técnica de titulación

Figura 37. Técnica de titulación

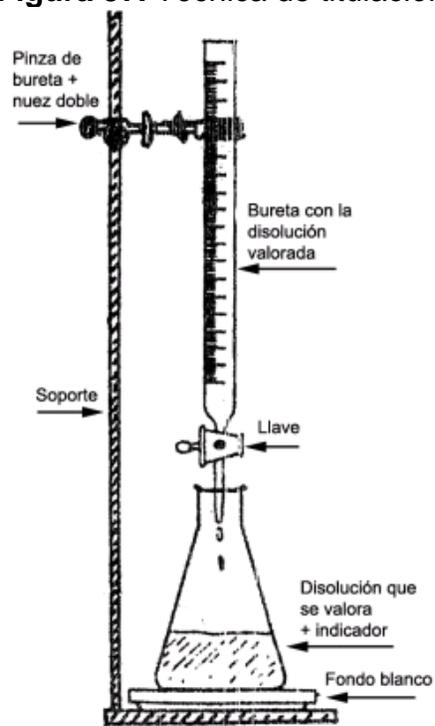


Figura 1

Fuente: Universidad de Sevilla (2014).

Anexo I. Datos experimentales para determinación de la media y desviación estándar de muestreo utilizados en el diseño estadístico

Tabla 71. Contenido de aceite en ajonjolí natural

Muestra	Rendimiento de extracción (%)
1	51.10
2	51.51
3	51.11
4	52.25
5	50.94
6	52.07
7	49.35
8	51.52
9	50.26
10	47.32
11	53.36
12	55.36
13	53.29
14	52.93
15	52.21

Fuente: Cervantes (2012).

Anexo J. Tablas estadísticas utilizadas para el diseño experimental

Figura 38. Tabla estadística distribución *t* de STUDENT

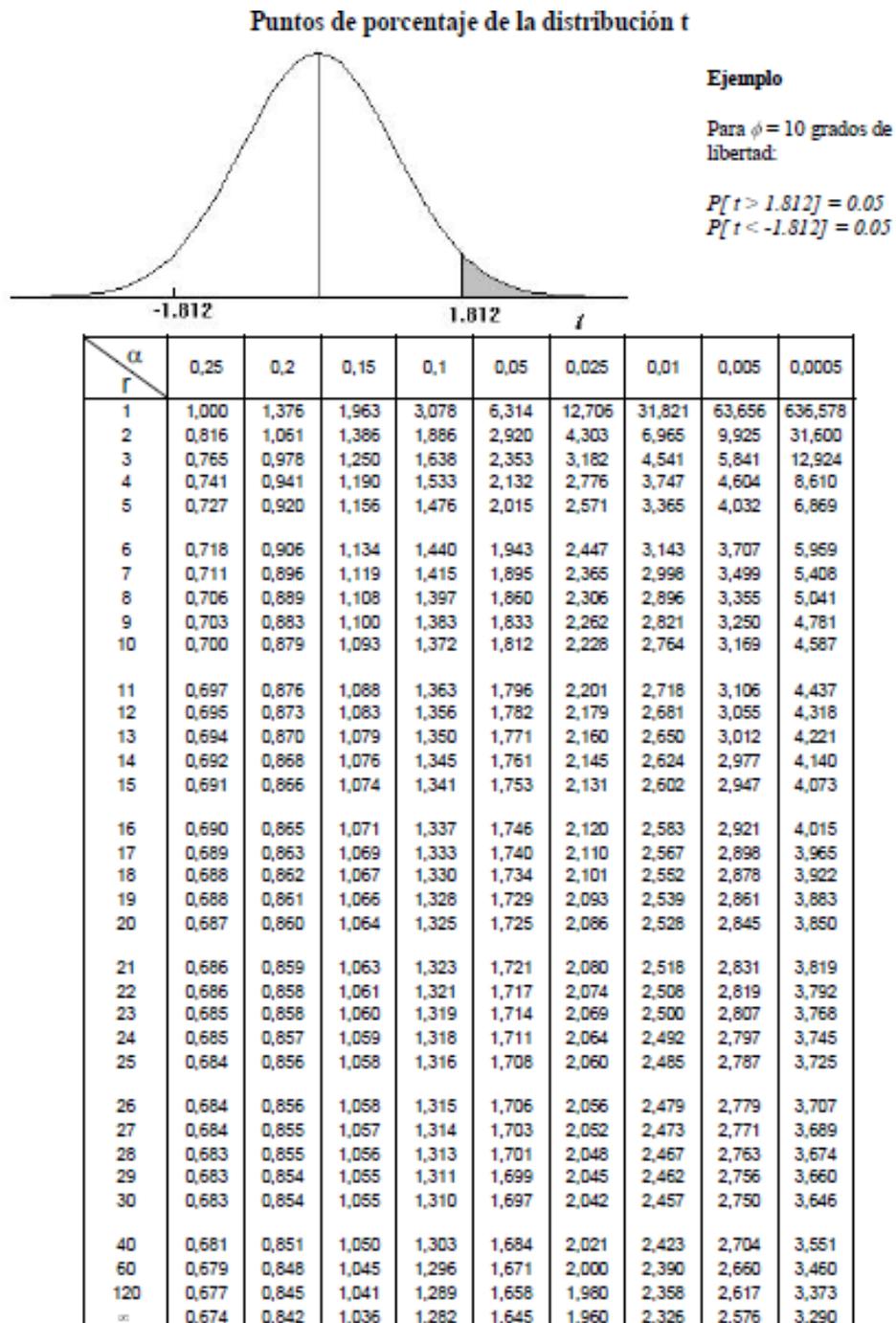
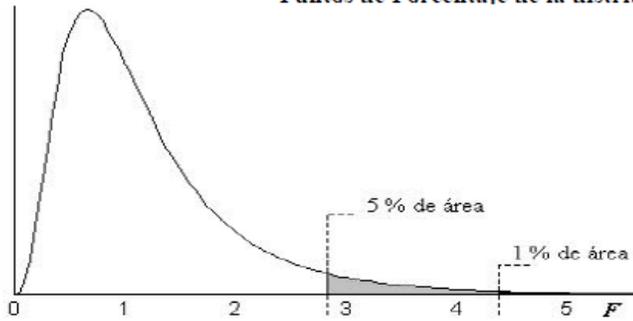


Figura 39. Tabla estadística distribución F de Fisher.

Puntos de Porcentaje de la distribución F



Ejemplo:

Para $n_1 = 9, n_2 = 12$ grados de libertad:

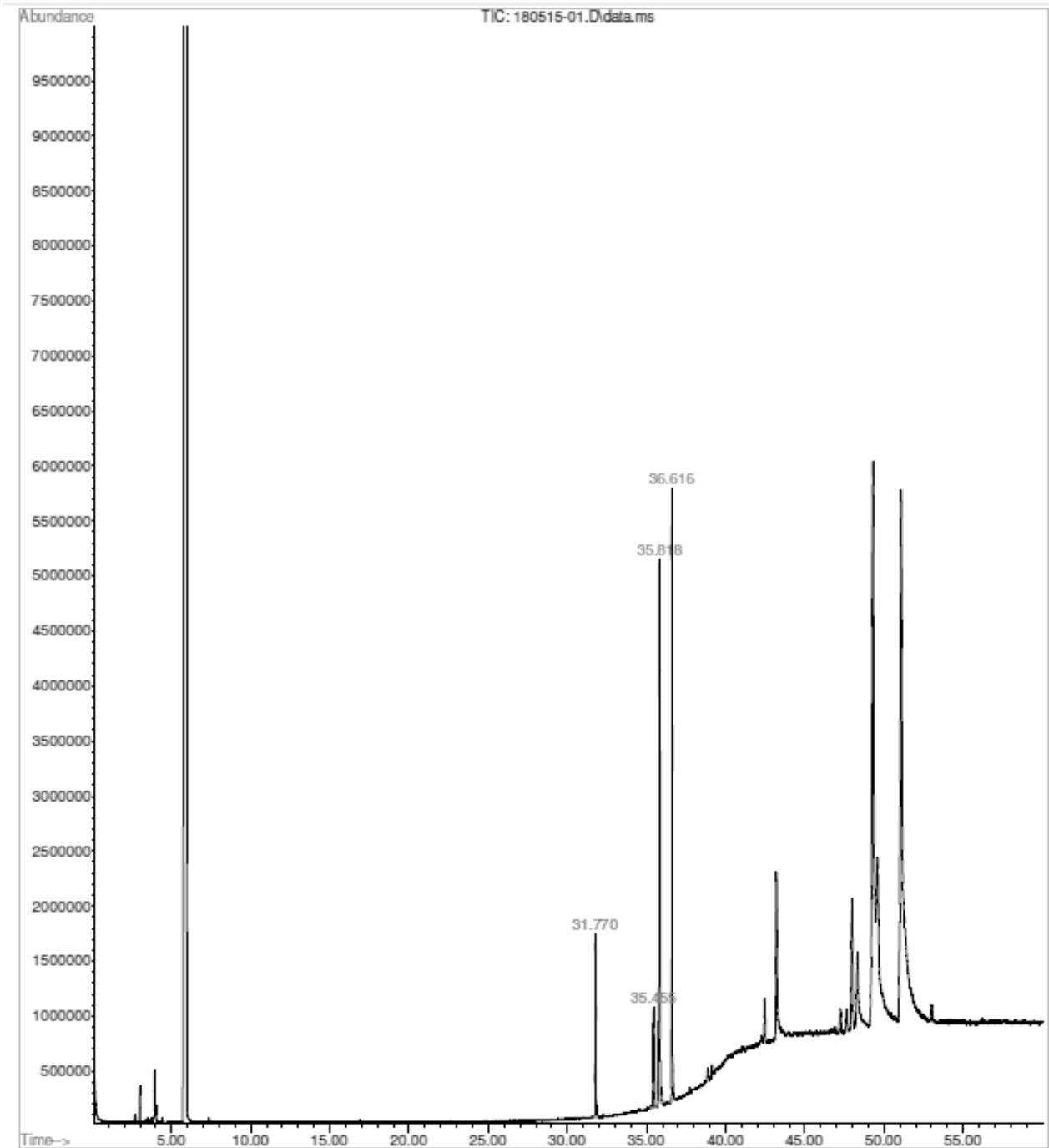
$P[F > 2.80] = 0.05$

$P[F > 4.39] = 0.01$

n_2	5% (normal) y 1% (negritas) puntos para la distribución de F																										n_1
	n1 grados de libertad (para el mayor cuadrado medio)																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	∞			
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	246	248	249	250	251	252	253	253	254	254	254	254	1	
2	4052	4999	5404	5624	5764	5859	5928	5981	6022	6056	6083	6107	6143	6170	6209	6234	6260	6286	6302	6324	6334	6350	6360	6366	2		
3	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.48	19.49	19.49	19.49	19.50	3		
4	98.50	99.00	99.16	99.25	99.30	99.33	99.36	99.38	99.39	99.40	99.41	99.42	99.43	99.44	99.45	99.46	99.47	99.48	99.48	99.48	99.49	99.49	99.50	99.50	4		
5	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.71	8.69	8.66	8.64	8.62	8.59	8.58	8.56	8.55	8.54	8.53	8.53	5		
6	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.34	27.23	27.13	27.05	26.92	26.83	26.69	26.60	26.50	26.41	26.35	26.28	26.24	26.18	26.15	26.13	6		
7	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.87	5.84	5.80	5.77	5.75	5.72	5.70	5.68	5.66	5.65	5.64	5.63	7		
8	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66	14.55	14.45	14.37	14.25	14.15	14.02	13.93	13.84	13.75	13.69	13.61	13.58	13.52	13.49	13.46	8		
9	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.64	4.60	4.56	4.53	4.50	4.46	4.44	4.42	4.41	4.39	4.37	4.37	9		
10	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16	10.05	9.96	9.89	9.77	9.68	9.55	9.47	9.38	9.29	9.24	9.17	9.13	9.08	9.04	9.02	10		
11	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.96	3.92	3.87	3.84	3.81	3.77	3.75	3.73	3.71	3.69	3.68	3.67			
12	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.79	7.72	7.60	7.52	7.40	7.31	7.23	7.14	7.09	7.02	6.99	6.93	6.90	6.88			
13	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.53	3.49	3.44	3.41	3.38	3.34	3.32	3.29	3.27	3.25	3.24	3.23			
14	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62	6.54	6.47	6.36	6.28	6.16	6.07	5.99	5.91	5.86	5.79	5.75	5.70	5.67	5.65			
15	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.24	3.20	3.15	3.12	3.08	3.04	3.02	2.99	2.97	2.95	2.94	2.93			
16	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	5.73	5.67	5.56	5.48	5.36	5.28	5.20	5.12	5.07	5.00	4.96	4.91	4.88	4.86			
17	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.03	2.99	2.94	2.90	2.86	2.83	2.80	2.77	2.76	2.73	2.72	2.71			
18	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35	5.26	5.18	5.11	5.01	4.92	4.81	4.73	4.65	4.57	4.52	4.45	4.41	4.36	4.33	4.31			
19	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.86	2.83	2.77	2.74	2.70	2.66	2.64	2.60	2.59	2.56	2.55	2.54			
20	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85	4.77	4.71	4.60	4.52	4.41	4.33	4.25	4.17	4.12	4.05	4.01	3.96	3.93	3.91			

Anexo K. Cromatogramas de aceite de sésamo a partir de semilla natural y descortezada

Figura 40. Cromatograma de aceite de sésamo a partir de semilla natural, corrida 1.



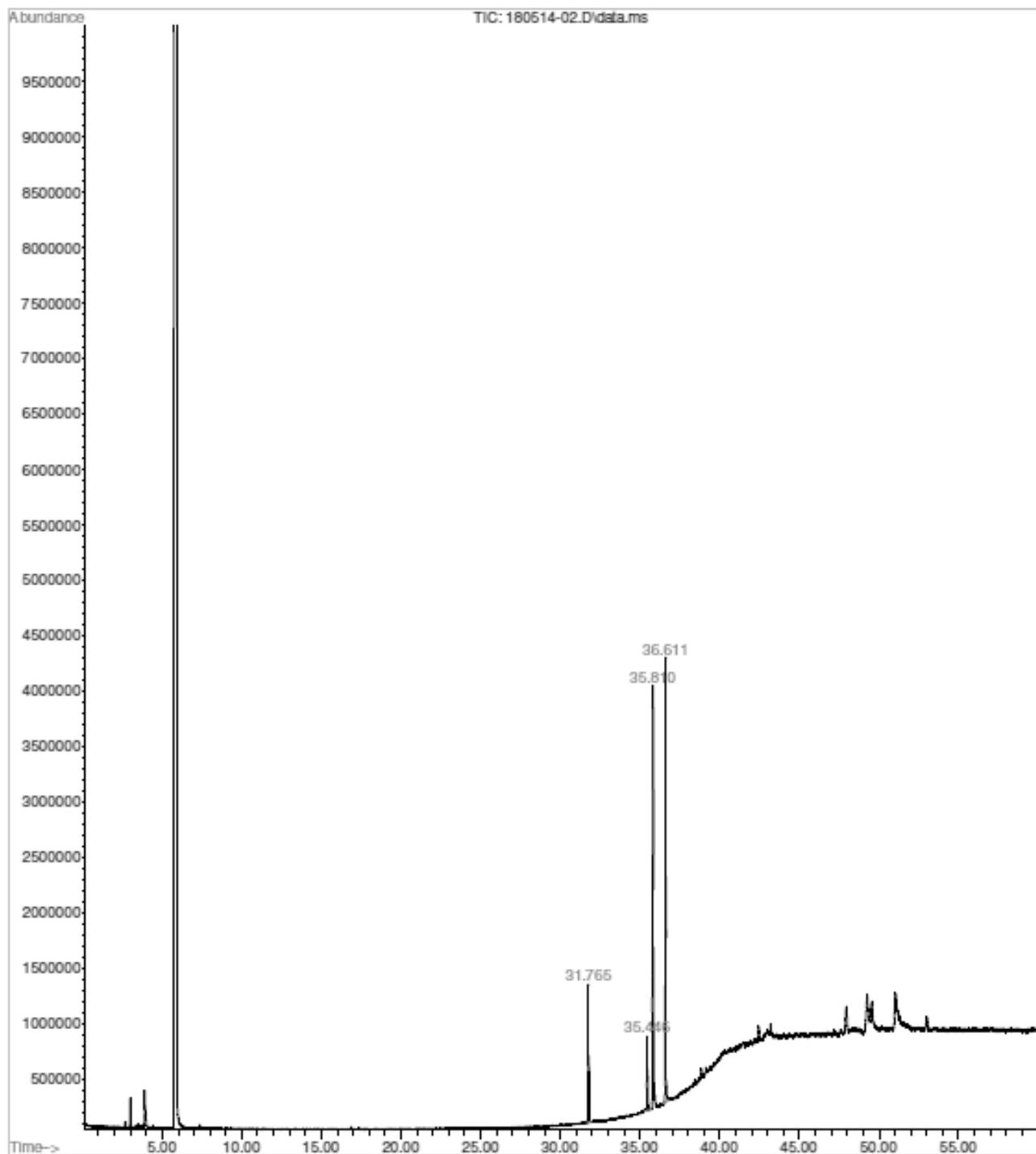
Fuente: Programa ChemStation (2018).

Figura 41. Perfil de ácidos grasos de aceite de sésamo a partir de semilla natural, corrida 1.

LIQA Library Search Report						
Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\						
Data File : 180515-01.D						
Title :						
Acq On : 15 May 2018 11:05						
Operator : AdeM						
Sample : C-1						
Misc : Aceite						
ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1						
Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0						
Unknown Spectrum: Apex						
Integration Events: ChemStation Integrator - events.e						
Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	31.769	12.47	C:\Database\NIST05a.L			
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105644	000112-39-0	96
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105639	000112-39-0	95
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105646	000112-39-0	93
2	35.453	7.44	C:\Database\NIST05a.L			
			Octadecanoic acid, methyl ester	123709	000112-61-8	99
			Octadecanoic acid, methyl ester	123708	000112-61-8	99
			Octadecanoic acid, methyl ester	123700	000112-61-8	98
3	35.817	38.29	C:\Database\NIST05a.L			
			9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	122326	001937-62-8	99
			7-Octadecenoic acid, methyl ester	122298	057396-98-2	99
			9-Octadecenoic acid, methyl ester	122299	002462-84-2	99
4	36.617	41.79	C:\Database\NIST05a.L			
			9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	121107	000112-63-0	99
			9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester, (E,E)-	121112	002566-97-4	99
			9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester	121093	002462-85-3	99

Fuente: Programa ChemStation (2018).

Figura 42. Cromatograma de aceite de sésamo a partir de semilla natural, corrida 2.



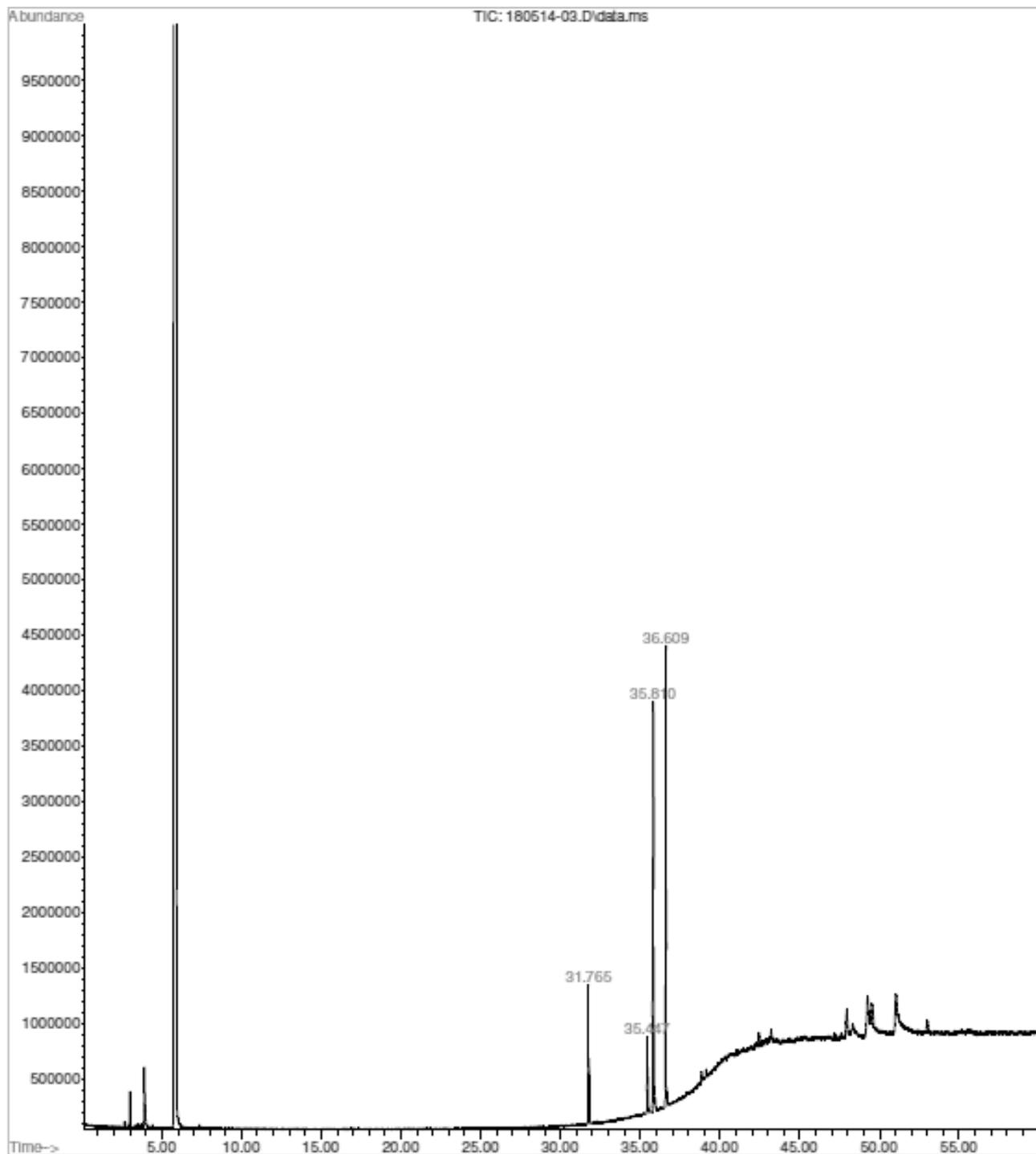
Fuente: Programa ChemStation (2018).

Figura 43. Perfil de ácidos grasos de aceite de sésamo a partir de semilla natural, corrida 2

LIQA Library Search Report						
Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\						
Data File : 180514-02.D						
Title :						
Acq On : 14 May 2018 12:52						
Operator : AdeM						
Sample : C-2						
Misc : Aceite						
ALS Vial : 2 Sample Multiplier: 1						
Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0						
Unknown Spectrum: Apex						
Integration Events: ChemStation Integrator - events.e						
Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	31.764	12.79	C:\Database\NIST05a.L			
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105639	000112-39-0	98
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105644	000112-39-0	96
			Tridecanoic acid, methyl ester	77299	001731-88-0	94
2	35.448	7.28	C:\Database\NIST05a.L			
			Octadecanoic acid, methyl ester	123709	000112-61-8	99
			Octadecanoic acid, methyl ester	123708	000112-61-8	99
			Octadecanoic acid, methyl ester	123700	000112-61-8	97
3	35.808	37.98	C:\Database\NIST05a.L			
			9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	122323	000112-62-9	99
			9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	122328	001937-62-8	99
			7-Octadecenoic acid, methyl ester	122298	057396-98-2	99
4	36.613	41.94	C:\Database\NIST05a.L			
			9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	121107	000112-63-0	99
			9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester, (E,E)-	121112	002566-97-4	99
			9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester	121093	002462-85-3	99

Fuente: Programa ChemStation (2018).

Figura 44. Cromatograma de aceite de sésamo a partir de semilla natural, corrida 3



Fuente: Programa ChemStation (2018).

Figura 45. Perfil de ácidos grasos de aceite de sésamo a partir de semilla natural, corrida 3

```

                                LIQA      Area Percent Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
Data File : 180514-03.D
Acq On    : 14 May 2018  13:59
Operator  : AdeM
Sample    : C-3
Misc      : Aceite
ALS Vial  : 3   Sample Multiplier: 1

Integration Parameters: events.e
Integrator: ChemStation

Method    : C:\msdchem\1\METHODS\AIAISOTERMICOPINENO10.M
Title     :

Signal    : TIC: 180514-03.D\data.ms

peak  R.T.  first  max  last  PK   peak   corr.  corr.  % of
#     min   scan  scan scan  TY   height area   % max. total
----  -
1    31.765 6946 6964 6990 BB   1244518 37289128 29.96% 12.534%
2    35.447 7739 7774 7795 BB 2   683063 21930957 17.62%  7.372%
3    35.810 7818 7854 7871 BV 3   3653510 113812860 91.45% 38.257%
4    36.610 7997 8029 8062 BB   4093064 124459933 100.00% 41.836%

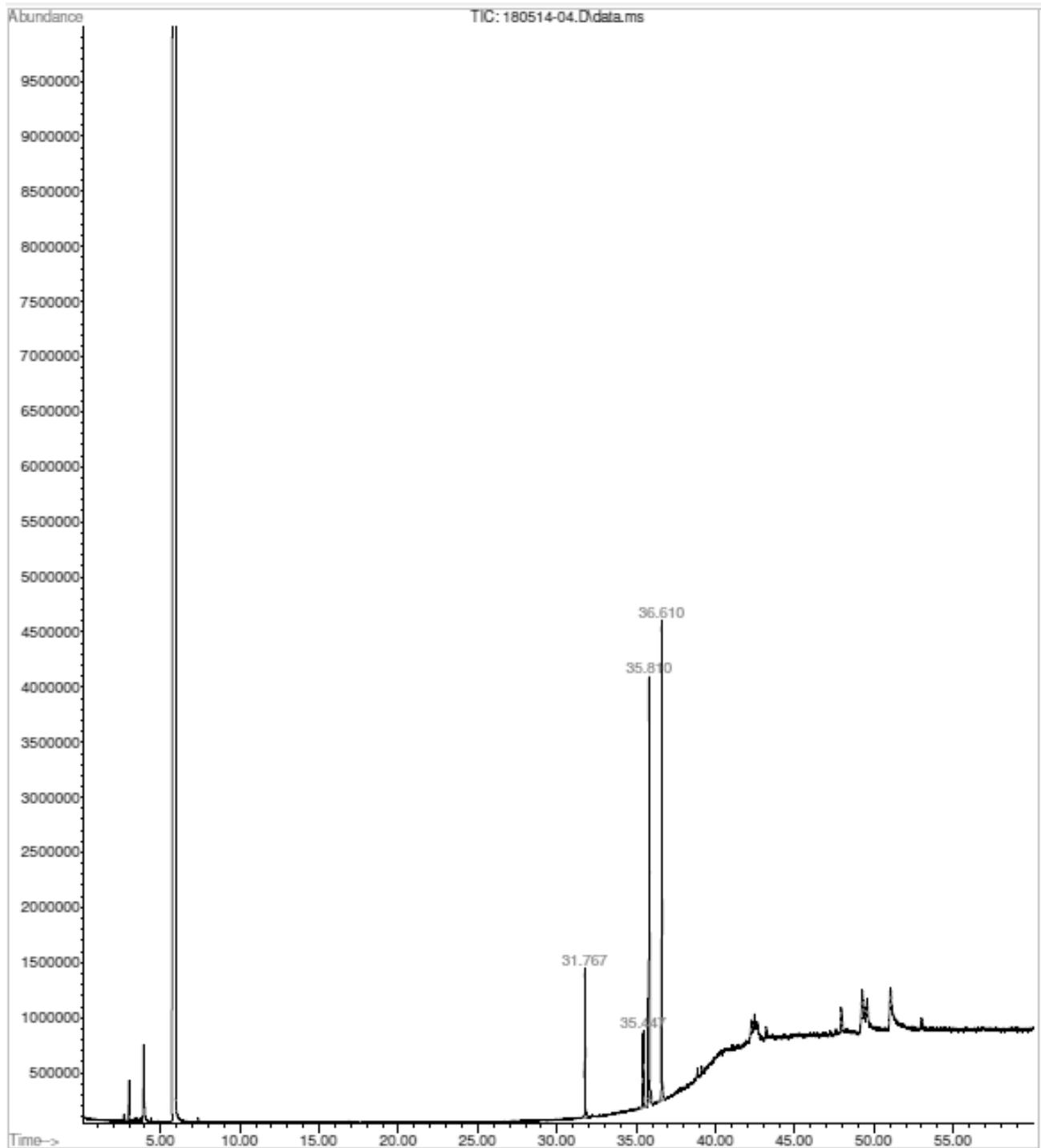
                                Sum of corrected areas: 297492878

AIAISOTERMICOPINENO10.M Wed May 23 10:47:55 2018

```

Fuente: Programa ChemStation (2018).

Figura 46. Cromatograma de aceite de sésamo a partir de semilla descortezada, corrida 1



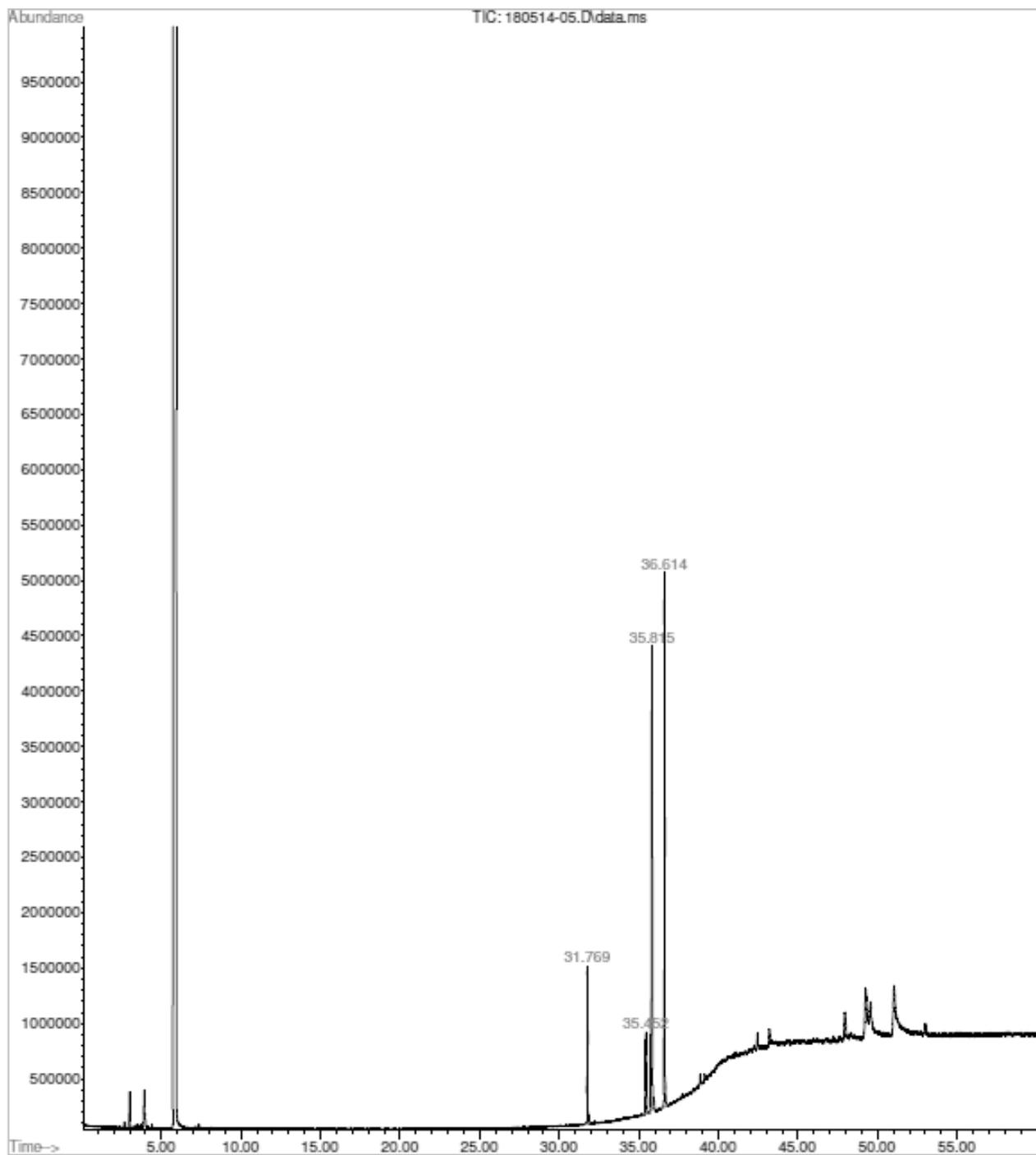
Fuente: Programa ChemStation (2018).

Figura 47. Perfil de ácidos grasos de aceite de sésamo a partir de semilla descortezada, corrida 1

LIQA Library Search Report						
Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\						
Data File : 180514-04.D						
Title :						
Acq On : 14 May 2018 15:05						
Operator : AdeM						
Sample : D-1						
Misc : Aceite						
ALS Vial : 4 Sample Multiplier: 1						
Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0						
Unknown Spectrum: Apex						
Integration Events: ChemStation Integrator - events.e						
Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	31.769	12.86	C:\Database\NIST05a.L			
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105644	000112-39-0	97
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105639	000112-39-0	95
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105646	000112-39-0	93
2	35.448	6.92	C:\Database\NIST05a.L			
			Octadecanoic acid, methyl ester	123709	000112-61-8	99
			Octadecanoic acid, methyl ester	123708	000112-61-8	97
			Octadecanoic acid, methyl ester	123700	000112-61-8	95
3	35.812	37.99	C:\Database\NIST05a.L			
			9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	122326	001937-62-8	99
			7-Octadecenoic acid, methyl ester	122298	057396-98-2	99
			9-Octadecenoic acid, methyl ester	122299	002462-84-2	99
4	36.608	42.24	C:\Database\NIST05a.L			
			9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	121107	000112-63-0	99
			9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester, (E,E)-	121112	002566-97-4	99
			9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester	121093	002462-85-3	99

Fuente: Programa ChemStation (2018).

Figura 48. Cromatograma de aceite de sésamo a partir de semilla descortezada, corrida 2.



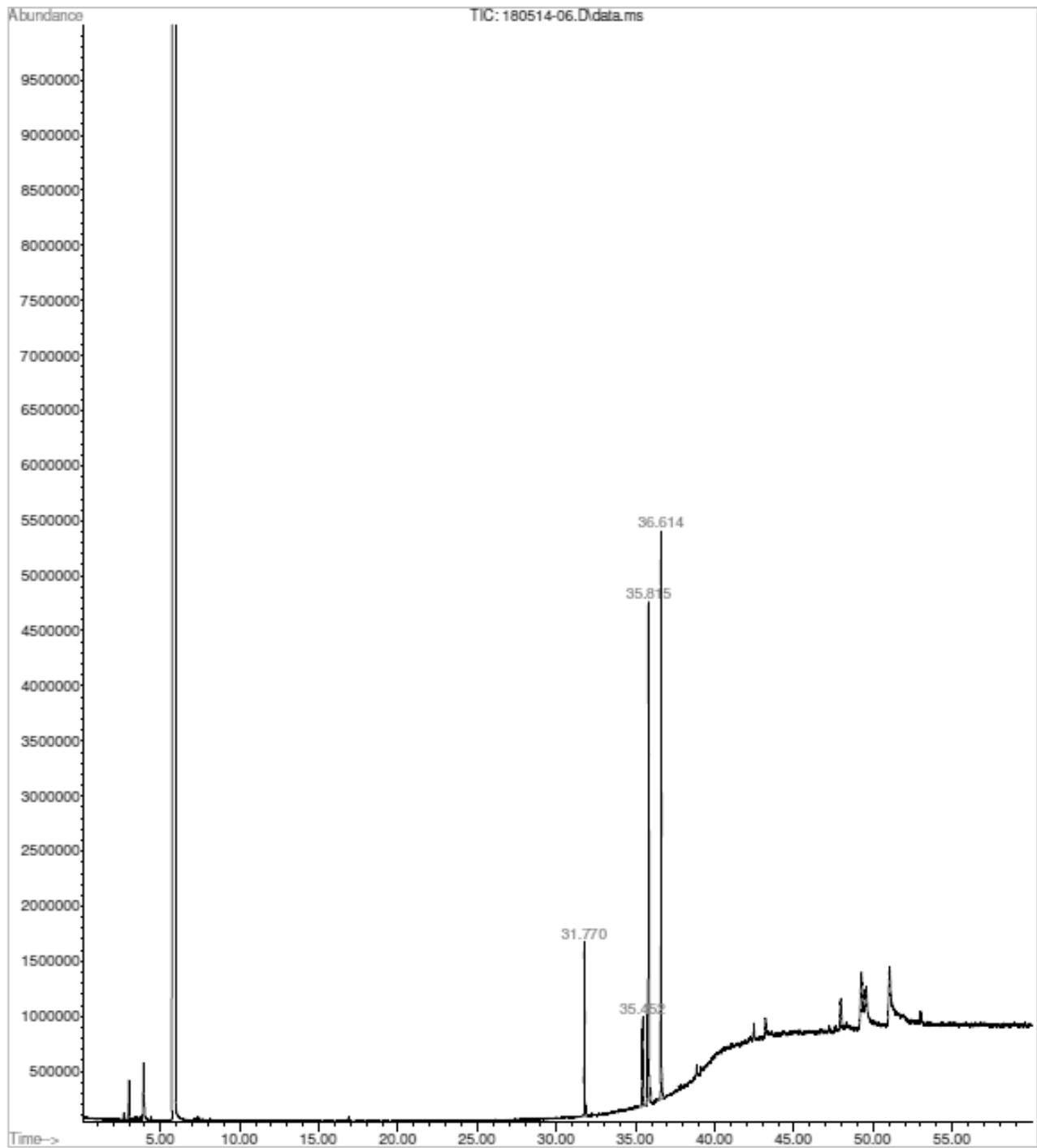
Fuente: Programa ChemStation (2018).

Figura 49. Perfil de ácidos grasos de aceite de sésamo a partir de semilla descortezada, corrida 2

LIQA		Library Search Report				
Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\						
Data File : 180514-05.D						
Title :						
Acq On : 14 May 2018 16:12						
Operator : AdeM						
Sample : D-2						
Misc : Aceite						
ALS Vial : 5 Sample Multiplier: 1						
Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0						
Unknown Spectrum: Apex						
Integration Events: ChemStation Integrator - events.e						
PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	31.769	12.66	C:\Database\NIST05a.L			
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105644	000112-39-0	97
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105639	000112-39-0	95
			Pentadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester	105662	005129-60-2	94
2	35.453	6.94	C:\Database\NIST05a.L			
			Octadecanoic acid, methyl ester	123709	000112-61-8	99
			Octadecanoic acid, methyl ester	123700	000112-61-8	98
			Octadecanoic acid, methyl ester	123708	000112-61-8	98
3	35.817	38.05	C:\Database\NIST05a.L			
			7-Octadecenoic acid, methyl ester	122298	057396-98-2	99
			9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	122326	001937-62-8	99
			9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	122323	000112-62-9	99
4	36.613	42.35	C:\Database\NIST05a.L			
			9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	121107	000112-63-0	99
			10,13-Octadecadienoic acid, methyl ester	121100	056554-62-2	99
			9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester, (E,E)-	121112	002566-97-4	99

Fuente: Programa ChemStation (2018).

Figura 50. Cromatograma de aceite de sésamo a partir de semilla descortezada, corrida 3.



Fuente: Programa ChemStation (2018).

Figura 51. Perfil de ácidos grasos de aceite de sésamo a partir de semilla descortezada, corrida 3.

LIQA Library Search Report						
Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\						
Data File : 180514-06.D						
Title :						
Acq On : 14 May 2018 17:18						
Operator : AdeM						
Sample : D-3						
Misc : Aceite						
ALS Vial : 6 Sample Multiplier: 1						
Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0						
Unknown Spectrum: Apex						
Integration Events: ChemStation Integrator - events.e						
Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	31.769	12.85	C:\Database\NIST05a.L			
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105639	000112-39-0	98
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105644	000112-39-0	96
			Tridecanoic acid, methyl ester	77299	001731-88-0	94
2	35.453	6.90	C:\Database\NIST05a.L			
			Octadecanoic acid, methyl ester	123709	000112-61-8	99
			Octadecanoic acid, methyl ester	123708	000112-61-8	99
			Octadecanoic acid, methyl ester	123700	000112-61-8	97
3	35.817	37.92	C:\Database\NIST05a.L			
			9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	122326	001937-62-8	99
			7-Octadecenoic acid, methyl ester	122298	057396-98-2	99
			9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	122323	000112-62-9	99
4	36.613	42.34	C:\Database\NIST05a.L			
			9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester, (E,E)-	121112	002566-97-4	99
			9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	121107	000112-63-0	99
			10,13-Octadecadienoic acid, methyl ester	121100	056554-62-2	99

Fuente: Programa ChemStation (2018).