

**EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DEL ACEITE DE
SEMILLAS DE AJONJOLÍ (*Sesamum Indicum L.*) VARIEDADES NEGRO Y COMÚN CULTIVADAS EN EL
DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR**

AUTORA: SILVERA MENDOZA PAULETTE ALEJANDRA

**UNIVERSIDAD DEL SINÚ SECCIONAL CARTAGENA
PROGRAMA DE NUTRICIÓN Y DIETÉTICA
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS ALIMENTOS
CARTAGENA DE INDIAS D. T. H. Y C.**

2024-1

**EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DEL ACEITE DE
SEMILLAS DE AJONJOLÍ (*Sesamum Indicum L.*) VARIEDADES NEGRO Y COMÚN CULTIVADAS EN EL
DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR**

AUTORA: SILVERA MENDOZA PAULETTE ALEJANDRA

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL TÍTULO DE MAGISTER EN GESTIÓN DE LA CALIDAD DE
LOS ALIMENTOS**

TUTORES

DIRECTORA: OLGA TATIANA JAIMES PRADA, MSc.

CODIRECTOR: DIOFANOR ACEVEDO CORREA, PhD.

UNIVERSIDAD DEL SINÚ SECCIONAL CARTAGENA

PROGRAMA DE NUTRICIÓN Y DIETÉTICA

MAESTRÍA EN GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS ALIMENTOS

CARTAGENA DE INDIAS D. T. H. Y C.

2024

Cartagena, 31/octubre/2024

Doctor:

Ricardo Pérez

Director de Investigaciones

Universidad del Sinú EBZ

Seccional Cartagena

L. C.

Cordial saludo.

La presente tiene como fin someter a revisión y aprobación para la ejecución del proyecto de investigación titulado: **EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DEL ACEITE DE SEMILLAS DE AJONJOLÍ (*Sesamum Indicum L.*) VARIEDADES NEGRO Y COMÚN CULTIVADAS EN EL DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR**, adscritos Al programa de Nutrición y Dietética en el área de postgrado.

Atentamente,

Firma: _____

Dra. Olga Tatiana Jaimes Prada

Jefe del programa de Nutrición y Dietética

Firma: _____

Dra. Tania Yadira Martínez

Coordinador de Investigaciones

Programa de Nutrición y Dietética

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

Este trabajo de grado lo dedico a Dios, por permitir haber culminado este propósito de vida y profesión como fue el cursar mi maestría, al igual que por haberme dado la salud, fortaleza, sabiduría y la atención necesaria para lograr este sueño.

A mis padre Guillermo Nicolas Silvera Urueta, por apoyarme para el desarrollo de esta investigación y por estar siempre presente y con una voz de aliento para animarme a seguir adelante.

A mi madre Sofía Del Transito Mendoza De La Hoz, por tenerme siempre en sus oraciones y poner en manos de Dios todos mis procesos académicos.

A mis hermanos por ser mi apoyo incondicional en el día a día durante mi formación académica y profesional

Al Sr., Cristian Arley Acevedo Sánchez, quien siempre me apoyo en la toma de decisiones necesarias para mi formación, por facilitarme los requisitos necesarios para desarrollar esta investigación.

A mis maestros y mentores, quienes con su conocimiento y experiencia me guiaron por el camino del aprendizaje, despertando en mí la pasión por la gestión de la calidad de los alimentos.

A todos aquellos que trabajan incansablemente por garantizar la inocuidad y calidad de nuestros alimentos, promoviendo así una mejor calidad de vida para la humanidad.

Este trabajo de grado representa el fruto de mucho esfuerzo, dedicación y sacrificio. Espero que pueda contribuir al avance del conocimiento en esta área tan importante y apasionante.

Paulette Alejandra Silvera Mendoza

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y doy gracias infinitas por haberme permitido culminar con éxito mi formación de maestría, la cual me dio las bases para el desarrollo de esta investigación, que es de gran importancia para el desarrollo de la ciencia y la tecnología de alimentos. Por darme la sabiduría y fortaleza durante todo este tiempo de formación y así obtener mi título como Magister en Gestión de la Calidad de los Alimentos, Título que anhele desde que plantee mi proyecto de vida.

También agradezco a mis padres, hermanos, abuelos, tíos y demás familiares por tenerme siempre presente en sus oraciones hacia Dios confiar en mis capacidades, por darme el apoyo que muchas veces necesité el cual fue incondicional aún desde la distancia, Por motivarme día a día para que siguiera luchando por mis sueños.

Agradezco a la Universidad del Sinú por permitirme seguir formándome profesionalmente y darme las herramientas para el desarrollo de este proyecto, al igual que por brindarme el apoyo para el cumplimiento de los objetivos que se plantearon en un principio.

También agradezco a los campesinos y cultivadores de Ajonjolí, quienes a través de su conocimiento y sabiduría me enseñaron mucho sobre esta hermosa semilla. Ellos, quienes son los que día a día hacen posible que nuestra madre naturaleza nos de los alimentos para nuestra nutrición. A los señores Guillermo Enrique Lora Contreras en el Carmen de Bolívar, Danovis Luna Atencia en la Vereda el Cocuelo de El Carmen de Bolívar, José Contreras Atencia en el municipio de Córdoba Tetón, a la comercializadora Caribbean Sésame SAS, todos por darme la materia prima, por transmitirme el conocimiento sobre la siembra, cosecha y procesos para el desarrollo de esta investigación.

Al Dr Diofanor Acevedo Correa y su equipo de trabajo, quienes con su apoyo me transmitieron sus conocimientos para desarrollar esta investigación. A la Dra Olga Jaimes Prada, quien con su sabiduría y paciencia me orientó para desarrollar este trabajo de grado. A mis compañeros de clase por animarme en los momentos necesarios para continuar en el proceso. *Paulette Alejandra Silveira Mendoza.*

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	18
3. JUSTIFICACIÓN	19
4. OBJETIVOS	22
4.1. Objetivo General	22
4.2. Objetivos específicos	22
5. REVISIÓN LITERARIA	23
5.1. MARCO TEÓRICO	23
5.1.1 Ajonjolí	23
5.1.2 Semilla de ajonjolí.....	27
5.1.3 Cultivo de ajonjolí o sésamo	27
5.1.4 Variedades de ajonjolí	27
5.1.5 Composición química del ajonjolí	28
5.1.6. Propiedades físicas de las semillas de ajonjolí o sésamo	29
5.1.7. División taxonómica del ajonjolí o sésamo	29
5.1.8. Aceite.....	30
5.1.9. Grasa.....	31
5.1.10. Grasa saturada.....	31
5.1.11. Grasa monoinsaturada.....	32
5.1.12. Grasa poliinsaturada.....	33
5.1.13. Ácidos grasos trans	33
5.1.14. Acidez (Ácido oleico).....	35
5.1.15. Perfil de ácidos grasos.....	36
5.1.16. Humedad	38
5.1.17. Índice de Yodo	39
5.1.18. Índice de refracción.....	39
5.1.19. Densidad.....	41
5.1.20. Índice de Saponificación	42

5.1.21. Punto de humo	43
5.2 ANTECEDENTES	44
5.3 MARCO CONCEPTUAL.....	47
5.3.1. Origen del Ajonjolí	47
6. MARCO LEGAL	48
6.1 A nivel internacional.....	48
6.2 A nivel nacional	48
6.3 Organizaciones relevantes	49
7. METODOLOGÍA.....	50
7.1 Tipo de investigación	50
7.2 Diagrama de flujo	51
7.3 Materiales y métodos	52
7.3.1. Ajonjolí Negro.....	52
7.3.2. Ajonjolí Común	53
7.3.3. Limpieza	53
7.3.4. Clasificación de las semillas	55
7.3.5. Molienda	57
7.3.6 Extracción de aceite	57
7.3.7 Análisis de las propiedades fisicoquímicas y perfil de ácidos grasos.....	58
7.3.7. 1 Análisis de las propiedades fisicoquímicas.....	58
7.3.7.2 Análisis del Perfil de ácidos grasos.....	59
7.4 Análisis estadístico	59
8. CONSIDERACIONES ÉTICAS	60
9. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	60
9.1 Rendimiento de la extracción de aceite	61
9.2 Análisis fisicoquímicos	62
9.3 Análisis de grasa	68
9.4 Caracterización y cuantificación de ácidos grasos del aceite de ajonjolí	70
CONCLUSIONES.....	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
ANEXOS	97

Anexo 1. Cromatograma por triplicado de aceite de ajonjolí común y negro	97
Anexos 2. Pruebas estadísticas realizada	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Hectáreas sembradas de ajonjolí por departamento en Colombia (2018-2021).	15
Tabla 2. Composición Química De La Semilla De Sésamo.....	28
Tabla 3. Propiedades Físicas De Las Semillas De Ajonjolí.	29
Tabla 4. Taxonomía Del Ajonjolí.....	29
Tabla 5. Comparación Del Rendimiento De Extracción Y Los Métodos Utilizados Para Obtener Aceites De Ajonjolí, Oliva Y Palma.	61
Tabla 6. Resultados Promedio De Los Análisis Físicoquímico Del Aceite De Ajonjolí Común Y Negro.	63
Tabla 7. Resultados Promedio De Los Análisis Físicoquímico Del Aceite De Ajonjolí Común Y Negro Comparados Con La Ntc 256:2022.	63
Tabla 8. Comparación Del Perfil De Grasas De Los Aceites De Semillas De Ajonjolí Negro Y Común.....	68
Tabla 9. Comparación De Los Niveles De Grasas Extraídas Por El Método Soxhlet En Semillas De Ajonjolí, Oliva Y De Palma.	69
Tabla 10. Perfil De Ácidos Grasos Promedio Del Aceite De Ajonjolí Común Y Negro.	71
Tabla 11. Ácidos Grasos Comparados Con La Norma Ntc 256:2022.	72
Tabla 12. Análisis De Varianza De Un Factor Ácido Palmítico.	100
Tabla 13. Análisis De Varianza De Un Factor Ácido Palmitoleico.	101
Tabla 14. Análisis De Varianza De Un Factor Ácido Esteárico.	101
Tabla 15. Análisis De Varianza De Un Factor Ácido Oleico.	102
Tabla 16. Análisis De Varianza De Un Factor Ácido Linoleico.	103
Tabla 17. Análisis De Varianza De Un Factor Ácido Araquídico.	104
Tabla 18. Análisis De Varianza De Un Factor Ácido A-Linoleico.	104
Tabla 19. Análisis De Varianza De Un Factor Ácido Heneicosanoico.....	105
Tabla 20. Análisis De Varianza De Un Factor Humedad.....	106
Tabla 21. Análisis De Varianza De Un Factor Grasa.....	108
Tabla 22. Análisis De Varianza De Un Factor Grasa Saturada.	108
Tabla 23. Análisis De Varianza De Un Factor Grasa Monoinsaturadas.	109
Tabla 24. Análisis De Varianza De Un Factor Grasa Poliinsaturadas.	110
Tabla 25. Análisis De Varianza De Un Factor Índice De Yodo.....	111
Tabla 26. Análisis De Varianza De Un Factor Índice De Refracción.	111
Tabla 27. Análisis De Varianza De Un Factor Densidad.	112
Tabla 28. Análisis De Varianza De Un Factor Índice De Saponificación.	113
Tabla 29. Análisis De Varianza De Un Factor Índice De Acidez.	113
Tabla 30. Análisis De Varianza De Un Factor Punto De Humo.	114

ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN

Ilustración 1. Planta De Ajonjolí De Variedad Negro.....	24
Ilustración 2. Planta De Ajonjolí De Variedad Común.	24
Ilustración 3. Cápsulas De Ajonjolí De Variedad Común En La Planta.....	25
Ilustración 4. Cápsulas De Ajonjolí De Variedad Negro.	25
Ilustración 5. Fruto, Capsula Tetracarpelada De La Planta De Ajonjolí De Variedad Negro.	26
Ilustración 6. Fruto, Capsula Tetracarpelada De La Planta De Ajonjolí De Variedad Común.....	26
Ilustración 7. Diagrama De Flujo Para La Obtención De Aceite Y Análisis Físicoquímico Y Perfil De Ácidos Grasos. .	51
Ilustración 8. Mapa De Ubicación Del Municipio De Córdoba Tetón, Departamento De Bolívar.	52
Ilustración 9. Mapa De Ubicación De La Vereda El Cocuelo, En El Centro Poblado De Hato Nuevo Del Municipio De El Carmen De Bolívar, Departamento De Bolívar.	53
Ilustración 10. Imagen De Impurezas Y Restos De La Planta Como Capsula, Hojas Secas, Entre Otros.	54
Ilustración 11. Imagen De Residuos E Impurezas Extraídos De La Muestra.	55
Ilustración 12. Muestra De Ajonjolí Negro.	56
Ilustración 13. Muestra De Ajonjolí Común.....	56
Ilustración 14. Ajonjolí Molido.....	57
Ilustración 15. Cromatograma De Aceite De Ajonjolí Común.....	75
Ilustración 16. Cromatograma De Aceite De Ajonjolí Negro.	75

INTRODUCCIÓN

La semilla de Ajonjolí, también conocida como Sésamo (*Sesamum indicum L.*), es originario de Asia de las regiones de China, Japón e India y de África de la región de Etiopía, esta planta se ha difundido en diferentes regiones, sobre todo en áreas tropicales, subtropicales y cálidas (Mili et al., 2021). El sésamo es una semilla antigua, utilizada y cultivada por el hombre, donde su mayor producción se dio en países de América Latina entre ellos México, Guatemala, Venezuela y Colombia (Morales, 2020).

El sésamo o Ajonjolí (*Sesamum indicum L.*) es una planta anual, herbácea, erecta, con o sin ramas, cuyo ciclo puede ser de 80 a 130 días con buen desarrollo y sus semillas crecen dentro de cápsulas alrededor de 62 a 80 granos (Acuña, 2012). En Colombia, se cultiva principalmente en la costa Atlántica y en el departamento del Tolima (Tejada, 2018), siendo los municipios de Los Palmitos en Sucre, El Carmen de Bolívar en Bolívar y Coello en Tolima (Gracia M, 2019).

Esta semilla es utilizada a nivel mundial como materia prima para la obtención de aceite comestible de tipo doméstico o industrial, se puede comercializar como aceite crudo obtenido de simiente crudas o aceite tostado extraído mecánicamente a partir de simiente tostadas (Krajewska et al., 2018). Las semillas de ajonjolí también se comercializan enteras o descortezadas, química o mecánicamente. Últimamente estudios han demostrado que las proteínas vegetales aisladas se han desarrollado alrededor de materias primas como el algodón, maní, colza, soja y girasol (Chandran et al., 2023), en comparación a esto, es importante resaltar que el ajonjolí (*Sesamum indicum L.*) es una semilla con un alto valor proteico, con un contenido de proteína cruda que varía entre el 18 y el 25% (Bedigian, 2010). Además, las semillas de ajonjolí son una fuente importante de aceite, con un contenido que puede llegar hasta el 60% (Melo et al., 2021).

El Sésamo es una semilla Oleaginosa, es decir que tiene entre un 40-50% de lípidos, de los cuales se puede resaltar los de tipo poliinsaturados, un 20-25% de proteína, 20-25% de carbohidratos

y una 5 y 6% de cenizas, por lo cual en diversos estudios lo han clasificado como un alimento nutritivo y saludable. Las semillas de ajonjolí se caracterizan por ser fuente de fibra y minerales como el magnesio al igual que antioxidantes entre ellos tocoferoles y polifenoles (Ahmad & Ghosh, 2020). Desde el punto de vista proteico, es una buena fuente de proteína de alta calidad, con una proporción significativa de aminoácidos esenciales como metionina y triptófano (Mostashari & Mousavi, 2024). En suplementos nutricionales líquidos, evidenciando mejores propiedades emulsionantes que la soja (Villamarin Álvarez, 2023), entre otros productos.

Dada la importancia del cultivo de ajonjolí en el departamento de Bolívar, es fundamental evaluar las características fisicoquímicas y perfil de ácidos grasos del aceite de semillas de ajonjolí (*Sesamum indicum L.*) variedades negro y común cultivadas en el Departamento de Bolívar, esta información es clave para agregar valor al cultivo, mejorar la calidad del producto y promover su uso en la industria alimentaria.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según la Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario Colombiano (Agronet), el cultivo de ajonjolí en Colombia ha experimentado fluctuaciones importantes en los últimos años. En el Departamento de Bolívar, el área sembrada y la producción han mostrado una tendencia descendente entre 2019 y 2022. En 2019, se sembraron 1.730 hectáreas con una producción de 1.335 toneladas, pero en 2022 estas cifras disminuyeron a 1.355 hectáreas y 868 toneladas respectivamente. Este descenso refleja una reducción del 35% en la producción en apenas tres años.

De manera similar, en Córdoba, la producción de ajonjolí ha sido errática. En 2019, el área sembrada fue de 330,9 hectáreas con una producción de 266,62 toneladas, mientras que en 2022 apenas se sembraron 147 hectáreas, con una producción de 136,3 toneladas, lo que representa una disminución del 48% en el área y casi un 50% en la producción.

En Magdalena, aunque el área sembrada creció de manera significativa desde 2019, pasando de 1.249,1 hectáreas a 1.918,4 hectáreas en 2022, la producción también ha aumentado, alcanzando 1.780,27 toneladas en 2022. Sin embargo, este comportamiento no se ha replicado en todas las zonas productoras. En Sucre y Tolima, los datos son más variables. En Sucre, el área sembrada en 2022 fue de 530,1 hectáreas, con una producción de 648,3 toneladas, lo que representa un aumento en comparación con 2019. En cambio, en Tolima, aunque el área sembrada mostró un ligero incremento, pasando de 550 hectáreas en 2019 a 615 hectáreas en 2022, la producción no ha seguido la misma tendencia, ya que en 2022 la producción alcanzó solo 478,5 toneladas.

A pesar de estos altibajos, las fluctuaciones en el área sembrada y la producción de ajonjolí en estos departamentos se deben a una variedad de factores, entre los que se destacan la falta de conocimiento sobre prácticas de manejo agrícola eficientes y la escasez de estudios que analicen el comportamiento del cultivo en ambientes específicos, como el bosque seco tropical. Investigaciones que aborden la interacción entre las plantas de ajonjolí y su entorno, así como la influencia de

factores climáticos y edáficos en su desarrollo y rendimiento, son esenciales para mejorar la producción. Estos estudios también deben enfocarse en la optimización del rendimiento de las diferentes variedades de ajonjolí en condiciones de estrés hídrico, propias de estas regiones (Fischer et al., 2012; Pérez y Salcedo, 2018).

En Colombia, la siembra de ajonjolí se ha llevado a cabo desde hace tiempo de forma tradicional en los departamentos de Bolívar, Magdalena, Huila, Sucre, Tolima y Córdoba, que cuentan con las condiciones adecuadas para el desarrollo de la esta oleaginosa. Entre los años 2013 y 2017, el departamento de Bolívar se destacó con un promedio de 1860 hectáreas cosechadas y una producción promedio de 1400 toneladas. Los municipios de Córdoba Tetón, Zambrano, El Carmen de Bolívar y San Jacinto fueron los principales contribuyentes, representando el 53,8%, 4,7%, 3,1% y 0,9% de la producción nacional, respectivamente (Minagricultura, 2020). En el Departamento de Bolívar, el cultivo de ajonjolí ha mostrado una tendencia decreciente en los últimos años, lo que resalta la importancia de realizar estudios enfocados en esta región.

Según los datos proporcionados por la Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario (Agronet, 2021), el sistema de estadísticas agropecuarias del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural muestra la participación por departamentos en términos de hectáreas sembradas, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Hectáreas sembradas de ajonjolí por departamento en Colombia (2019-2022).

	2019		2020		2021		2022	
	Área (ha)	Produc (ton)						
Bolívar	1730	1335	1811,9	1220,95	1176	905	1355	868
Córdoba	330,9	266,62	375	259,6	146	135,8	147	136,3
Magdalena	1249,1	1205,84	1572	1354,38	1471,1	1269,4	1918,4	1780,27
Sucre	539	620,73	796	577,8	521,5	632,5	530,1	648,3
Tolima	550	412,5	685	602,5	550	406	615	478,5

Fuente: Datos adaptados de Agronet. Elaboración propia.

Actualmente, el uso principal del ajonjolí en Colombia es en forma de grano entero, principalmente como ingrediente decorativo en productos de panadería, repostería y en ensaladas (Fondo Nacional del Ahorro, 2020). Sin embargo, el aceite de ajonjolí tiene un gran potencial para ser utilizado como aceite comestible de alta calidad debido a su contenido de ácidos grasos mono y poliinsaturados, así como su aporte de compuestos bioactivos como el sesamin y el sesamolín (Kumar et al, 2019). No obstante, la falta de información sobre las propiedades fisicoquímicas y el perfil de ácidos grasos de los aceites de ajonjolí producidos en Bolívar limita su aprovechamiento y valor agregado (Rahman et al, 2021).

Una vez extraído el aceite de las semillas de ajonjolí queda lo que se denomina torta, la cual es rica en proteína y podría ser utilizada en la alimentación animal. La torta al igual que el aceite que se extrae de las semillas tienden a tener un costo en relación a otros tipos de aceites utilizados, como en otros productos similares como el silo en el maíz; el elevado costo del aceite lleva a que sea poco apetecido sin importar que tenga aportes nutricionales ideales para la nutrición animal. La torta del ajonjolí es un potencial producto para el consumo animal debido a su relación costo beneficio compitiendo con insumos importados como la torta de soya (Gonzalez, D 2023).

El aceite de ajonjolí se consideró de alto costo en relación con otros aceites vegetales como el maíz, haciendo que su uso sea limitado a pesar de sus beneficios nutricionales superiores. La caracterización de los aceites de ajonjolí de Bolívar podría contribuir a valorizar tanto el aceite como sus subproductos, generando nuevas oportunidades de mercado y fortaleciendo la cadena productiva del ajonjolí en la región. Es reconocido principalmente por su alto contenido de ácidos grasos insaturados, como el ácido oleico y los ácidos grasos omega-6 (Pusadkar et al., 2015). Estos ácidos grasos desempeñan un papel crucial en la prevención de enfermedades cardiovasculares, al ayudar a regular los niveles de colesterol en la sangre y reducir la inflamación (Dutta, 2012). Además,

el aceite de ajonjolí es una fuente rica en vitaminas E y K, así como en fitoesteroles, compuestos bioactivos que contribuyen a mantener una buena salud (Bhat et al., 2014).

Por otro lado, los lignanos, como la sesamina y la sesamolina, presentes en el aceite de ajonjolí, han demostrado tener efectos beneficiosos en la reducción del riesgo de cáncer, especialmente de mama y próstata (Dutta, 2012). Por ende, el aceite de ajonjolí se considera un aliado en la prevención de enfermedades neurodegenerativas, gracias a sus propiedades antiinflamatorias y neuroprotectoras (Correia Alves et al., 2023).

En el ámbito de la nutrición, el aceite de ajonjolí también se destaca por su versatilidad culinaria y su capacidad para mejorar la biodisponibilidad de nutrientes. Su contenido de vitamina E y fitoquímicos como los lignanos pueden aumentar la absorción de nutrientes liposolubles, como los carotenoides y el licopeno, presentes en frutas y verduras (Bhat et al., 2014). Esta característica lo convierte en un complemento valioso para una dieta saludable y equilibrada.

A pesar de la relevancia del cultivo de ajonjolí en el departamento de Bolívar, la información sobre las características fisicoquímicas y el perfil de ácidos grasos de los aceites extraídos de las diferentes variedades cultivadas en la región es limitada (FNA, 2020). Estudios previos han demostrado que la composición y calidad del aceite de ajonjolí pueden variar significativamente según la variedad, las condiciones de cultivo y la ubicación geográfica (Kumar et al, 2019). Por lo tanto, es fundamental caracterizar los aceites de las variedades de ajonjolí cultivadas en Bolívar para determinar su potencial uso en la industria alimentaria, generando nuevas oportunidades de mercado y fortaleciendo la cadena productiva del ajonjolí en la región.

2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Teniendo en cuenta el título del trabajo "Evaluación De Las Características Físicoquímicas Y Perfil De Ácidos Grasos Del Aceite De Semillas De Ajonjolí (*Sesamum indicum L.*) Variedades Negro Y Común Cultivadas En El Departamento De Bolívar" y el objetivo general planteado, surge la siguiente pregunta problema:

¿Cuáles son las diferencias en las características físicoquímicas y en el perfil de ácidos grasos de los aceites de semillas de ajonjolí (*Sesamum indicum L.*) variedades negro y común cultivadas en el departamento de Bolívar?

3. JUSTIFICACIÓN

El ajonjolí (*Sesamum indicum L.*) es un cultivo de gran importancia a nivel mundial, siendo China, India y Myanmar los principales productores y exportadores (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2020). En América Latina, México, Venezuela, Colombia y Costa Rica se destacan como los mayores productores (Kumar et al, 2019). En Colombia, los departamentos de Bolívar, Sucre, Córdoba, Magdalena, Tolima y Huila son los principales cultivadores de esta oleaginosa, siendo Bolívar el principal productor con más del 60% de la producción nacional (Minagricultura, 2020). Dentro de este departamento, la región de los Montes de María, especialmente el municipio de Córdoba Tetón se destaca por tener la mayor área sembrada ([INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía], 2020).

Bolívar ha sido históricamente uno de los principales departamentos productores de ajonjolí en Colombia. A pesar de la reducción en el área sembrada en años recientes, este cultivo sigue siendo importante para la economía regional. En 2021, Bolívar fue el segundo mayor productor nacional de ajonjolí, con 529 hectáreas cultivadas (Agronet, 2023).

Las variedades de ajonjolí más representativas y ampliamente cultivadas en Bolívar son el ajonjolí negro y el común, cuyas semillas se utilizan principalmente para la extracción de aceite (Hoyos et al., 2024). El estudio de las propiedades fisicoquímicas de estos aceites es fundamental por diversas razones:

- Evaluar la calidad, composición de ácidos grasos, estabilidad oxidativa y otros parámetros relevantes para su uso alimentario e industrial (Botinestean et al., 2012).
- Identificar posibles diferencias en la composición y propiedades de los aceites de las variedades negro y común, lo que podría influir en sus aplicaciones y valor comercial (Mohamed Ahmed et al., 2021)

- Contribuir al desarrollo de productos locales con valor agregado, aprovechando las variedades de ajonjolí cultivadas en Bolívar (López et al., 2013).

- Aportar al conocimiento y valoración de los recursos agrícolas regionales, considerando que Bolívar es un departamento representativo en la producción de ajonjolí en Colombia (Ballestas, 2024).

La estabilidad oxidativa del aceite de ajonjolí es un aspecto crucial en su calidad y vida útil, Éste es particularmente susceptible al proceso de oxidación debido a su alto contenido de ácidos grasos insaturados, lo que puede resultar en el desarrollo de olores y sabores desagradables, así como en la pérdida de propiedades nutricionales (Hassanien et al, 2014). Sin embargo, el aceite de ajonjolí cuenta con componentes naturales que actúan como antioxidantes, prolongando su vida útil y retardando el proceso de oxidación.

Los lignanos, compuestos fenólicos presentes en el aceite de ajonjolí, desempeñan un papel fundamental en su estabilidad oxidativa. Específicamente, la sesamina y la sesamolina han demostrado tener una notable actividad antioxidante y anticancerígena, superando incluso a los antioxidantes sintéticos comúnmente utilizados en la industria alimentaria (Shakir, 2013). Estos lignanos actúan neutralizando los radicales libres y quelando iones metálicos, evitando así la propagación de la oxidación lipídica (Mahendra Kumar & Singh, 2015).

Además de los lignanos, el aceite de ajonjolí contiene vitaminas E y compuestos fenólicos como los sesamoles, que contribuyen a su capacidad antioxidante. Varios estudios han demostrado que la presencia de estos compuestos bioactivos en el aceite de ajonjolí mejora significativamente su estabilidad oxidativa al compararlo con otros aceites vegetales (Hashempour et al, 2016; Koocheki et al, 2016). Esta característica no solo prolonga la vida útil del aceite, sino que también preserva sus propiedades nutricionales y sensoriales.

Aunque en el país se cultivan otras variedades de ajonjolí, enfocarse en las dos principales presentes en Bolívar permite un análisis más detallado y específico, teniendo en cuenta las condiciones agroecológicas y prácticas de producción locales. Esto sienta las bases para futuros estudios que incluyan otras variedades o comparen aceites de diferentes regiones (Ibarra et al., 2018).

La caracterización de las propiedades como el contenido de grasa, índice de refracción y de yodo, la densidad, la humedad y el punto de humo, permite evaluar la calidad del aceite y su idoneidad para diferentes aplicaciones (Kumar et al, 2019). Además, el análisis del perfil de ácidos grasos, incluyendo la proporción de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados, así como la presencia de ácidos grasos específicos como el oleico, linoleico y alfa-linolénico, es fundamental para determinar el valor nutricional y la estabilidad oxidativa del aceite (Rahman et al, 2021).

La comparación de las características fisicoquímicas y el perfil de ácidos grasos de los aceites extraídos de las variedades de ajonjolí Común y Negro cultivadas en Bolívar con aceites comestibles ampliamente utilizados, como el aceite de oliva y el aceite de palma, permitirá posicionar el aceite de ajonjolí de la región en el mercado y promover su uso en la industria alimentaria.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Evaluar las características fisicoquímicas y perfil de ácidos grasos del aceite de semillas de ajonjolí (*Sesamum indicum L.*) variedades negro y común cultivadas en el Departamento de Bolívar.

4.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades fisicoquímicas de los aceites extraídos de las variedades de ajonjolí Común y Negro cultivados en el departamento de Bolívar.
- Analizar la composición del perfil de ácidos grasos, presentes en los aceites extraídos de las variedades de ajonjolí Común y Negro cultivados en el departamento de Bolívar
- Comparar las propiedades fisicoquímicas y del perfil de ácidos grasos de los aceites extraídos de semillas de ajonjolí de variedades común y negro para determinar su potencial uso en la industria alimentaria.

5. REVISIÓN LITERARIA

5.1. MARCO TEÓRICO

5.1.1 Ajonjolí

Descripción Botánica

El Ajonjolí también conocido como sésamo (*Sesamum indicum L.*), es una planta la cual se siembra anualmente y tiene un ciclo de vida entre 80 a 130 días (Gebremichael, 2017), erecta con tamaño es variable, las plantas maduras pueden alcanzar alturas entre los 0.4 m y más de 2.0 m, ver ilustración 1 y 2. Los tallos son cuadrados con surcos y tienen un color amarillo verdoso, aunque pueden estar salpicados de un llamativo color púrpura berenjena. Las plantas tienden a ser muy ramificadas, y lograr hasta 26 tallos según la variedad, aunque otros cultivares no son ramificados. Las son de color verde azulado, más pálidas con más gris en la parte inferior, con nervios hundidos en la parte superior y elevados en la parte inferior. Las flores campanuladas son solitarias y nacen en nudos, con una glándula amarilla y un nectario extra floral a lada lado. El cáliz es de color verde pálido, a veces con un tinte violáceo, y la corola es malva pálida, con un tono más profundo en el exterior y en el lóbulo medio más bajo. Los frutos son una cápsula ver ilustración 3 y 4, en la cual en su interior está la semilla de longitud variable, generalmente bicarpeladas, aunque algunos cultivares son tetracarpelados (Gebremichael, 2017), ver ilustración 5 y 6.

Ilustración 1. *Planta de ajonjolí de variedad Negro.*



Fuente propia.

Ilustración 2. *Planta de ajonjolí de variedad Común.*



Fuente propia.

Ilustración 3. Cápsulas de ajonjolí de variedad Común en la planta.



Fuente propia.

Ilustración 4. Cápsulas de ajonjolí de variedad Negro.



Fuente propia.

Ilustración 5. Fruto, capsula tetracarpelada de la planta de ajonjolí de variedad Negro.



Fuente propia.

Ilustración 6. Fruto, capsula tetracarpelada de la planta de ajonjolí de variedad Común.



Fuente propia.

5.1.2 Semilla de ajonjolí

Las semillas de ajonjolí provienen de la planta (*Sesamum indicum L.*), es uno de los cultivos de semillas oleaginosas más significativas y antiguas cultivadas por el hombre (Sharma et al., 2021). El tamaño de las semillas varía de acuerdo al tipo, oscila entre 1 a 2 mm de ancho y de 2 a 4 mm de largo, se caracterizan por ser planas, de superficie liza y de forma achatada. Su color es variable según el tipo, pueden ser en tonos blanco, amarillas, crema, rojo, marrón o negro (Harfi et al., 2016). Se ha cultivado durante siglos, particularmente en Asia y África, por su alto contenido en aceite y proteínas comestibles. La mayoría de las semillas de sésamo se utilizan para la extracción y producción de aceite (Mushtaq et al., 2020).

5.1.3 Cultivo de ajonjolí o sésamo

El cultivo de ajonjolí se desarrolla preferiblemente en regiones con temperaturas que oscilan entre 19°C y 29°C. Durante su fase vegetativa, requiere precipitaciones adecuadas, aunque es capaz de tolerar condiciones más secas durante su madurez. A lo largo de su ciclo de crecimiento, se estima que necesita recibir entre 300 y 600 mm de precipitación. En cuanto al suelo, el ajonjolí prospera en un rango de pH que va desde 4.3 hasta 8.7 y se adapta a altitudes que varían 0 y los 600 metros sobre el nivel medio del mar (Gracias T, 2019).

5.1.4 Variedades de ajonjolí

En Colombia existe diferentes variedades de Ajonjolí, las cuales se han desarrollado en diferentes regiones presentado características particulares en cuanto a la adaptación, rendimiento, color del grano, tolerancia a plagas y enfermedades, entre otras propiedades (Montaña et al, 2020). Teniendo en cuenta el origen del cultivo del ajonjolí, se ha evidenciado el desarrollo de diversas variedades, cada una con características particulares (Andargie et al., 2021). En Colombia el Sistema de Bancos de Germoplasma de la Nación para la Alimentación y la Agricultura (SBGNAA) conserva

semilla de 160 accesiones de ajonjolí a 0 °C en el Centro de Investigación Tibaitatá de Agrosavia entre ellas se encuentran las variedades: Chino hábano, Ica Matoso, Ambala, Sesica M-11, Ica Ambala, Ica Pacande, Chino Rojo, PI 278160, PI 278161, PI 265517, PI 265516, PI 200113, PI 200114, de las cuales a través de los mismos estudio se logró mejorar las variedades Ica Matoso, Sesica M-11, Ica Ambala, Ica Pacande, Chino Rojo (Rey, 1999).). En relación con las dos variedades de ajonjolí utilizados para esta investigación, ambos hacen parte del SBGNAA, siendo que el ajonjolí común se desconoce la procedencia y el ajonjolí negro se introdujo en Colombia a través de Venezuela (Montaña, J. P. G et al., 2020).

5.1.5 Composición química del ajonjolí

Las semillas de ajonjolí o sésamo son ricas en aceite, el cual se caracteriza por tener un sabor agradable, llegando a considerarse un aceite vegetal superior ocupando el segundo lugar después del aceite de oliva (Yin et al., 2020), como se evidencia en la tabla 2.

Tabla 2. *Composición química de la semilla de sésamo.*

Componentes	Porcentajes
Humedad	3.26% - 4.18%
Fibra cruda	5.58% - 6.16%
Total de Ceniza	4.6% - 5.86%
Grasa	50.8% - 51.92%
Proteínas	23.10% - 24.43%
Carbohidratos	8.2% - 11.96%

Fuente: Datos adoptados de la Revista de estudios de plantas medicinales. (2018). Elaboración propia.

5.1.6. Propiedades físicas de las semillas de ajonjolí o sésamo

Entre las propiedades físicas de las semillas de ajonjolí se destaca el peso y la densidad. Para ello mediante un estudio Aglave (2018) menciona que para medir el peso de las semillas de sésamo se utilizó un contador de granos electrónico, con el cual se midió el peso de 2000 semillas en una balanza electrónica. También, se contó un grupo de 200 semillas con un peso promedio al cual se le evaluó la densidad relativa, como se indica en la tabla 3.

Tabla 3. *Propiedades físicas de las semillas de ajonjolí.*

Propiedades Físicas	Composición
Peso de la semilla (2000)	3,86 – 4,40 g
Densidad (Kgm3)	1286,57 – 1312,62

Fuente: Datos adaptados de la Revista de estudios de plantas medicinales. (2018).
Elaboración propia.

5.1.7. División taxonómica del ajonjolí o sésamo

El ajonjolí o sésamo pertenece a la siguiente clasificación taxonómica, indicado en la tabla 4.

Tabla 4. *Taxonomía del Ajonjolí.*

Taxonomía	
Dominio	Eucariota
Reino	Planta
Familia	Pedaliaceae
Sub orden	Solanineae
Orden	Tubiflorae
Sub clase	Sypetalae
Clase	Dicotyledoneae

Sub división	Angiospermae
División	Fanerógamas
Genero	<i>Sesamum</i>
Especie	Indicum

Fuente: Bedigian (2010). Elaboración propia.

5.1.8. Aceite

Los lípidos constituyen un conjunto de compuestos orgánicos compuestos principalmente por carbono, hidrógeno y oxígeno, al igual que pueden incluir fósforo y nitrógeno. La distinción fundamental entre grasas y aceites radica en su origen biológico y en su estado físico a temperatura ambiente. Las grasas, de origen animal, se caracterizan por su estado sólido a temperatura ambiente, mientras que los aceites, derivados de fuentes vegetales, permanecen en estado líquido bajo estas condiciones. Tanto las grasas como los aceites contribuyen a la textura y propiedades sensoriales de los alimentos, así como a su valor nutricional. Los aceites, al ser líquidos, suelen ser más fáciles de incorporar en preparaciones culinarias que las grasas sólidas. La principal fuente de los aceites son las semillas oleaginosas entre ellas el Ajonjolí o sésamo (Badui, 2016).

Los aceites vegetales se caracterizan por tener un olor suave y un sabor agradable, lo que los convierte en una opción natural para aderezar ensaladas sin necesidad de mayor preparación. Además de su uso culinario, los aceites también se emplean en la elaboración de otros productos, como mantecas vegetales, margarinas, jabones y sinérgicos de insecticidas. (Wei et al., 2022). El aceite de ajonjolí es un aceite vegetal comestible de sabor agradable, aroma fuerte y característico del mismo, se extrae de la semilla del sésamo (*Sesamum indicum L.*) mediante diferentes técnicas, la semilla es una semilla oleaginosa de la familia Pedaliaceae que se cultiva en los trópicos y zonas templadas (Biabaxi y Pakniyat, 2008).

5.1.9. Grasa

La grasa al igual que el aceite son los principales lípidos que se pueden hallar en los alimentos, la grasa tiende a ser sólida a temperatura ambiente y la principal fuente son los tejidos animales terrestres y marinos y acorde a ello se divide en: grasas animales entre ellas la manteca de cerdo, huevo y sebo, grasa marina corresponde a la fauna de acompañamiento de la pesca y la grasa de la leche como lo es la mantequilla (Badui, 2016). Las grasas son un componente fundamental de los aceites vegetales y desempeñan un papel crucial en la nutrición humana (Krist, 2020).

Desde el punto de vista nutricional, las grasas son una fuente concentrada de energía, proporcionando aproximadamente 9 kcal por gramo, además, las grasas desempeñan funciones esenciales en el organismo, como el suministro de ácidos grasos esenciales (ácido linoleico y ácido alfa-linolénico), la absorción de vitaminas liposolubles (A, D, E y K), la síntesis de hormonas y la protección de órganos vitales (FAO, 2008).

5.1.10. Grasa saturada

Las grasas saturadas son ácidos grasos que se distinguen por la presencia de enlaces simples entre los átomos de carbono en su estructura molecular, careciendo de dobles enlaces. Esta configuración molecular les confiere estabilidad y la propiedad de ser sólidos a temperatura ambiente. Este tipo de ácidos grasos es predominante en alimentos de origen animal. Sin embargo, también se encuentran en ciertos aceites de origen vegetal como los aceites de coco, palma y palmiste (Azcona, 2013).

No todos los ácidos grasos saturados son iguales. Estos se diferencian en la longitud de sus cadenas de carbono. Los ácidos grasos saturados de cadena más corta, con un número de carbonos que va desde tres hasta catorce, son los que se encuentran principalmente en aceites como el de coco y palmiste, así como en la mantequilla. Estos presentan un punto de fusión mucho más bajo en

comparación con los ácidos grasos saturados de cadena más larga, que son los más comunes (Yela et al., 2020). Por ejemplo, el aceite de coco y el aceite de palma tienen un alto contenido de grasas saturadas, mientras que el aceite de oliva y el aceite de girasol tienen un contenido relativamente bajo (Rabail et al., 2021).

5.1.11. Grasa monoinsaturada

Los ácidos grasos monoinsaturados tienen una sola insaturación en su estructura, lo que indica, un único doble enlace carbono-carbono ($-CH=CH-$) a lo largo de la cadena carbonada. En la naturaleza existen numerosos ácidos grasos monoinsaturados en configuración *cis*, siendo el más común el ácido oleico (OA) u omega-9. Las grasas monoinsaturadas se diferencian de otros tipos de ácidos grasos por presentar únicamente un doble enlace en su estructura molecular. Esta particularidad les confiere propiedades y características distintivas en comparación con los ácidos grasos saturados o poliinsaturados (Chancasanampa & Mucha 2019).

El ácido graso monoinsaturado más común en los aceites vegetales es el ácido oleico (C18:1), que se encuentra en altas concentraciones en el aceite de oliva, el aceite de canola y el aceite de aguacate (Stolp & Kodali, 2022).

Los aceites vegetales con alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados han despertado un creciente interés debido a los posibles beneficios que podrían tener para la salud. Diversos estudios epidemiológicos y ensayos clínicos han sugerido que el consumo de grasas monoinsaturadas podría tener efectos positivos sobre la salud cardiovascular, como la disminución de los niveles de colesterol LDL ("malo") y la mejora de la sensibilidad a la insulina (Kapoor et al., 2021).

5.1.12. Grasa poliinsaturada

Las grasas poliinsaturadas son un tipo de ácidos grasos que contienen dos o más enlaces dobles entre los átomos de carbono (Calder, 2015). Los ácidos grasos poliinsaturados más comunes en los aceites vegetales son el ácido linoleico (C18:2, omega-6) y el ácido alfa-linolénico (C18:3, omega-3) (Kapoor et al., 2021). Estos ácidos grasos se consideran esenciales porque el cuerpo humano no puede producirlos y deben obtenerse a través de la dieta y son considerados por sus posibles beneficios para la salud, especialmente en relación con la salud cardiovascular (Calder, 2015).

Los aceites vegetales ricos en grasas poliinsaturadas incluyen el aceite de girasol, aceite de maíz, aceite de soja y aceite de linaza, entre otros (Kapoor et al., 2021). Es importante tener en cuenta que las grasas poliinsaturadas son más susceptibles a la oxidación y al desarrollo de la rancidez en comparación con las grasas monoinsaturadas y saturadas. Esto se debe a la presencia de múltiples enlaces dobles en su estructura química, que los hace más reactivos. Por lo tanto, los aceites ricos en grasas poliinsaturadas requieren un manejo y almacenamiento adecuados para mantener su calidad y evitar la formación de compuestos indeseables (Rodríguez-Amaya & Shahidi, 2021).

Además, es importante mantener un equilibrio adecuado entre los ácidos grasos omega-6 y omega-3 en la dieta. Algunos estudios sugieren que un consumo excesivo de ácidos grasos omega-6 en relación con los omega-3 puede contribuir a un estado proinflamatorio en el cuerpo (Saini & Keum, 2018).

5.1.13. Ácidos grasos trans

Los ácidos grasos trans se caracterizan por ser insaturados al tener al menos un doble enlace en configuración trans. A diferencia de los ácidos grasos cis, que se encuentran de forma natural en

pequeñas cantidades en ciertos alimentos, la mayor parte de los ácidos grasos trans se producen durante el procesamiento industrial de los aceites vegetales, particularmente durante el proceso de hidrogenación parcial. Mientras que los ácidos grasos cis se encuentran de manera natural en algunos alimentos, los ácidos grasos trans se generan artificialmente como resultado de las transformaciones químicas que sufren los aceites vegetales durante su procesamiento industrial. Este proceso de hidrogenación parcial es el principal responsable de la formación de estos ácidos grasos trans en los alimentos (Blandón Navarro, 2022).

La hidrogenación es un proceso industrial utilizado para modificar las características físicas y sensoriales de los aceites vegetales insaturados y marinos (líquidos). El objetivo es convertirlos en grasas más apropiadas para usos industriales, como sustitutos de los ácidos grasos saturados (AGS). En este proceso, se incorpora hidrógeno a los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados presentes en los aceites líquidos, lo que los satura y solidifica. Esto permite obtener margarinas, grasas emulsionables ("shortenings") y otras grasas sólidas que quedan parcialmente protegidas de la oxidación, prolongando así su vida útil. Sin embargo, la hidrogenación rara vez es total, por lo que generalmente se obtienen grasas parcialmente hidrogenadas. Durante este proceso, algunos de los ácidos grasos insaturados se convierten en ácidos grasos trans, lo que ha sido motivo de preocupación por sus potenciales efectos negativos para la salud (Mozaffarian 2006).

Las autoridades sanitarias y las organizaciones de salud recomiendan limitar el consumo de ácidos grasos trans al mínimo posible debido a los efectos negativos para la salud (Idris IO, et al., 2021).

En los aceites vegetales, el contenido de ácidos grasos trans suele ser muy bajo, a menos que hayan sido sometidos a procesos de hidrogenación parcial, los aceites vegetales no hidrogenados, como el aceite de oliva, el aceite de girasol y el aceite de canola, tienen niveles insignificantes de ácidos grasos trans (Palla & Carrin, 2014).

El contenido de ácidos grasos trans en los aceites vegetales se determina mediante técnicas de cromatografía de gases, al igual que otros ácidos grasos (AOCS, 2017). La identificación y cuantificación de los ácidos grasos trans es importante para garantizar la calidad y la seguridad de los aceites vegetales y para cumplir con las regulaciones y los estándares de etiquetado de alimentos (AOCS, 2017).

5.1.14. Acidez (Ácido oleico)

La acidez es un parámetro importante en la evaluación de la calidad de los aceites vegetales. Se refiere a la cantidad de ácidos grasos libres presentes en el aceite, que se forman como resultado de la hidrólisis de los triglicéridos, la acidez se expresa comúnmente como el porcentaje de ácido oleico, que es el ácido graso libre predominante en la mayoría de los aceites vegetales (Ramos & Veliz Gutarate, 2022).

Un alto nivel de acidez en el aceite puede indicar un deterioro de la calidad, ya sea debido a un manejo inadecuado de las materias primas, un procesamiento deficiente o un almacenamiento prolongado en condiciones desfavorables, los aceites con alta acidez tienen un sabor y olor desagradables, y pueden ser más susceptibles a la oxidación y la rancidez (Genovese et al., 2021).

La determinación de la acidez en los aceites vegetales se realiza mediante una titulación ácido-base, utilizando una solución estandarizada de hidróxido de potasio o hidróxido de sodio (AOCS, 2017). El resultado se expresa como el porcentaje de ácido oleico o como el índice de acidez, que representa los miligramos de hidróxido de potasio necesarios para neutralizar los ácidos grasos libres en un gramo de aceite (AOCS, 2017).

Los aceites vegetales de alta calidad tienen un bajo nivel de acidez. Por ejemplo, el aceite de oliva virgen extra debe tener una acidez máxima de 0.8%, según los estándares internacionales (International Olive Council, 2019). Otros aceites vegetales, como el aceite de girasol y el aceite de

canola, también deben tener niveles bajos de acidez para ser considerados de buena calidad (Gomna et al., 2019)

El control de la acidez es importante tanto para la calidad sensorial del aceite como para su estabilidad oxidativa. Los aceites con alta acidez son más propensos a la oxidación y pueden desarrollar sabores y olores desagradables más rápidamente, además, los aceites con alta acidez pueden no ser adecuados para ciertos usos industriales, como la producción de biodiesel (Salas Ortiz & Vargas Aparcana, 2021)

5.1.15. Perfil de ácidos grasos

El perfil de ácidos grasos se refiere a la composición y proporción de los diferentes ácidos grasos presentes en un aceite vegetal. Los ácidos grasos son las unidades básicas que componen los triglicéridos, los principales componentes de los aceites vegetales (Castellar Ortega et al., 2014).

Los ácidos grasos se clasifican según la longitud de su cadena de carbono, el número de dobles enlaces y la posición de los dobles enlaces), los ácidos grasos saturados no tienen dobles enlaces, los ácidos grasos monoinsaturados tienen un doble enlace y los ácidos grasos poliinsaturados tienen dos o más dobles enlaces (Castellar Ortega et al., 2014)

El perfil de ácidos grasos de un aceite vegetal influye en sus propiedades físicas, químicas y nutricionales (Chaves Yela et al., 2020). Algunos de los ácidos grasos más comunes en los aceites vegetales incluyen:

- **Palmitoleico (C16:1):** Es un ácido graso monoinsaturado poco común en los aceites vegetales. Se encuentra en pequeñas cantidades en el aceite de macadamia y el aceite de aguacate (Stolp & Kodali, 2022)
- **Palmitico (C16:0):** Es el ácido graso saturado más común en los aceites vegetales. Se encuentra en altas concentraciones en el aceite de palma y el aceite de coco (Xin et al., 2022)

- **Esteárico (C18:0):** Es un ácido graso saturado que se encuentra en pequeñas cantidades en la mayoría de los aceites vegetales (Xin et al., 2022).
- **Oleico (C18:1, Omega 9):** Es el ácido graso monoinsaturado más común en los aceites vegetales. Se encuentra en altas concentraciones en el aceite de oliva, el aceite de canola y el aceite de aguacate (Mera Bailon, 2021)
- **Linoléico (C18:2, Omega 6):** Es un ácido graso poliinsaturado esencial que se encuentra en altas concentraciones en el aceite de girasol, el aceite de maíz y el aceite de soja (Stolp & Kodali, 2022)
- **Araquídico (C20:0):** Es un ácido graso saturado de cadena larga que se encuentra en pequeñas cantidades en el aceite de maní y el aceite de semilla de uva (Gunstone, 2008).
- **Alfa-Linolénico (C18:3, Omega 3):** Es un ácido graso poliinsaturado esencial que se encuentra en altas concentraciones en el aceite de linaza y el aceite de chía (Gunstone, 2008).

Otros ácidos grasos menos comunes en los aceites vegetales incluyen:

Heneicosanoico (C21:0), Butírico (C4:0), Caproico (C6:0), Caprílico (C8:0), Cáprico (C10:0), Undenanoico (C11:0), Láurico (C12:0), Tridecanoico (C13:0), Mirístico (C14:0), Miristoleico (C14:1), Pentadecanoico (C15:0), Cis-10-pentadecenoico (C15:1), Heptadecanoico (C17:0), Cis-10-heptadecenoico (C17:1), Elaídico (C18:1 trans), Linoelaídico (C18:2 trans), Eicosenoico (C20:1, Omega 9), Y-Linolénico (C18:3, Omega 6), Eicosadienoico (C20:2, Omega 6), Behénico (C22:0), Eicosatrienoico (C20:3, Omega 3), Erúcico (C22:1, Omega 9), Tricosanoico (C23:0), Araquidónico (C20:4, Omega 6), Docosadienoico (C22:2, Omega 6), Lignocérico (C24:0), Eicosapentaenoico (C20:5, Omega 3), Docosahexaenoico (C22:6, Omega 3), Nervónico (C24:1, Omega 9).

El perfil de ácidos grasos de un aceite vegetal se determina mediante técnicas cromatográficas, como la cromatografía de gases (GC), esta permite separar, identificar y cuantificar los diferentes ácidos grasos presentes en el aceite, proporcionando información detallada sobre su composición (Ruiz-Samblás et al., 2015). El conocimiento del perfil de ácidos grasos es fundamental para comprender las propiedades nutricionales y tecnológicas de los aceites vegetales, así como para seleccionar el aceite adecuado para aplicaciones específicas. Además, el perfil de ácidos grasos puede utilizarse para evaluar la calidad y la autenticidad de los aceites vegetales, y para detectar posibles adulteraciones o mezclas (Gunstone, 2011).

5.1.16. Humedad

La humedad es un parámetro importante en la calidad de los aceites vegetales, ya que un alto contenido de humedad puede acelerar el deterioro del aceite y reducir su vida útil (Manzocco et al., 2020). La humedad en los aceites puede provocar la hidrólisis de los triglicéridos, lo que resulta en la formación de ácidos grasos libres y glicerol, este proceso no solo afecta la calidad sensorial del aceite, sino que también puede generar compuestos indeseables y reducir su estabilidad oxidativa (Metzner Ungureanu et al., 2020).

El contenido de humedad en los aceites vegetales suele ser bajo, generalmente inferior al 1% (Rafiq et al., 2015), Sin embargo, el proceso de extracción, el almacenamiento y las condiciones ambientales pueden influir en el contenido de humedad final del aceite. Por ejemplo, los aceites obtenidos mediante prensado en frío pueden tener un contenido de humedad ligeramente superior en comparación con los aceites extraídos con solventes (Metzner Ungureanu et al., 2020). La determinación del contenido de humedad en los aceites se realiza comúnmente mediante métodos gravimétricos, como el secado en estufa o la destilación. Estos métodos implican la eliminación del agua presente en el aceite y la medición de la pérdida de peso resultante (Chen et al., 2021).

El control del contenido de humedad es esencial para garantizar la calidad y la estabilidad del aceite durante su almacenamiento y uso (Turek & Stintzing, 2013). Los aceites con un contenido de humedad superior al límite aceptable pueden ser más susceptibles a la oxidación, la rancidez y el crecimiento microbiano, lo que puede afectar negativamente su calidad sensorial y nutricional (Barden & Decker, 2016).

5.1.17. Índice de Yodo

El índice de yodo es una medida del grado de insaturación de los ácidos grasos presentes en un aceite vegetal. Indica la cantidad de enlaces dobles en los ácidos grasos y, por lo tanto, proporciona información sobre la estabilidad oxidativa y las propiedades físicas del aceite (Chaves Yela et al., 2020). El índice de yodo se expresa como el número de gramos de yodo que pueden ser absorbidos por 100 gramos de aceite (AOCS, 2017). Cuanto mayor sea el índice de yodo, mayor será el grado de insaturación del aceite y, en consecuencia, será más susceptible a la oxidación y la rancidez (Espinoza, 2021).

Los aceites vegetales con un alto índice de yodo, como el aceite de linaza y el aceite de pescado, son ricos en ácidos grasos poliinsaturados y tienen una menor estabilidad oxidativa (Ibañez & Huerta Chauca, 2015). Por otro lado, los aceites con un índice de yodo más bajo, como el aceite de coco y el aceite de palma, son más estables y resistentes a la oxidación debido a su alto contenido de ácidos grasos saturados. El índice de yodo también influye en las propiedades físicas del aceite, como el punto de fusión y la viscosidad. Los aceites con un alto índice de yodo tienden a ser líquidos a temperatura ambiente y tienen una menor viscosidad, mientras que los aceites con un índice de yodo más bajo son más sólidos y tienen una mayor viscosidad (Nduka et al., 2021).

La determinación del índice de yodo en los aceites vegetales se realiza mediante métodos volumétricos o espectrofotométricos. El método más común es el método de Wijs, que implica la reacción del aceite con una solución de monoclóruo de yodo y la posterior titulación con tiosulfato

de sodio (AOCS, 2017). El índice de yodo es un parámetro importante en la selección de aceites vegetales para diferentes aplicaciones. Por ejemplo, los aceites con un alto índice de yodo son adecuados para la producción de pinturas y barnices, mientras que los aceites con un índice de yodo más bajo son preferibles para la producción de margarinas y grasas sólidas (Aremu et al., 2015).

Índice de refracción

El índice de refracción es una propiedad óptica de los aceites vegetales que se utiliza como indicador de su pureza y calidad. Se define como la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el aceite, el índice de refracción es una medida de la capacidad del aceite para desviar la luz que pasa a través de él (Huayhua, 2021).

El índice de refracción de los aceites vegetales depende de su composición química, especialmente de la longitud de la cadena de los ácidos grasos y del grado de insaturación en general, los aceites con ácidos grasos de cadena larga y con mayor grado de insaturación tienen un índice de refracción más alto (Rubalya Valantina, 2021).

La determinación del índice de refracción se realiza utilizando un refractómetro, que mide el ángulo de refracción de la luz al pasar por el aceite (AOCS, 2017). El índice de refracción se expresa como un número adimensional y se mide a una temperatura específica, generalmente a 20°C o 25°C (AOCS, 2017).

El índice de refracción es un parámetro útil para la identificación y caracterización de los aceites vegetales. Cada aceite tiene un rango específico de índice de refracción, lo que permite su diferenciación de otros aceites (Ramos Escudero, 2014). Además, el índice de refracción puede indicar la presencia de impurezas o adulteraciones en el aceite. Un cambio significativo en el índice de refracción puede sugerir la presencia de otros aceites o sustancias extrañas (Múñoz 2023).

El índice de refracción también se utiliza para monitorear la calidad del aceite durante el procesamiento y almacenamiento. Un aumento en el índice de refracción puede indicar la formación

de productos de oxidación, como peróxidos y dienos conjugados, lo que sugiere un deterioro de la calidad del aceite (Quispe, 2020)

Además de su uso en la caracterización y control de calidad de los aceites vegetales, el índice de refracción también tiene aplicaciones en la industria alimentaria. Por ejemplo, se utiliza para determinar el punto final de la hidrogenación de los aceites y para controlar la consistencia de las margarinas y las grasas para untar (Espinoza, 2021).

5.1.18. Densidad

La densidad es una propiedad física de los aceites vegetales que se define como la masa por unidad de volumen. Es una medida de la compactación de las moléculas en el aceite y depende de la composición química, la temperatura y la presión (Kaya & Hung, 2021). La densidad de los aceites vegetales es menor que la del agua, lo que significa que los aceites flotarán en la superficie del agua. La densidad de los aceites vegetales generalmente varía entre 0.900 y 0.930 g/ml a 20°C, dependiendo del tipo de aceite y su composición de ácidos grasos (Gunstone, 2009).

Los aceites vegetales con una mayor proporción de ácidos grasos saturados tienden a tener una densidad más alta que los aceites con una mayor proporción de ácidos grasos insaturados. Esto se debe a que los ácidos grasos saturados tienen una estructura molecular más compacta y ordenada, lo que resulta en una mayor densidad (Villarreal, 2019). La determinación de la densidad de los aceites vegetales se realiza mediante el uso de un picnómetro o un densímetro. El picnómetro es un recipiente de volumen conocido que se llena con el aceite y se pesa, permitiendo el cálculo de la densidad. El densímetro, por otro lado, es un instrumento que mide directamente la densidad del aceite basándose en el principio de flotabilidad (AOCS, 2017).

La densidad es un parámetro importante en la caracterización y control de calidad de los aceites vegetales. Se utiliza para la identificación y diferenciación de los aceites, ya que cada aceite tiene un rango específico de densidad, además, la densidad puede indicar la presencia de impurezas

o adulteraciones en el aceite, ya que una desviación significativa de los valores esperados puede sugerir la presencia de otros aceites o sustancias extrañas (Rifna et al., 2022)

La densidad también es relevante en el procesamiento y la manipulación de los aceites vegetales. Por ejemplo, la densidad se utiliza para calcular el volumen de aceite necesario en la formulación de productos alimenticios y para diseñar equipos de almacenamiento y transporte adecuados (Stejskal et al., 2021). Además, la densidad de los aceites vegetales tiene implicaciones en su comportamiento durante la cocción y el procesamiento térmico. Los aceites con una densidad más baja tienden a flotar en la superficie de los alimentos durante la fritura, mientras que los aceites con una densidad más alta pueden penetrar más fácilmente en los alimentos (Sivaranjani et al., 2024).

5.1.19. Índice de Saponificación

El índice de saponificación es una medida de la cantidad de álcali necesario para saponificar completamente un gramo de aceite vegetal. La saponificación es la reacción química entre un aceite y un álcali (generalmente hidróxido de potasio o hidróxido de sodio) para producir jabón y glicerol. El índice de saponificación se expresa como el número de miligramos de hidróxido de potasio (KOH) necesarios para saponificar un gramo de aceite (AOCS, 2017). Cuanto mayor sea el índice de saponificación, menor será el peso molecular promedio de los ácidos grasos en el aceite (Ruiz, 2022).

El índice de saponificación está relacionado con la longitud de la cadena de los ácidos grasos presentes en el aceite. Los aceites con ácidos grasos de cadena corta tienen un índice de saponificación más alto, mientras que los aceites con ácidos grasos de cadena larga tienen un índice de saponificación más bajo (Zubenko, 2021).

La determinación del índice de saponificación se realiza mediante una titulación. El aceite se trata con un exceso conocido de solución alcohólica de hidróxido de potasio y se calienta para permitir la saponificación completa. Luego, el exceso de álcali se titula con una solución

estandarizada de ácido clorhídrico. El índice de saponificación se calcula a partir de la cantidad de hidróxido de potasio consumido durante la reacción (AOCS, 2017).

El índice de saponificación es un parámetro clave en la caracterización y evaluación de la calidad de los aceites vegetales. Cada tipo de aceite tiene un rango específico de índice de saponificación, lo que permite su identificación y diferenciación de otros aceites.

Además, este índice puede ser un indicador de la presencia de impurezas o adulteraciones en el aceite. Una desviación significativa de los valores esperados para un aceite en particular puede sugerir la presencia de otros aceites o sustancias extrañas.

El índice de saponificación determina la cantidad de hidróxido de potasio, en miligramos, necesaria para saponificar 1 gramo de grasa. Es decir, mide la cantidad de álcali requerida para convertir completamente los ácidos grasos de un aceite en sus correspondientes sales (jabones) (Ruiz 2022).

El índice de saponificación también tiene aplicaciones prácticas en la industria. Se utiliza en la formulación de productos de jabón y detergentes, ya que indica la cantidad de álcali necesaria para la saponificación completa del aceite. Además, el índice de saponificación se utiliza en la producción de ésteres y en la síntesis de otros productos químicos derivados de los aceites vegetales. En la industria alimentaria, el índice de saponificación se utiliza para evaluar la idoneidad de los aceites vegetales para diferentes aplicaciones. Por ejemplo, los aceites con un índice de saponificación más alto son más adecuados para la producción de margarinas y grasas para untar, mientras que los aceites con un índice de saponificación más bajo son más adecuados para la producción de aceites de cocina y aderezos para ensaladas (Gunstone, 2011).

5.1.20. Punto de humo

El punto de humo es la temperatura a la cual un aceite vegetal comienza a producir un humo continuo y pierde sus propiedades nutricionales y sensoriales (Habarakada et al., 2021). Es un

parámetro importante al seleccionar un aceite para cocinar o freír, ya que indica la estabilidad térmica del aceite y su idoneidad para diferentes métodos de cocción (Ujong et al., 2023). El punto de humo de los aceites vegetales depende principalmente de su composición de ácidos grasos y del grado de refinación, en general, los aceites con un alto contenido de ácidos grasos saturados y monoinsaturados tienen puntos de humo más altos, mientras que los aceites con un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados tienen puntos de humo más bajos (Montenegro-Bonilla et al., 2023).

Los aceites vegetales refinados suelen tener puntos de humo más altos que los aceites prensados en frío o sin refinar, debido a la eliminación de impurezas y ácidos grasos libres durante el proceso de refinación, Por ejemplo, el aceite de oliva virgen extra tiene un punto de humo relativamente bajo (alrededor de 165-190°C), mientras que el aceite de oliva refinado tiene un punto de humo más alto (alrededor de 199-243°C) (Kaya & Hung, 2021)

Cuando se calienta un aceite por encima de su punto de humo, se producen sustancias volátiles y compuestos aromáticos que pueden impartir sabores y olores desagradables a los alimentos, además, el calentamiento excesivo puede conducir a la formación de compuestos potencialmente dañinos, como la acroleína y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (Jiang et al., 2022)

Es importante seleccionar un aceite con un punto de humo adecuado para el método de cocción deseado. Para fritura a altas temperaturas, se recomiendan aceites con altos puntos de humo, como el aceite de cacahuete, el aceite de soja y el aceite de canola. Para cocinar a temperaturas más bajas, como saltear o hornear, se pueden utilizar aceites con puntos de humo más bajos, como el aceite de oliva virgen extra o el aceite de coco (Sankhyan et al., 2022)

5.2 ANTECEDENTES

El ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) es una planta oleaginosa de gran importancia a nivel mundial debido a su alto contenido de aceite y proteínas (Bhat et al, 2014). En Colombia, el

departamento de Bolívar se destaca como uno de los principales productores de ajonjolí, donde se cultivan diferentes variedades, incluyendo el ajonjolí común y el ajonjolí negro (Minagricultura, 2019). La evaluación de las características fisicoquímicas y el perfil de ácidos grasos de los aceites extraídos de estas variedades es fundamental para determinar su calidad y potencial uso en la industria alimentaria.

Estudios previos han demostrado que las propiedades fisicoquímicas de los aceites vegetales, como la humedad, la grasa total, la acidez, el índice de yodo, el índice de refracción, la densidad, el índice de saponificación y el punto de humo, son indicadores importantes de su calidad y estabilidad (Gunstone, 2011). Estas propiedades pueden variar según la variedad de la planta, las condiciones de cultivo, el método de extracción y el procesamiento postcosecha (Gagour et al., 2024). En cuanto al perfil de ácidos grasos, se ha reportado que el aceite de ajonjolí es rico en ácidos grasos insaturados, principalmente en ácido oleico (omega-9) y ácido linoleico (omega-6) (Elleuch et al, 2007). Además, contiene pequeñas cantidades de ácidos grasos saturados, como el ácido palmítico y el ácido esteárico, la composición de ácidos grasos puede influir en las propiedades nutricionales y la estabilidad oxidativa del aceite (Lutterodt et al., 2011).

Investigaciones anteriores han comparado las características fisicoquímicas y el perfil de ácidos grasos de diferentes variedades de ajonjolí. Por ejemplo, un estudio realizado por (Ahmed et al. (2020) evaluaron las propiedades fisicoquímicas y la composición de ácidos grasos de tres variedades de ajonjolí. Los resultados mostraron diferencias significativas en el índice de yodo, el índice de saponificación y el contenido de ácidos grasos insaturados entre las variedades estudiadas.

Además de la comparación entre variedades de ajonjolí, algunos estudios han evaluado las propiedades de los aceites de ajonjolí en relación con otros aceites vegetales comúnmente utilizados. Por ejemplo, Ghafoorunissa et. al (2004) compararon el perfil de ácidos grasos y la estabilidad oxidativa del aceite de ajonjolí con el aceite de oliva y el aceite de palma. Los resultados mostraron

que el aceite de ajonjolí tenía un perfil de ácidos grasos similar al aceite de oliva, con un alto contenido de ácido oleico, y una mayor estabilidad oxidativa en comparación con el aceite de palma.

En Colombia, se han realizado estudios sobre las características fisicoquímicas y el perfil de ácidos grasos de aceites de ajonjolí cultivados en diferentes regiones del país. Cárdenas et. al (2004) evaluaron las propiedades fisicoquímicas y la composición de ácidos grasos de aceites de ajonjolí extraídos de semillas cultivadas en los departamentos de Tolima y Huila. Los autores encontraron que los aceites de ajonjolí de estas regiones tenían una alta calidad y un perfil de ácidos grasos deseable, con un alto contenido de ácidos grasos insaturados.

Sin embargo, hasta donde se ha revisado, no se han encontrado estudios específicos que comparen las características fisicoquímicas y el perfil de ácidos grasos del aceite de semillas de ajonjolí variedades negro y común cultivadas en el Departamento de Bolívar, Colombia. Por lo tanto, esta investigación busca llenar este vacío de conocimiento y proporcionar información valiosa sobre la calidad y el potencial uso de los aceites de ajonjolí producidos en esta región.

Los resultados de este estudio son relevantes para los productores de ajonjolí, la industria alimentaria y los consumidores, ya que permite identificar las características distintivas de los aceites de ajonjolí de las variedades común y negro cultivadas en el departamento de Bolívar. Además, la comparación con aceites comerciales de alto consumo, como el aceite de oliva y el aceite de palma, proporcionará información sobre la competitividad y el potencial de los aceites de ajonjolí de esta región en el mercado.

Los antecedentes presentados resaltan la importancia de evaluar las características fisicoquímicas y el perfil de ácidos grasos de los aceites de ajonjolí, así como la necesidad de realizar estudios comparativos entre diferentes variedades y con otros aceites vegetales. Esta investigación contribuirá al conocimiento sobre la calidad y el potencial uso de los aceites de ajonjolí de las variedades común y negro cultivadas en el Departamento de Bolívar, Colombia.

5.3 MARCO CONCEPTUAL

5.3.1. Origen del Ajonjolí

El ajonjolí (*Sesamum indicum L.*) se considera originario de Etiopía en África, con evidencia de diversificación secundaria en países como India, Japón y China. Tras el descubrimiento de América, fue introducido primero en México y posteriormente en países de Centroamérica con climas cálidos tropicales. La llegada del ajonjolí a América fue a través de los esclavos, quienes utilizaban las semillas para espesar y dar sabor a los diferentes platos que preparaban (Chimborazo 2015).

6. MARCO LEGAL

Las normas que regulan las propiedades Fisicoquímicas y del Perfil de ácidos grasos utilizadas para el desarrollo de la presente investigación fueron:

6.1 A nivel internacional

Codex Alimentarius el cual constituye el punto de referencia a nivel internacional e indica las propiedades en relación con la acidez, el contenido de humedad de los aceites vegetales para ser considerados de buena calidad (Codex Alimentarius Commission, 1999).

6.2 A nivel nacional

Instituto Colombiano de Normas y Certificación (ICONTEC). (n.d.). Normas Técnicas Colombianas (NTC) para aceites comestibles, de las cuales se utilizaron las siguientes:

- NTC 4967:2014, esta norma establece los métodos de ensayo para determinar la composición de ácidos grasos en grasas y aceites animales y vegetales, utilizando la técnica de cromatografía de gases. Con la presente norma se establecieron los parámetros de grasa saturada, grasa monoinsaturada, grasa poliinsaturada, ácidos grasos trans de los aceites extraídos de semillas de ajonjolí común y negro.
- NTC 218:2011, la cual establece tres métodos de ensayo para determinar el índice de acidez y la acidez en grasas y aceites vegetales y animales, con ella se determinó el parámetro de acidez expresado en ácido oleico.
- NTC 283:2019, Utilizada para determinar el parámetro de Índice de yodo en los aceites de ajonjolí analizados, cuya norma establece un método de referencia para la determinación de índice de yodo en grasas y aceites animales y vegetales.
- NTC 289:2019, la cual establece el método de ensayo para la determinación del índice de refracción, en grasas y aceites animales y vegetales, misma que se utilizó para la presente investigación y con ella determinar el parámetro de Índice de refracción.

- NTC 336:2016, esta norma determina la densidad de grasas y aceites animales y vegetales, importante para identificar y caracterizar las grasas y aceites, y para la presente investigación se utilizó para determinar el parámetro de Densidad de los aceites extraídos de las semillas de ajonjolí.
- NTC 335:2019, esta norma específica un método para determinar el índice de saponificación de las grasas y aceites animales y vegetales, con la presente norma se determinó el índice de saponificación de los aceites extraídos de las semillas de ajonjolí.

6.3 Organizaciones relevantes

Association of Official Analytical Chemists (AOAC) la cual es una organización sin fines de lucro dedicada a garantizar la seguridad y calidad de los alimentos, medicamentos y otros productos relacionados con la salud pública, fundada en 1884 y cuenta con una amplia red de científicos, expertos en la industria y representantes gubernamentales que trabajan juntos para desarrollar y validar métodos de análisis confiables y estandarizados.

American Oil Chemists' Society (AOCS) es una organización profesional internacional dedicada al avance de la ciencia y la tecnología de los aceites, grasas, surfactantes y materiales relacionados, fundada en 1909, la AOCS cuenta con una amplia red de científicos, tecnólogos, ingenieros y profesionales de la industria que trabajan juntos para promover la investigación, el desarrollo y la innovación en el campo de la alimentación.

Organización Mundial de la Salud (OMS) 2023, Dietary fats and oils in human nutrition. La cual es un organismo especializado de las Naciones Unidas responsable de dirigir y coordinar la acción sanitaria a nivel internacional.

Organización Panamericana de la Salud (OPS) 2022, Alimentación saludable y sostenible en las Américas. Que es la agencia especializada de la salud pública para las Américas, que forma parte del Sistema Panamericano de Salud (SPS) de la Organización de los Estados Americanos (OEA).

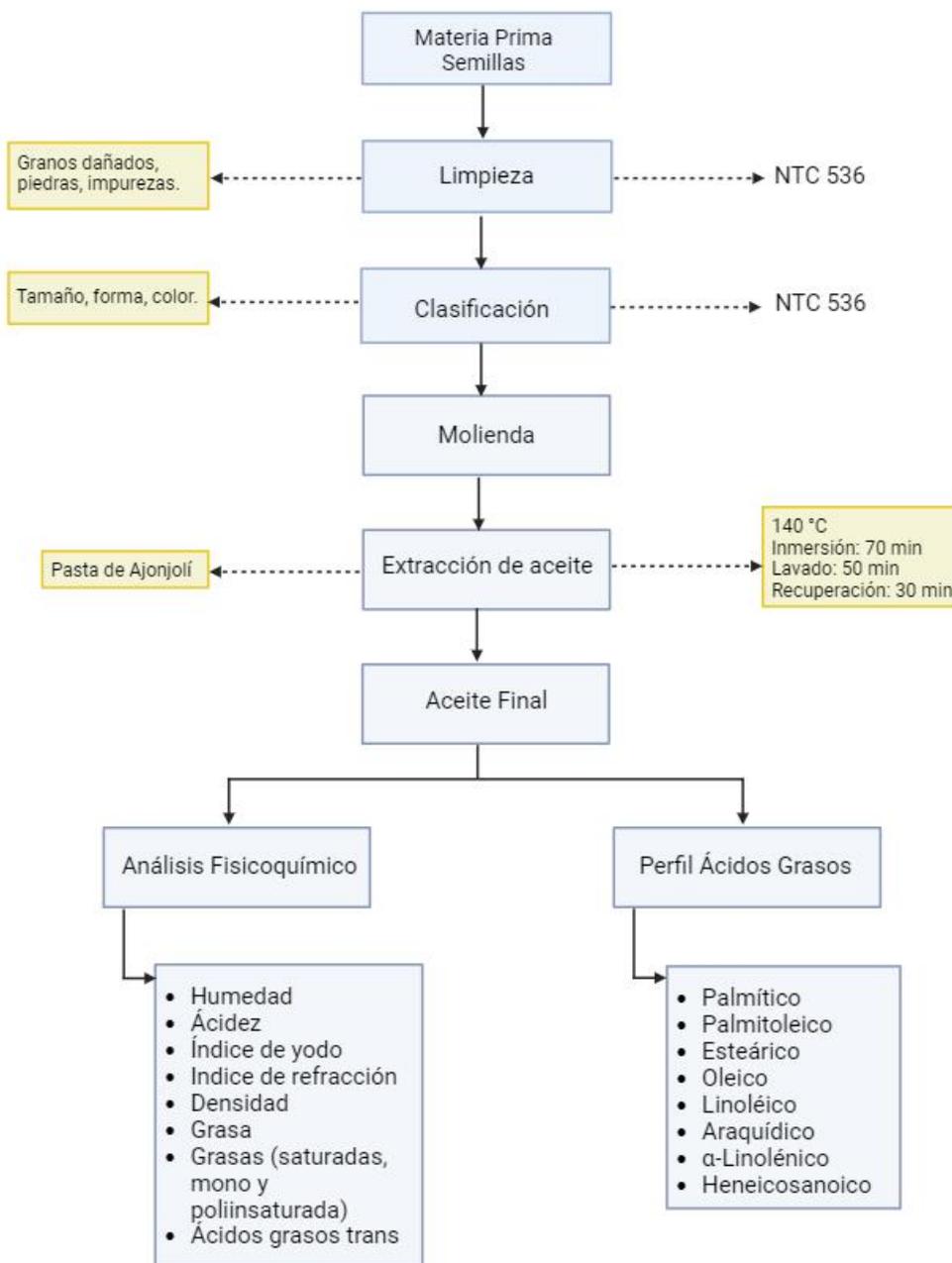
7. METODOLOGÍA

7.1 Tipo de investigación

La presente investigación se enmarca en un enfoque experimental cuantitativo, ya que se realizó mediciones de las propiedades fisicoquímicas y el perfil de ácidos grasos de los aceites extraídos de semillas de ajonjolí de las variedades Común y Negro. Además, se utilizó un diseño completamente al azar con un solo factor (variedad de ajonjolí) y dos niveles (Negro y Común).

7.2 Diagrama de flujo

Ilustración 7. Diagrama de flujo para la obtención de aceite y análisis Físicoquímico y perfil de ácidos grasos.



Fuente propia.

7.3 Materiales y métodos

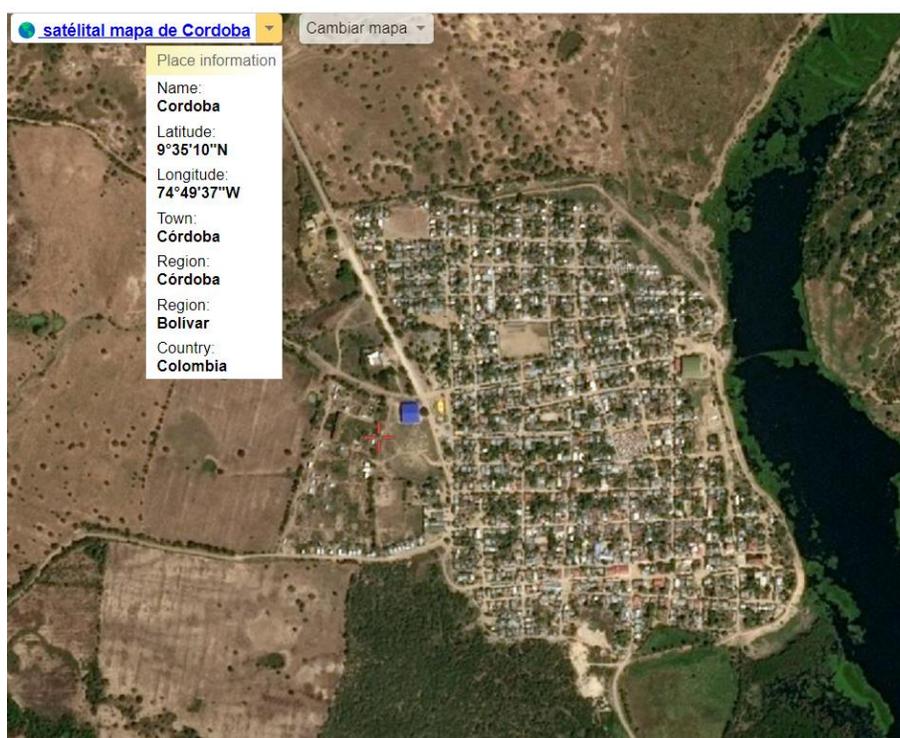
Materia prima - Ajonjolí (*Sesamum indicum* L.)

Las muestras de ajonjolí se obtuvieron de diferentes municipios del Departamento de Bolívar, como se muestra a continuación:

7.3.1. Ajonjolí Negro

La muestra se obtuvo del Municipio de Córdoba, comúnmente llamado Córdoba Tetón en el Departamento de Bolívar, ubicado en el sur de los Montes de María, cuenta con una elevación de 150 metros sobre el nivel del mar y una temperatura media de 27°C, con coordenadas geográficas 9°35'10"N, Latitud Norte, 74°49'37"W Longitud Este, ver ilustración 8.

Ilustración 8. Mapa de ubicación del municipio de Córdoba Tetón, Departamento de Bolívar.

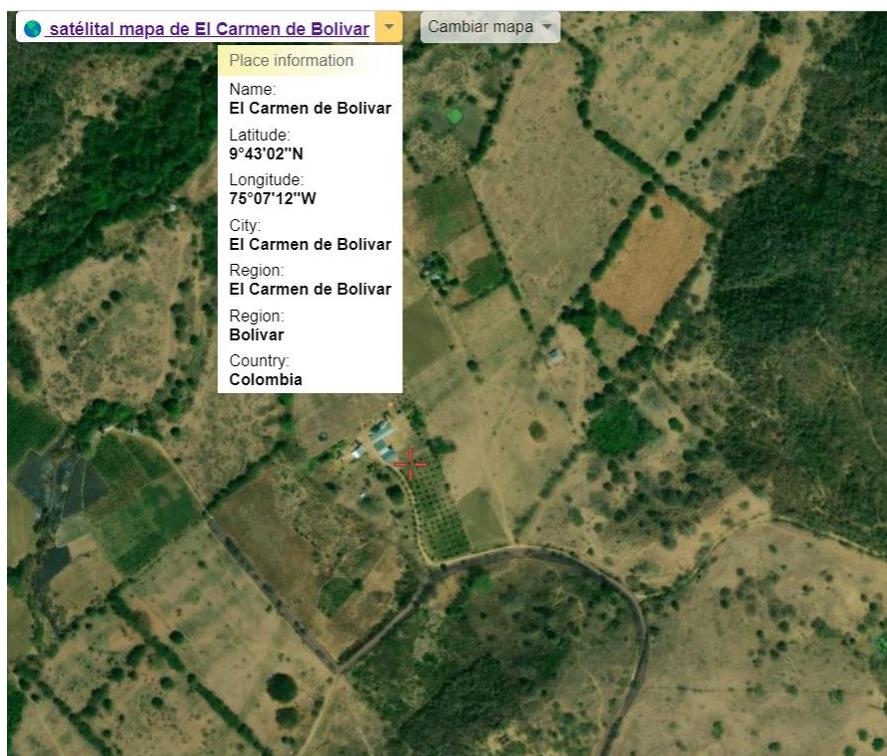


Fuente propia.

7.3.2. Ajonjolí Común

La muestra se obtuvo de la Vereda El Cocuelo, en el Centro Poblado Hato Nuevo del Municipio de El Carmen de Bolívar, ubicada a 8 km de la cabecera municipal, cuenta con una altura de 123 de metros sobre el nivel del mar, y una temperatura promedio de 27.4 °C, sus coordenadas geográficas son 9°43'02"N Latitud Norte, 75°07'12"W, Longitud Este, ver ilustración 9.

Ilustración 9. Mapa de ubicación de la Vereda El Cocuelo, en el Centro Poblado de Hato nuevo del municipio de El Carmen De Bolívar, Departamento de Bolívar.



Fuente propia.

7.3.3. Limpieza

Las muestras de ajonjolí obtenidas de los municipios de Córdoba Tetón y el centro poblado Hato Nuevo del Departamento de Bolívar, pasaron por un proceso de limpieza y depuración de donde se les extrajeron granos dañados, piedras, cuerpos extraños y otras impurezas, bajo los parámetros establecidos en la NTC 536. La limpieza se realizó de la siguiente manera:

- Método físico de zarandeo, el cual consta de agitar y permitir de que viento entre en contacto con las semillas para que remueva las impurezas y restos de la planta como capsulas, hojas, palos u otro tipo de suciedad. Ver ilustración 10.

Ilustración 10. *Imagen de impurezas y restos de la planta como capsula, hojas secas, entre otros.*



Fuente propia.

- *Tamiz*, una vez retirado las impurezas de gran tamaño, se procedió a tamizar. Para ello se utilizó un tamiz de malla N. 16 (1.18 mm) en el cual quedó retenido las semillas y se filtró semillas pequeñas que no alcanzaron un grado de madurez adecuado, arenilla y otros tipos de residuos, ver ilustración 11.

Ilustración 11. *Imagen de residuos e impurezas extraídos de la muestra.*



Fuente propia.

7.3.4. Clasificación de las semillas

Las muestras de ajonjolí obtenidas de los municipios de Córdoba Tetón y el centro poblado Hato Nuevo del Departamento de Bolívar fueron sometidas a un riguroso proceso de selección y clasificación, este proceso permitió identificar y separar las semillas que cumplieran con los estándares de tamaño, forma, color y pureza según la NTC 536. La clasificación de las semillas es fundamental para garantizar la calidad y uniformidad de las semillas, ver ilustración 12 e ilustración 13.

Ilustración 12. *Muestra de ajonjolí negro.*



Fuente propia.

Ilustración 13. *Muestra de ajonjolí común.*



Fuente propia.

7.3.5. Molienda

Una vez recolectada la muestra, se procedió a molerla en un molino eléctrico marca Imusa con una potencia de 200 vatios, de donde se obtuvo una masa homogénea ideal para procesar, ver ilustración 14.

Ilustración 14. *Ajonjolí molido.*



Fuente propia.

7.3.6 Extracción de aceite

Posterior a la molienda, se extrajo el aceite teniendo en cuenta lo descrito por la AOAC 920.85. Se tomó 3 gr de muestra y se depositaron dentro del equipo de extracción Soxhlet con un solvente de grado analítico Eter, a una temperatura aproximadamente de 140°C y un tiempo de procesamiento de 2.5 horas en el que se incluye la inmersión, el lavado y la recuperación del aceite de ajonjolí, de aquí se extrajo la grasa, la cual fue recolectada y posteriormente se analizaron las propiedades Fisicoquímicas y el Perfil de Ácidos Grasos.

7.3.7 Análisis de las propiedades fisicoquímicas y perfil de ácidos grasos

Todos los análisis se realizaron por triplicado para asegurar la precisión y confiabilidad de los resultados. Se aplicaron técnicas de control de calidad y aseguramiento de la calidad analítica, como el uso de materiales de referencia certificados, la calibración de los equipos y la validación de los métodos empleados. Para la caracterización fisicoquímica y cromatográfica de las muestras de aceite de ajonjolí negro y común se utilizaron agentes analíticos de alta pureza obtenidos del laboratorio Sigma-Aldrich.

7.3.7. 1 Análisis de las propiedades fisicoquímicas

La determinación de las propiedades fisicoquímicas de los aceites extraídos se realizó empleando métodos analíticos estandarizados y validados. Para la medición de la humedad se utilizó el método gravimétrico (AOAC, 2019), según el Código GOMESL.01 V07 del 2023-06-26. La grasa total fue determinada mediante el método de extracción Soxhlet (AOAC, 2019). Los ácidos grasos se analizaron mediante cromatografía de gases (AOCS, 2017) como se muestra en la ilustración 15 e ilustración 16, y se categorizaron en ácidos grasos saturados, monoinsaturados, poliinsaturados y trans, todos ellos expresados como g/100g de ácidos grasos, siguiendo el método AOAC 996.06. La acidez, expresada como porcentaje de ácido oleico, se determinó utilizando el método AOCS Cd 3d-63. El índice de yodo se expresó como g de yodo/100g de aceite, determinado según el método AOAC 993.20. El índice de refracción se midió a 25°C conforme al método AOCS Cc 7-25, y la densidad, expresada como g/mL a 20°C, se determinó mediante el método AOCS Cc 10a-25. Además, se evaluó el índice de saponificación utilizando el método AOCS Cd 3-25, expresado como mg de KOH/g de aceite, y el punto de humo, expresado en °C, fue determinado siguiendo el método AOCS Cc 9a-48.

7.3.7.2 Análisis del Perfil de ácidos grasos.

El perfil de ácidos grasos, también expresado como g/100g de ácidos grasos, se analizó según el método AOAC 996.06, incluyendo los ácidos palmíticos (C16:0), palmitoleico (C16:1), esteárico (C18:0), oleico (C18:1), linoleico (C18:2), linolénico (C18:3), araquídico (C20:0), eicosenoico (C20:1), behénico (C22:0), erúcico (C22:1) y lignocérico (C24:0). Todos estos análisis se llevaron a cabo en un laboratorio acreditado, siguiendo estrictamente los procedimientos descritos en las normas de la Association of Official Analytical Chemists (AOAC) y la American Oil Chemists' Society (AOCS). Se utilizó un cromatógrafo de gases Agilent 7890A acoplado a un detector de ionización de llama (FID) y equipado con una columna H-P-88 de 60 mt con un inyector Agilent G4513A y las condiciones de corrida fue de 2µL a 285°C en el puerto de inyección, el gas portador fue H₂ (99.99%) y un flujo de aire de 300 ml/min. Además, un flujo de N₂ de 25ml/min dando un tiempo de corrida de 60min por muestra y se identificaron los ácidos grasos por medio del tiempo de retención y el área bajo la curva. Se utilizó el software de estación de trabajo Agilent OpenLab CDS.

7.4 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos, se utilizó Microsoft Excel y se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor. Los datos de las propiedades fisicoquímicas y el perfil de ácidos grasos de los aceites de ajonjolí común y negro se organizaron en una hoja de cálculo. Se seleccionaron los datos relevantes y se utilizó la función ANOVA de un factor de Excel para determinar si existían diferencias significativas entre los grupos. Los resultados del ANOVA proporcionaron el valor de F y el valor de p, considerándose diferencias significativas aquellas con un valor de p menor a 0.05. Este análisis permitió identificar y validar estadísticamente las diferencias

entre las propiedades de los aceites estudiados, proporcionando una base sólida para las conclusiones del estudio.

8. CONSIDERACIONES ÉTICAS

En la investigación realizada para evaluar las características fisicoquímicas y del perfil de ácidos grasos de aceites de ajonjolí (*Sesamum indicum L.*) extraídos de semillas común y negro cultivadas en el departamento de Bolívar, requirió abordar consideraciones éticas fundamentales con las cuales se garantizó la integridad científica y la transparencia de los datos utilizados, de esta manera se obtuvo una serie de resultados reales, de calidad y aplicables de acuerdo a lo que busca con la misma. Asimismo, se busca generar un impacto potencial basado en los resultados del proyecto en el que se pueda contribuir al conocimiento científico de manera responsable y sostenible.

9. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Se realizaron análisis fisicoquímicos y del perfil de ácidos grasos de los aceites de ajonjolí obtenidos a partir de semillas común y negro. Las semillas fueron sometidas a un proceso de extracción, seguido del análisis detallado de las propiedades de los aceites resultantes. Estos análisis proporcionaron información sobre la calidad y composición de los aceites de ajonjolí, resaltando su potencial aplicación en la industria alimentaria. Se evaluaron aspectos como el contenido total de grasa, la distribución de ácidos grasos (saturados, monoinsaturados y poliinsaturados) ácidos grasos trans, el índice de acidez (expresado como ácido oleico), la humedad, el índice de yodo, el índice de refracción, la densidad, el índice de saponificación, punto de humo y perfil de ácidos grasos. Los resultados obtenidos son esenciales para comprender la viabilidad y utilidad de estos aceites en aplicaciones alimentarias.

A modo de discusión, en la presente investigación se realizó un análisis comparativo de las propiedades fisicoquímicas y el perfil de ácidos grasos de los aceites de ajonjolí (*Sesamum indicum L.*) extraídos de semillas común y negro, en relación con los aceites de oliva y de palma. Este estudio establece las diferencias y similitudes entre estos aceites en términos de su composición química y características físicas. Los aceites de oliva y de palma se seleccionaron como puntos de referencia debido a su amplio uso y conocida composición en ácidos grasos. El análisis comparativo permitió identificar cómo las propiedades fisicoquímicas y el perfil de ácidos grasos de los aceites de ajonjolí común y negro indican su potencial como sustitutos de aceites comunes y su posible uso en la industria alimentaria.

9.1 Rendimiento de la extracción de aceite.

Los estudios indican que los aceites de ajonjolí presentan rendimientos de extracción que oscilan entre 48,23% y 51,18%, dependiendo del método utilizado Benitez et al (2016). (Ver tabla 5.) Se observa que la extracción Soxhlet con éter de petróleo muestra rendimientos ligeramente superiores al prensado en frío. En contraste, los aceites de oliva exhiben rendimientos de extracción más bajos, que varían entre 12,50% y 14,20%. La centrifugación de dos fases y el prensado en frío son métodos comúnmente empleados para la obtención de aceite de oliva (Hernández et al, 2020; Ballesteros et al, 2019). En el caso de los aceites de palma, los rendimientos de extracción varían entre 44,30% y 46,20%, siendo la extracción Soxhlet con n-hexano o éter de petróleo un método preferido (Macías et al, 2020).

Tabla 5. Comparación del rendimiento de extracción y los métodos utilizados para obtener aceites de ajonjolí, oliva y palma.

Aceite	Rendimiento de extracción (%)	Método de extracción	Referencia
Ajonjolí	50,67 ± 0,19	Soxhlet (éter de petróleo)	Benitez et al (2016)
	48,23 ± 0,92	Prensado en frío	Dravie et al, (2020)

Oliva	12,50 ± 0,30	Centrifugación de dos fases	Hernández et al, (2020)
	14,20 ± 0,40	Prensado en frío	Ballesteros et al, (2019)
Palma	45,60 ± 0,70	Soxhlet (n-hexano)	Macías et al, (2020)
	46,20 ± 0,60	Soxhlet (éter de petróleo)	Tan et al, (2017)

Elaboración propia.

Para comparar el rendimiento de extracción y los métodos empleados en la obtención de aceites de ajonjolí, oliva y palma, se ha recopilado información de diversos estudios científicos. En la tabla 5 se muestran los distintos métodos de extracción utilizados y los rendimientos obtenidos para cada tipo de aceite. Es importante señalar que los rendimientos de extracción pueden verse influenciados por factores como la variedad de la materia prima, las condiciones de cultivo, la madurez de los frutos, el tiempo postcosecha y las particularidades de cada método de extracción utilizado. (Guillén, 2016).

Los parámetros fisicoquímicos y el perfil de ácidos grasos analizados para el ajonjolí común y negro en este estudio muestran un cumplimiento satisfactorio con la Norma Técnica Colombiana (NTC) 256:2022. Los resultados de humedad, índice de yodo, índice de refracción, densidad, e índice de saponificación, entre otros (ver Tabla 7), se encuentran dentro de los límites especificados por la normativa. No obstante, se observa que el valor de acidez, expresado como ácido oleico, presenta una ligera superación del límite establecido en la NTC 256:2022.

9.2 Análisis fisicoquímicos

El análisis comparativo de las propiedades fisicoquímicas entre el ajonjolí común y el ajonjolí negro reveló diferencias significativas en varios parámetros, como se detalla en la Tabla 6. En términos de contenido de humedad, ambos tipos de ajonjolí exhibieron valores bajos y similares, lo que indica una buena estabilidad y durabilidad durante el almacenamiento. La acidez, expresada como ácido oleico, fue significativamente mayor en el ajonjolí negro en comparación con el ajonjolí

común, lo que podría sugerir un mayor grado de oxidación o la formación de ácidos grasos libres en el ajonjolí negro. En cuanto a las características físicas, la densidad del ajonjolí negro fue ligeramente superior a la del ajonjolí común, aunque esta diferencia no fue significativa. Sin embargo, tanto el índice de refracción como el índice de saponificación fueron comparativamente similares entre ambos tipos de ajonjolí (ver Tabla 6).

Tabla 6. Resultados promedio de los Análisis Físicoquímico del aceite de ajonjolí común y negro.

Parámetro	Común	Negro	Unidades de medida
Humedad	0,04±0,006 ^a	0,05±0,006 ^a	g/100 g muestra (%)
Acidez (Ácido oleico)	1,27±0,00 ^b	4,18±0,081 ^a	g/100 g muestra (%)
Índice de yodo	108,11±0,015 ^a	106,04±0,075 ^b	g I ₂ /100 g muestra
Índice de refracción	1,47±0,00 ^a	1,47±0,000 ^a	Unidades de refracción
Punto de humo	183,23± 12,64 ^a	164,47± 16,44 ^b	°C
Densidad (20°C)	0,91±0,001 ^a	0,92±0,009 ^a	g/mL muestra
Índice de saponificación	186,73±0,575 ^a	188,58±4,770 ^a	mg KOH/g muestra

Nota: Misma letra en la misma fila significa que no son significativamente diferentes, mientras que los valores de diferentes letras son significativamente diferentes. (P <0,05). Elaboración propia.

Tabla 7. Resultados promedio de los Análisis Físicoquímico del aceite de ajonjolí común y negro comparados con la NTC 256:2022.

Parámetro	Común	Negro	NTC 256:2022	¿Cumple, común?	¿Cumple, negro?
Humedad	0,04±0,006	0,05±0,006	Máximo 0,1	Si	Si
Punto de humo	183,23± 12,64	164,47± 16,44	----	----	----
Acidez (Ácido oleico)	1,27±0,00	4,18±0,081	Máximo 0,1	No	No
Índice de yodo	108,11±0,015	106,04±0,075	[104 - 120]	Si	Si
Índice de refracción	1,47±0,00	1,47±0,000	[1,465 - 1,469]	Si	Si
Densidad (20°C)	0,91±0,001	0,92±0,009	[0,915 - 0,924]	Si	Si

Parámetro	Común	Negro	NTC 256:2022	¿Cumple, común?	¿Cumple, negro?
Índice de saponificación	186,73±0,575	188,58±4,770	[186 - 195]	Si	Si

Nota: espacios vacíos, son parámetros no establecidos por la normal. Elaboración propia.

El contenido promedio de humedad en el aceite de ajonjolí común fue de 0,04%, mientras que en el ajonjolí negro fue ligeramente superior, con un valor de 0,05%. Esta diferencia entre las variedades no es estadísticamente significativa, como se observa en la tabla 6. Sin embargo, los resultados obtenidos cumplen con los estándares de calidad establecidos por la Norma Técnica Colombiana (NTC 256:2022) observado en la tabla 7, que establece un límite aceptable de humedad de igual o menor al 0,1% para aceites de ajonjolí. La humedad es un parámetro crucial para evaluar la calidad del aceite, ya que entornos o aceites con alta humedad pueden propiciar el enranciamiento por oxidación o hidrólisis de los aceites (Flores M, 2021). Investigaciones anteriores de Xu et al. (2019) han indicado que el aceite de ajonjolí puede experimentar un aumento en su acidez en condiciones de alta humedad. Por el contrario, se han documentado valores de humedad más elevados para el aceite de palma, oscilando entre 0,47% y 0,5% (Chaves et al, 2020). En cambio, para el aceite de oliva se han reportado niveles de humedad más bajos, entre 0,083% y 0,088% (A. Ahmad et al., 2024). Es importante destacar que el aceite de oliva y el aceite de palma presentan mayor humedad que el aceite de ajonjolí común y el ajonjolí negro, lo cual contribuye a prolongar su vida útil y estabilidad.

La acidez, expresada como porcentaje de ácido oleico, en el aceite de ajonjolí común y ajonjolí negro fue de 1,27±0,00% y 4,18±0,081% respectivamente, mostrando diferencias significativas entre ambas variedades (ver tabla 6). Estos valores exceden los límites establecidos por

la Norma Técnica Colombiana (NTC) 256 del 2022, indicando un nivel de acidez mayor al permitido (ver tabla 7). El índice de acidez es un parámetro fundamental que refleja la calidad de los aceites vegetales, el grado de refinación y los cambios que experimentan durante el almacenamiento (Tasan y Demirci, 2011). En el estudio de Paucar et. al (2015), se reportó un valor de acidez de $1,08 \pm 0,029\%$, cercano al resultado obtenido para el aceite de ajonjolí común pero inferior al del ajonjolí negro. Gouveia y Moreira (2017) mencionan que el índice de acidez en el aceite de sésamo fue de $0,92 \pm 0,09\%$, mostrando un nivel más bajo que los resultados encontrados en este estudio. Además, Osawa et. al (2007) establece un índice de acidez máximo de 1%. Aunque un alto índice de acidez puede indicar el uso de materia prima de baja calidad, un manejo inadecuado durante la producción o posibles variaciones en las propiedades fisicoquímicas debido al clima y las condiciones de cultivo (Rondanini et al, 2015), es esencial considerar estos resultados en relación con estándares específicos de calidad. Comparativamente, el aceite de oliva presenta una acidez de $1,469 \pm 0,001\%$ (Paucar, 2015), mostrando un nivel superior al aceite de ajonjolí común pero inferior al del ajonjolí negro. En contraste, el aceite de palma exhibe una acidez más baja de $0,74 \pm 0,06\%$, lo cual refleja una materia prima de buena calidad y un almacenamiento adecuado, factores cruciales que influyen en las propiedades del aceite (Chaves et al, 2020).

El índice de yodo es una medida clave que refleja la cantidad de ácidos grasos insaturados presentes en el aceite, representando el número de dobles enlaces y la instauración de los ácidos grasos. En este estudio, se observó que el aceite de ajonjolí común exhibió un índice de yodo de $108,11 \pm 0,015 \text{ gI}_2/100\text{g}$, mientras que el aceite de ajonjolí negro mostró un valor ligeramente menor de $106,04 \pm 0,075 \text{ gI}_2/100\text{g}$. Estas diferencias son estadísticamente significativas y reflejan variaciones en la composición de ácidos grasos entre las dos variedades. Es importante destacar que ambos valores cumplen con los estándares establecidos por la Norma Técnica Colombiana (NTC) 256 del 2022 (ver tabla 7). Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con investigaciones previas.

Por ejemplo, Mohammed y Hamza (2008) informaron índices de yodo para el aceite de ajonjolí en el rango de 103 a 116 gI₂/100g, mientras que otro estudio reportó un valor de 109,5866 gI₂/100g (Piedrasanta, 2018). Además, Afshar et. al (2022) encontraron un índice de yodo aún más alto, de 130,43 gI₂/100g, que, aunque es mayor que los valores de este estudio, sigue estando cerca de los parámetros aceptables. Comparando con otros aceites vegetales, como el aceite de oliva y el aceite de palma, se observa una clara diferencia en los índices de yodo. El aceite de oliva presenta un índice mucho menor, alrededor de 73,56 gI₂/100g (De Oliveira et al, 2021), mientras que el aceite de palma oscila alrededor de 79,13 gI₂/100g (Chaves et al, 2020). Estas diferencias indican un mayor contenido de ácidos grasos insaturados en los aceites de ajonjolí común y negro en comparación con otros aceites comunes.

El índice de refracción es un parámetro fundamental utilizado para evaluar la pureza y calidad de los aceites tanto en laboratorios como en aplicaciones industriales. Esta propiedad está estrechamente relacionada con la cantidad promedio de insaturación en los ácidos grasos presentes en el aceite (Paucar et al, 2015). Los resultados obtenidos para los aceites de ajonjolí común y negro fueron consistentes, mostrando un índice de refracción de 1,47 para ambos, (ver tabla 6). Estos hallazgos son respaldados por investigaciones previas, como la de Mudawi y Marouf (2022) y Dim et. al (2012), que reportan valores entre 1,4684 y 1,4784, concordando con nuestros resultados. En comparación con la norma al igual estos cumplen con lo establecido (ver tabla 7), el aceite de oliva mostró un índice de refracción de 1,469 mientras que el aceite de palma presentó un valor ligeramente más bajo de 1,4561, dentro de los estándares de calidad para aceites (Chaves et al, 2020).

El punto de humo se refiere a la temperatura a la cual un aceite empieza a descomponerse. Cocinar a temperaturas superiores a este punto puede resultar en sabores no deseados debido a productos de degradación como aldehídos y cetonas. Los aceites de sésamo, con puntos de humo

elevados, son ideales para freír (Stodtko y Dahl, 2017). En nuestra investigación, el aceite de ajonjolí común presentó un punto de humo de $183,23 \pm 12,64$ °C, mientras que el aceite de ajonjolí negro tuvo un punto de humo de $164,47 \pm 16,44$ °C (ver tabla 6). Estos valores son ligeramente inferiores a los reportados por Montenegro et. al (2023), quienes obtuvieron una temperatura de $232 \pm 0,00$ °C para el aceite de ajonjolí. Asimismo, informaron que la temperatura del aceite de oliva fue de $208 \pm 0,00$ °C, ligeramente superior a la de nuestros aceites. Sin embargo, Aslam et. al (2021) y Amini et. al (2023) encontraron que el punto de humo del aceite de ajonjolí fue de 184 ± 3 °C y 186 ± 3 °C, respectivamente, lo cual es coherente con nuestros resultados para el aceite de ajonjolí común. Por otro lado, el punto de humo del aceite de palma fue de $195,30 \pm 1,48$ °C, superando ligeramente el encontrado en nuestra investigación (Nwakodo et al, 2020).

La densidad de las muestras de aceite de ajonjolí común y ajonjolí negro no mostró diferencias significativas entre sí, con valores de $0,91 \pm 0,001$ g/ml para el aceite común y $0,92 \pm 0,009$ g/ml para el negro (ver tabla 6). Investigaciones previas relacionadas con el aceite de ajonjolí han reportado densidades más altas, como $0,950 \pm 0,018$ (Karem y Taha, 2024), mientras que otras han indicado valores más cercanos a los obtenidos en esta investigación, como $0,9159 \pm 0,001$ (Piedrasanta, 2018). En comparación, el aceite de oliva mostró una densidad de $0,9252 \pm 0,0014$ g/ml (Paucar et al, 2015), similar a los valores encontrados en este estudio, al igual que el aceite de palma con $0,91$ g/ml (Chaves et al, 2020). La densidad es un parámetro crucial para caracterizar los aceites, ya que está relacionada con su composición y pureza.

El índice de saponificación indica la proporción de ácidos grasos de bajo peso molecular presentes en el aceite, medida de la cantidad de ácidos grasos libres en un aceite. En el aceite de ajonjolí común, este índice fue de $186,73 \pm 0,575$ mg KOH/g de muestra, mientras que para el aceite de ajonjolí negro fue de $188,58 \pm 4,770$ mg KOH/g, sin mostrar diferencias significativas entre ellos, (ver tabla 6). Ambas muestras cumplen con los estándares establecidos por la NTC 256 de 2022, (ver

tabla 7). Estos resultados son consistentes con estudios previos realizados por Mora et. al (2023) y Mohammed y Hamza (2008), quienes reportaron valores similares de alrededor de $188,1 \pm 0,15$ mg KOH/g, confirmando lo encontrado en nuestra investigación. En el caso del aceite de oliva, se encontró un índice de saponificación de $186,33 \pm 0,15$ mg KOH/g (Muhammad et al, 2013), mientras que para el aceite de palma fue de $189,3 \pm 0,15$ mg KOH/g (Chaves et al, 2020), manteniéndose estos valores muy cercanos a los del aceite común y negro. La saponificación es un parámetro relevante que refleja la composición de ácidos grasos en los aceites.

9.3 Análisis de grasa

En relación con el perfil de grasas, se observó que el ajonjolí negro presenta un contenido significativamente mayor de grasas saturados en comparación con el ajonjolí común. Además, el ajonjolí negro mostró un contenido superior de ácidos grasos monoinsaturados, mientras que el ajonjolí común exhibió niveles más altos de grasas poliinsaturadas como se puede observar en la Tabla 8:

Tabla 8. Comparación del perfil de grasas de los aceites de semillas de ajonjolí negro y común.

Parámetro	Común	Negro	Unidades de medida
Grasa	$51,57 \pm 0,685^a$	$51,03 \pm 0,130^a$	g/100 g muestra (%)
Grasa saturada	$7,95 \pm 0,105^b$	$8,37 \pm 0,020^a$	g/100 g muestra (%)
Grasa monoinsaturada	$20,56 \pm 0,270^b$	$21,05 \pm 0,055^a$	g/100 g muestra (%)
Grasa poliinsaturada	$23,06 \pm 0,305^a$	$21,61 \pm 0,055^b$	g/100 g muestra (%)
Ácidos grasos trans	N. D	N. D	mg/100 g muestra

Elaboración propia.

Tabla 9:

Tabla 9. Comparación de los niveles de grasas extraídas por el método Soxhlet en semillas de ajonjolí, oliva y de palma.

Materia prima	Contenido de grasa (% en base seca)		Referencia
	Ajonjolí Común	Ajonjolí Negro	
Semillas de ajonjolí	51,57±0,685	51,03±0,130	Gravimétrico – Soxhlet / Análisis de grasa total en alimentos Código GOMEGC.01 V07 2023-06- 26.
	15,32 ± 0,48		Bodoira et al, (2017)
	18,60 ± 0,70		Reboredo et al, (2015)
Oliva	20,95 ± 0,63		Hernández et al, (2020)
	80,53 ± 0,25		Jahurul et al, (2013)
Palma	81,70 ± 0,20		Tan et al, (2017)
	83,05 ± 0,35		Cardenas et al, (2015)

Elaboración propia. Los datos de semillas de Ajonjolí Común y Negro son datos propios de la investigación, el resultado que se muestra es el promedio de los análisis por triplicado realizados a cada muestra, con su desviación estándar.

El análisis de la composición de grasa en los aceites de ajonjolí común y ajonjolí negro no reveló diferencias significativas entre las variedades. El contenido de grasa fue ligeramente superior en el ajonjolí común (51,57±0,685%) en comparación con el ajonjolí negro (51,03±0,130%) (ver tabla 8), resultados que concuerdan con investigaciones previas sobre variaciones en la composición de grasa entre distintas variedades de semillas, manteniendo el ajonjolí común y negro dentro del rango típico de contenido graso para este tipo de aceites Benitez et al (2016) (ver tabla 9). Estas diferencias en la composición de grasa son relevantes para comprender las propiedades nutricionales y funcionales de los aceites derivados del ajonjolí.

En comparación con otros aceites, los aceites de oliva presentan un contenido de grasa mucho menor (15,32 ± 0,48% a 20,95 ± 0,63%) (Reboredo et al, 2015; Bodoira et al, 2017; Hernández

et al, 2020), mientras que el aceite de palma exhibe un contenido de grasa considerablemente mayor ($80,53 \pm 0,25\%$ a $83,05 \pm 0,35\%$) (Jahurul et al, 2013; Tan et al, 2017; Cardenas et al, 2015), como se indica en la tabla 9. Las semillas de ajonjolí común y negro se sitúan en un punto intermedio en términos de contenido graso, siendo una opción equilibrada comparada con los aceites de uso comercial mencionados.

9.4 Caracterización y cuantificación de ácidos grasos del aceite de ajonjolí.

El análisis de los ácidos grasos presentes en el aceite de ajonjolí común y ajonjolí negro reveló la presencia de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados, como se detalla en la tabla 8. Los resultados se representan a través de cromatogramas que muestran el porcentaje de área correspondiente a los ácidos grasos identificados en el aceite de ajonjolí común (Ilustración 15) y el aceite de ajonjolí negro (Ilustración 16). Las réplicas del análisis se encuentran detalladas en el Anexo 1.

La cromatografía de gases (GC) es una técnica analítica esencial utilizada para la separación y análisis de compuestos volátiles y semivolátiles, incluyendo los ácidos grasos presentes en los aceites vegetales. Este método permite identificar y cuantificar los diversos ácidos grasos que componen el perfil lipídico de los aceites (Endo, 2018). La composición de ácidos grasos influye directamente en la estabilidad, el sabor y los beneficios del aceite (Arias y López, 2015).

El análisis del perfil de ácidos grasos mediante cromatografía de gases reveló diferencias significativas entre el ajonjolí común y el ajonjolí negro (ver Tabla 8). Ambas variedades exhibieron perfiles predominantes de ácidos grasos insaturados. En el ajonjolí común, el ácido linoléico (Omega 6, C18:2) fue el más abundante, representando el $44.45 \pm 0.015\%$ del área total, seguido por el ácido oleico (Omega 9, C18:1) con el $39.73 \pm 0.035\%$ del área total. Por otro lado, en el ajonjolí negro, se observó una mayor presencia de ácido linoleico con un área del $42.10 \pm 0.025\%$, seguido por el ácido oleico con el $41.13 \pm 0.006\%$ del área total. Estos resultados destacan una composición distintiva en

cada variedad de ajonjolí, donde el ajonjolí común muestra un mayor contenido de ácido linoleico y el ajonjolí negro exhibe una mayor presencia de ácido oleico. Respecto a los ácidos grasos saturados, se observaron diferencias mínimas pero significativas en los niveles de ácido palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0) entre ambas variedades, siendo ligeramente superiores en el ajonjolí negro. Estas diferencias son relevantes para la calidad nutricional y las aplicaciones industriales de los aceites derivados de estas semillas. Observar tabla 10.

Tabla 10. Perfil de ácidos grasos promedio del aceite de ajonjolí común y negro.

Ácido graso	Tipo de ácido	Nomenclatura	Común (%Área)	Negro(%Área)
Palmitico	Saturado	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	9,34±0,020 ^b	9,91±0,010 ^a
Palmitoleico	Monoinsaturado	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	0,14±0,000 ^a	0,13±0,010 ^a
Esteárico	Saturado	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	5,42±0,035 ^b	5,74±0,030 ^a
Oleico (Omega 9)	Monoinsaturado	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	39,73±0,035 ^b	41,13±0,006 ^a
Linoléico (Omega 6)	Poliinsaturado	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	44,45±0,015 ^a	42,10±0,025 ^b
Araquídico	Saturado	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	0,57±0,006 ^a	0,59±0,015 ^a
α-linolénico (Omega 3)	Poliinsaturado	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	0,28±0,000 ^a	0,25±0,006 ^b
Heneicosanoico	Saturado	C ₂₁ H ₄₂ O	0,17±0,006 ^a	0,16±0,010 ^a

Nota: misma letra en la misma fila significa que no son significativamente diferentes, mientras que los valores de diferentes letras son significativamente diferentes. (P <0,05). Elaboración propia.

Tabla 11:

Tabla 11. Ácidos grasos comparados con la norma NTC 256:2022.

Parámetro	Común	Negro	NTC 256:2022	¿Cumple, común?	¿Cumple, negro?
Palmítico	9,34±0,020	9,91±0,010	[7,9 - 12,0]	Si	Si
Palmitoleico	0,14±0,000	0,13±0,010	[ND - 0,2]	Si	Si
Esteárico	5,42±0,035	5,74±0,030	[4,5 - 6,7]	Si	Si
Oleico (Omega 9)	39,73±0,035	41,13±0,006	[34,4 - 45,5]	Si	Si
Linoléico (Omega 6)	44,45±0,015	42,10±0,025	[36,9 - 47,9]	Si	Si
Araquídico	0,57±0,006	0,59±0,015	[0,3 - 0,7]	Si	Si
α-linolénico (Omega 3)	0,28±0,000	0,25±0,006	[0,2 - 1,0]	Si	Si
Heneicosanoico	0,17±0,006	0,16±0,010	----	----	----

Nota: espacios vacíos son parámetros no establecidos por la norma. Elaboración propia.

En la tabla 10 se pueden observar los ácidos grasos identificados mediante la cromatografía de gases. Cada aceite se caracterizó por distintas cantidades de área representadas en ácidos grasos, identificándose un total de ocho ácidos grasos. Los ácidos grasos insaturados fueron los mayoritarios, destacándose en los aceites de ajonjolí común y negro el ácido linoleico (Omega 6) con un porcentaje de área promedio de 44,45% y 42,10%, respectivamente, seguido por el ácido oleico (Omega 9) con un promedio de 39,73% para el común y 41,13% para el negro (ver tabla 10). Los ácidos grasos detectados en la cromatografía fueron: ácido palmítico, ácido palmitoleico, ácido esteárico, ácido oleico, ácido linoleico, ácido araquídico, ácido α-linolénico y ácido heneicosanoico. Para el aceite de ajonjolí común, las áreas medias fueron: 9.34%, 0.14%, 5.42%, 39.73%, 44.45%, 0.57%, 0.28% y 0.17%, respectivamente; mientras que para el aceite de ajonjolí negro fueron: 9.91%, 0.13%, 5.74%,

41.13%, 42.10%, 0.59%, 0.25% y 0.16%. Comparando estos resultados con la NTC 256:2022, ambos aceites cumplen las normas establecidas (ver tabla 11).

La comparación de los ácidos grasos no mostró diferencias significativas en el ácido araquídico y el ácido palmitoleico entre las dos variedades de ajonjolí. Los perfiles de ácidos grasos de ambas variedades son similares con algunas diferencias específicas. Estudios previos, como los de Gouveia et. al (2017) y Mora et. al (2023), reportaron valores de ácido palmítico que se encuentran dentro del rango aceptable, aunque ligeramente diferentes a nuestros resultados. Matthäus, y Özcan (2018) proporcionan un rango más amplio para este ácido en el aceite de ajonjolí.

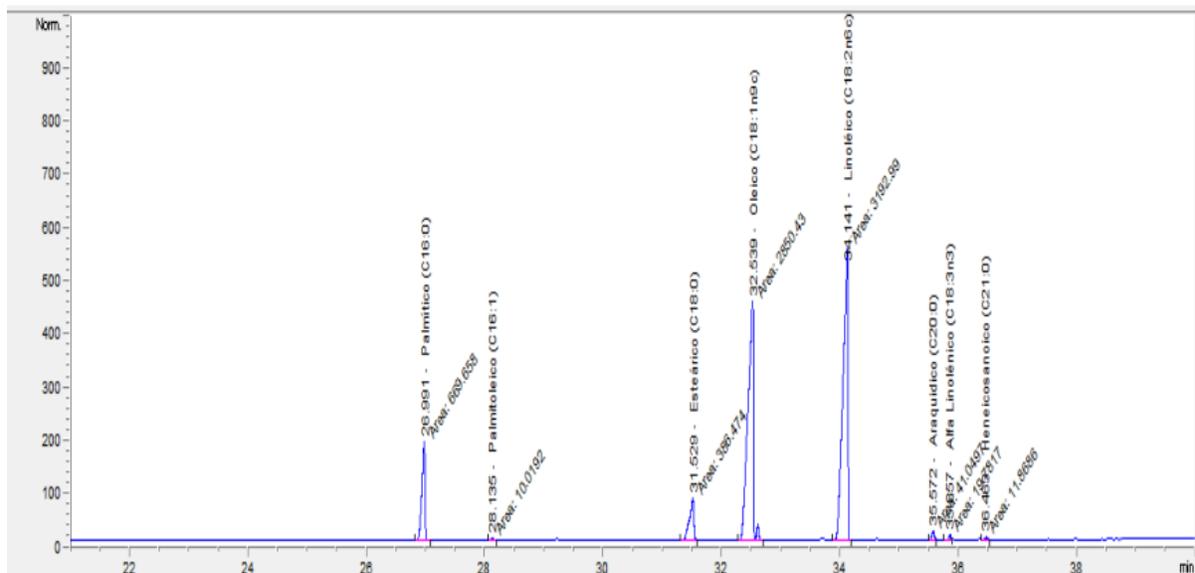
Comparando con otros aceites vegetales, el aceite de oliva tiene un contenido significativamente mayor de ácido palmítico (18,41%) y el aceite de palma aún más alto (37,9% a 41,7%). Para el ácido palmitoleico, los valores en los aceites de ajonjolí son similares y cumplen con la normativa, siendo notablemente menores que en el aceite de oliva y comparables a los del aceite de palma. En cuanto al ácido esteárico, el aceite de ajonjolí negro presentó un área promedio mayor que el común, pero ambos cumplen con la norma establecida. Estudios adicionales mostraron variaciones en los valores reportados para este ácido en aceites de oliva y palma.

El ácido oleico es el segundo ácido graso más abundante en ambos aceites de ajonjolí, con valores de 39,73% y 41,13% para el común y el negro, respectivamente. Estos valores se alinean con la literatura, aunque los valores para el aceite de oliva son significativamente mayores (56,82% a 74,82%). En contraste, el aceite de palma presenta un valor más bajo (37,1%). El ácido linoleico (Omega 6) es el ácido graso mayoritario en los aceites de ajonjolí, con valores de 44,45% y 42,10% para el común y el negro, respectivamente. Ambos valores están dentro del rango normativo. Comparado con otros aceites, el aceite de palma y el de oliva presentan concentraciones mucho menores de ácido linoleico.

Los resultados para el ácido araquídico fueron de 0,57% y 0,59% en el aceite de ajonjolí común y negro, respectivamente, ambos dentro del rango normativo. Estos valores son comparables a los reportados en la literatura y superiores a los del aceite de palma y oliva. Para el ácido α -linolénico (Omega 3), los valores en los aceites de ajonjolí están dentro del rango normativo y son consistentes con estudios previos, aunque menores que en otros aceites vegetales. Finalmente, los valores para el ácido heneicosanoico fueron de 0,17% y 0,16% en el aceite de ajonjolí común y negro, respectivamente, sin diferencias significativas. Estos valores son comparables a los reportados en la literatura y son bajos en comparación con otros aceites vegetales. Los aceites de ajonjolí común y negro presentan perfiles de ácidos grasos similares y cumplen con las normas de calidad establecidas, ofreciendo una opción saludable y funcional en la industria alimentaria. La comparación con otros aceites vegetales destaca las características únicas y beneficios potenciales del aceite de ajonjolí.

Ilustración 15:

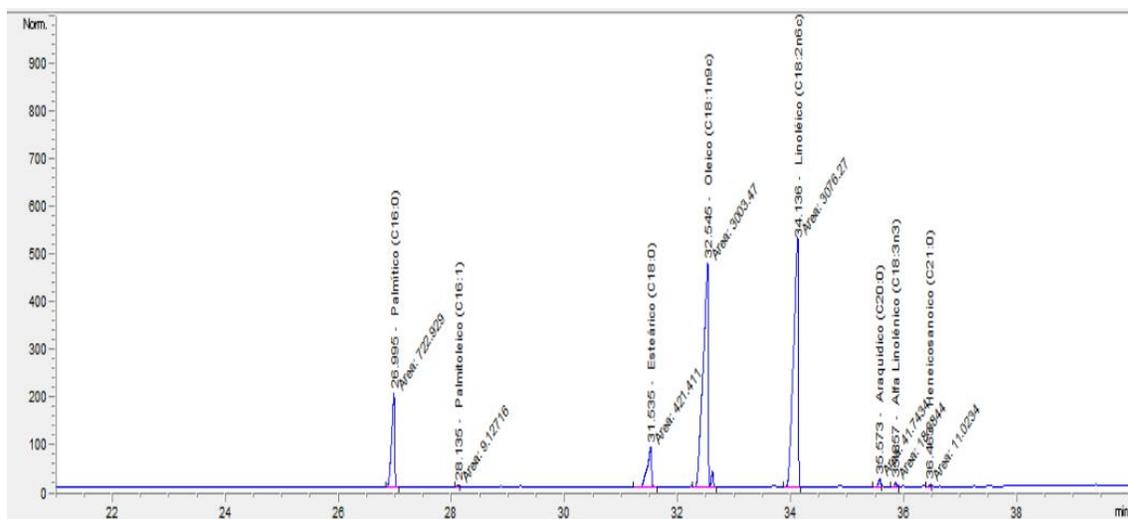
Ilustración 15. *Cromatograma de aceite de ajonjolí común.*



Fuente: elaboración propia.

Ilustración 16:

Ilustración 16. *Cromatograma de aceite de ajonjolí negro.*



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten concluir lo siguiente:

Propiedades Fisicoquímicas: Ambas variedades de ajonjolí presentan propiedades fisicoquímicas que cumplen en gran medida con los estándares de la Norma Técnica Colombiana (NTC) 256:2022, a excepción de la acidez, que fue superior al límite permitido.

Perfil de Ácidos Grasos: El ajonjolí Común presentó un mayor contenido de ácidos grasos poliinsaturados esenciales, destacándose el ácido linoleico (Omega 6).

Aplicaciones Industriales: Los aceites de ajonjolí Común y Negro muestran un gran potencial para su uso en la industria alimentaria, tanto por sus propiedades fisicoquímicas como por su perfil de ácidos grasos y por el punto de humo.

Mejor Opción: De acuerdo con los resultados, el aceite de ajonjolí Común es la mejor opción entre las dos variedades estudiadas. Esto se debe a su menor contenido de acidez, mayor contenido de ácidos grasos poliinsaturados. Estas características lo hacen más estable y adecuado para su aplicación en la industria alimentaria.

RECOMENDACIONES

- **Ampliación del Estudio Geográfico:** Sería beneficioso ampliar la investigación a otras regiones del país para evaluar si las propiedades fisicoquímicas y el perfil de ácidos grasos de las variedades de ajonjolí presentan variaciones significativas debido a las diferencias en las condiciones climáticas y de suelo.
- **Diversificación de Variedades:** Incluir otras variedades de ajonjolí cultivadas en diferentes partes de región para comparar y contrastar sus propiedades fisicoquímicas y nutricionales, permitiendo identificar las mejores opciones para diferentes aplicaciones industriales y alimentarias.
- **Análisis de Compuestos Bioactivos:** Realizar estudios más detallados sobre los compuestos bioactivos presentes en los aceites de ajonjolí.
- **Impacto Ambiental:** Investigar el impacto ambiental del cultivo de ajonjolí y la producción de aceite en comparación con otros cultivos oleaginosos. Esto podría incluir estudios sobre la sostenibilidad del cultivo de ajonjolí y su huella de carbono.
- **Desarrollo de Productos Derivados:** Explorar el desarrollo de nuevos productos alimenticios y no alimenticios derivados del aceite de ajonjolí, como cosméticos, suplementos nutricionales y productos funcionales, aprovechando sus propiedades fisicoquímicas y nutricionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

Acuña, R. (2012). Sesame (*Sesamum indicum* L.). En J. M. Jiménez (Ed.), Plantas útiles de Colombia (pp. 123-125). Bogotá, Colombia: Editorial Universidad Nacional de Colombia.

Afshar, S., Ramezan, Y., & Hosseini, S. (2022). Physical and chemical properties of oil extracted from sesame (*Sesamum indicum* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds treated with cold plasma. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 1-13.

Aglave, R. (2018). Características fisicoquímicas de las semillas de sésamo. *Semental J Med Plants*, 6 (1), 64-66.

Agronet. (2021) <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>. Tomado 20 de agosto del 2024.

Agronet. (2022) <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>. Tomado 20 de agosto del 2024.

Agronet. (2023) <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>. Tomado 20 de agosto del 2024.

Ahmad, A., Karunatilaka, D. S., Anggraini, V., & Raghunandan, M. E. (2024). Mechanical, microstructural, and environmental performance of industrial byproducts in peat reinforcement. *Construction and Building Materials*, 451(138780), 138780. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.138780>

Ahmad, S. R., & Ghosh, P. (2020). Benefits of dietary sesame seed and flaxseed to strengthen immune system during COVID-19 pandemic and prevent associated comorbidities related health risks. *Annals of phytomedicine*, 9(2). <https://doi.org/10.21276/ap.2020.9.2.5>

Alimentarius, C. (2003). Comisión del codex alimentarius. Código de Prácticas para calidad alimentos. Roma: FAO/OMS.

Amini, M., Golmakani, M., Abbasi, A y Nader, M. (2023). Effects of sesame dehulling on physicochemical and sensorial properties of its oil. *Food Science & Nutrition*, 11(10), 6596-6603.

Andargie, M., Vinas, M., Rathgeb, A., Möller, E., & Karlovsky, P. (2021). Lignans of Sesame (*Sesamum indicum* L.): A Comprehensive Review. *Molecules* (Basel, Switzerland), 26(4), 883. <https://doi.org/10.3390/molecules26040883>

Aremu, M. O., Ibrahim, H., & Bamidele, T. O. (2015). Physicochemical characteristics of the oils extracted from some Nigerian plant foods-a review. *Chemical and Process Engineering Research*, 32, 36–52.

Arias, O y Lopez, A. (2015). Estabilidad oxidativa y perfil de ácidos grasos del aceite de semilla de lino (*linum usitatissimum*) procedentes de corongo y otuzco, extraído por prensado en frío.

Aslam, F., Iqbal, S., Imran, M., Anjum, A., Gilani, S, Farooq, Z y Shariati, M. (2021). Characterization of white sesame seed oil and its bioactive components. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 10(6), e4641-e4641.

Azcona, Á. C. (2013). *Manual de nutrición y dietética. Departamento de Nutrición-M-008157.*

Badui, S. (2016). *Química de los alimentos.* México, Pearson Educación.

Ballestas, D. (2024). Sistematización de experiencias “Cuentos de Monte”: proyecto cultural con enfoque de comunicación para el desarrollo y cambio social, para la promoción del derecho a la comunicación de niños y niñas a través de la producción sonora participativa para narrar el territorio en Martín Alonso, Bolívar (Doctoral dissertation, Universidad de Cartagena).

Ballesteros, D., Álvarez, G., Morante, S., Sánchez, A. P., Ibáñez, E y Cifuentes, A. (2019). A multi-analytical platform based on pressurized-liquid extraction, in vitro assays and LC-MS/MS for the discovery of anti-proliferative compounds from olive leaves. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 411(30), 7929-7939.

Barden, L., & Decker, E. A. (2016). Lipid oxidation in low-moisture food: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(15), 2467–2482.

<https://doi.org/10.1080/10408398.2013.848833>

Bedigian, D. (2010). *Sesame: The genus Sesamum*. Boca Raton, FL: CRC Press.

Benitez, R. B., Bonilla, R. A. O., & Franco, J. M. (2016). Comparison of two sesame oil extraction methods: percolation and pressed. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(1), 10-18.

Bhat, K. V., Kumari, R., Pathak, N., & Rai, A. K. (2014). Value addition in sesame: A perspective on bioactive components for enhancing utility and profitability. *Pharmacognosy Reviews*, 8(16), 147. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.134249>

Biabaxi, AR y Pakniyat, H. 2008. Evaluación de semillas producir caracteres relacionados en Sésamo (*Sesamum indicum* L.) utilizando análisis factorial y de ruta. *Revista de Pakistán ciencias biológicas* 11(8): 1157-1160

Blandón Navarro, S. L. (2022). Importancia de las grasas y aceites en la dieta y los efectos de la operación de fritura sobre la inocuidad de los alimentos. *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 12(1), 42–52. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v12i1.14525>

Bodoira, R., Rossi, Y., Montenegro, M., Maestri, D., & Velez, A. (2017). Extraction of antioxidant polyphenolic compounds from peanut skin using water-ethanol at high pressure and temperature conditions. *The Journal of Supercritical Fluids*, 128, 57-65.

Botinestean, C., Hadaruga, N. G., Hadaruga, D. I., & Jianu, I. (2012). Fatty acids composition by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and most important physical-chemicals parameters of tomato seed oil. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 18(1), 89–94.

Calder, ordenador personal (2015). Funciones funcionales de los ácidos grasos y sus efectos en la salud humana. *Revista de nutrición parenteral y enteral*, 39, 18S-32S.

Cardenas-Toro, F. P., Alcázar-Alay, S. C., Coutinho, J. P., Godoy, H. T., Forster-Carneiro, T., & Meireles, M. A. A. (2015). Pressurized liquid extraction and low-pressure solvent extraction of carotenoids from pressed palm fiber: Experimental and economical evaluation. *Food and Bioprocess Processing*, 94, 90-100.

Castellar Ortega, G. C., Angulo Mercado, E. R., & Cardozo Arrieta, B. M. (2014). Transesterificación de aceites vegetales empleando catalizadores heterogéneos. *Prospectiva*, 12(2), 90. <https://doi.org/10.15665/rp.v12i2.293>

Chancasanampa Lara, Y., & Mucha Payano, K. J. (2019). Evaluación de la emulsión, ácidos grasos y características sensoriales en la elaboración de salchichas sustituyendo grasa por aceite vegetal.

Chandran, A. S., Suri, S., & Choudhary, P. (2023). Sustainable plant protein: an up-to-date overview of sources, extraction techniques and utilization. *Sustainable Food Technology*, 1(4), 466–483. <https://doi.org/10.1039/d3fb00003f>

Chaves Yela, J. A., Ortiz Tobar, D. P., Bahos Ordoñez, E. M., Ordoñez Forero, G. A., & Villota Padilla, D. C. (2020). Análisis del perfil de ácidos grasos y propiedades fisicoquímicas del aceite de palma de mil pesos (*Oenocarpus Bataua*). *Perspectivas en nutrición humana*, 22(2), 175-188.

Chen, J., Zhang, L., Li, Y., Zhang, N., Gao, Y., & Yu, X. (2021). The formation, determination and health implications of polar compounds in edible oils: Current status, challenges and perspectives. *Food Chemistry*, 364(130451), 130451. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130451>

Chimborazo Aucancela, E. D. (2015). Elaboración de harina de ajonjolí (*Sesamum indicum L.*), para sustituir la harina de trigo en la elaboración de galletas. Riobamba 2014 (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).

Correia Alves, E. S., Wilairatana, P., Macedo da Cruz, M. J., Campos, L. A. N. L., Lopes e Silva, M. R., Alves, D. S., Araújo, I. M., dos Santos, F. A. V., de Farias, P. A. M., Vasconcelos, E. M. G. M. de,

Siyadatpanah, A., Coutinho, H. D. M., & Figueredo, F. G. (2023). Bioactivities and ethnopharmacology of *Sesamum indicum* L seed oil. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 185(115120), 115120. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115120>

de Oliveira Cestario, A. C., Meira, K. U., Contiero, R. L., & Rosa, C. I. L. F. (2021). Quality of olive oils and olive bagasse oil and their use in thermal processes. *Research, Society and Development*, 10(2), e2310212031-e2310212031.

Dravie, E. E., Kortei, N. K., Essuman, E. K., Tettey, C. O., Boakye, A. A., & Hunkpe, G. (2020). Antioxidant, phytochemical and physicochemical properties of sesame seed (*Sesamum indicum* L). *Scientific African*, 8, e00349.

Dutta, P. C. (2012). An overview on sesame. En V. A. Parthasarathy (Ed.), *Chemistry of Plant Products* (pp. 333-362). Springer.

Elleuch, M., Besbes, S., Roiseux, O., Blecker, C., & Attia, H. (2007). Quality characteristics of sesame seeds and by-products. *Food Chemistry*, 103(2), 641–650. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.008>

Endo, Y. (2018). Analytical methods to evaluate the quality of edible fats and oils: the JOCS standard methods for analysis of fats, oils and related materials (2013) and advanced methods. *Journal of oleo science*, 67(1), 1-10.

Espinoza, U. (2021). Extracción de aceite de semillas de Aguaymanto (*Physalis peruviana*) con prensa-Expeller.

FAO (2020). Sesame. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/food/food-safety-quality/food-quality-assurance/food-composition-databases/sesame/en/>

Fischer, G., Almanza-Merchán, P. J., & Ramírez, F. (2013). Source-sink relationships in fruit species: A review. *Revista colombiana de ciencias hortícolas*, 6(2), 238–253.

<https://doi.org/10.17584/rcch.2012v6i2.1980>

Flores, M., Avendaño, V., Bravo, J., Valdés, C., Forero-Doria, O., Quitral, V., ... & Ortiz-Viedma, J. (2021). Parámetros de aceites comestibles durante los procesos de deterioro. *Revista Internacional de Ciencias de los Alimentos*, 2021 (1), 7105170.

Fondo Nacional del Ahorro. (2020). Informe de la producción de ajonjolí en Colombia. Bogotá, Colombia: Fondo Nacional del Ahorro.

Gagour, J., Hallouch, O., Asbbane, A., Bijla, L., Laknifli, A., Lee, L.-H., Zengin, G., Bouyahya, A., Sakar, E. H., & Gharby, S. (2024). A review of recent progresses on Olive oil chemical profiling, extraction technology, shelf-life, and quality control. *Chemistry & Biodiversity*, 21(4), e202301697.

<https://doi.org/10.1002/cbdv.202301697>

Gebremichael, D. E. (2017). Mejoramiento del sésamo (*Sesamum indicum* L.) en Etiopía. *Revista internacional de investigación novedosa en ciencias de la vida*. 4, 1–11.

Genovese, A., Caporaso, N., & Sacchi, R. (2021). Flavor chemistry of virgin Olive oil: An overview. *Applied Sciences (Basel, Switzerland)*, 11(4), 1639. <https://doi.org/10.3390/app11041639>

Ghafoorunissa, Hemalatha, S., & Rao, M. V. V. (2004). Sesame lignans enhance antioxidant activity of vitamin E in lipid peroxidation systems. *Molecular and cellular biochemistry*, 262, 195-202.

Gomna, A., N'Tsoukpoe, K. E., Le Pierrès, N., & Coulibaly, Y. (2019). Review of vegetable oils behaviour at high temperature for solar plants: Stability, properties and current applications. *Solar Energy Materials and Solar Cells: An International Journal Devoted to Photovoltaic, Photothermal, and Photochemical Solar Energy Conversion*, 200(109956), 109956. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2019.109956>

Gonzalez, D. M. (2023). Desarrollo de una Barra Nutricional a Base de Torta Desgrasada de Ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) como Fuente de Minerales (Doctoral dissertation, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana).

Gouveia, L., Zago, L., & Moreira, A. (2017). Physical-chemical characterization and nutritional quality of sesame oil (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Nutritional Health & Food Science*, 5(3), 1-7.

Gracia, M. (2019). Sésamo en Colombia: Producción, comercio y perspectivas. En J. M. Jiménez (Ed.), *Sésamo en Colombia: Producción, comercio y perspectivas* (pp. 1-10). Bogotá, Colombia: Editorial Universidad Nacional de Colombia.

Gracias Torres, L. Á. (2019). Establecimiento y comercialización del cultivo de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) en las condiciones del municipio de el Carmen de Bolívar. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ingenieria_agronomica/125

Guillén Sánchez, J. S. (2016). Obtención y Caracterización Físicoquímica Del Aceite de Palta Hass (*Persea americana*) extraído por método en frío (Prensado) y caliente (Soxhlet).

Gunstone, F. (2009). *Aceites y grasas en la industria alimentaria*. John Wiley e hijos.

Gunstone, F. (Ed.). (2011). *Vegetable oils in food technology: composition, properties and uses*. John Wiley & Sons.

Gunstone, FD (Ed.). (2008). *Tecnología y aplicaciones de fosfolípidos* (págs. 1-19). Bridgwater, Reino Unido: Oily Press.

Habarakada, A., Perumpuli, P. A. B. N., Thatsaranee, W. T. V., & Wanninaika, I. P. (2021). Physical, chemical, and nutritional quality parameters of three different types of oil: determination of their reusability in deep frying. *Food Research*, 5(5), 226–235. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(5\).079](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(5).079)

Harfi, M. E., Hanine, H., Rizki, H., Latrache, H., & Nabloussi, A. (2016). Effect of drought and salt stresses on germination and early seedling growth of different color-seeds of sesame (*Sesamum*

indicum). *International journal of agriculture and biology*, 18(06), 1088–1094.
<https://doi.org/10.17957/ijab/15.0145>

Hashempour-Baltork, F., Torbati, M., Azadmard-Damirchi, S., & Savage, G. P. (2016). Vegetable oil blending: A review of physicochemical, nutritional and health effects. *Trends in Food Science & Technology*, 57, 52-58. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.007>

Hassanien, M. M., Abedel-Razek, A. G., Youssef, A. M., & Hassanien, N. A. (2014). Physico-antioxidant stability of vegetable oils as affected by co-antioxidant sources of Rosemary and Sesame. *Grasas y Aceites*, 65(2), e021. <https://doi.org/10.3989/gya.097513>

Hernández-Sánchez, M., Esteban-Muñoz, A., Benítez-González, A. M., Sancho-Rodríguez, N., & Corrales-García, J. (2020). Physicochemical quality and oxidative stability of Arbequina extra virgin olive oils from Madrid. *Food Chemistry*, 333, 127459.

Hoyos, J. L. L., Ossa, M. A. P., & Castro, D. C. V. (2024). IMPACTO DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES EN LA SEGURIDAD ALIMENTARIA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO: UNA REVISIÓN. En *Tópicos Especiais em Engenharia Florestal - Volume 2* (pp. 94–112). Editora Científica Digital.

Huayhua Llusco, A. (2021). Evaluación fisicoquímica de cinco aceites de especies oleaginosas del norte de La Paz y Beni comercializados como cosméticos naturales (Doctoral dissertation).

Ibañez, C., & Huerta Chauca, D. (2015). Efecto de los antioxidantes en la estabilidad oxidativa del aceite de pescado crudo industrial.

Ibarra, J. T., Caviedes, J., Antonia, B., & Pessa, N. (Eds.). (2018). *Huertas familiares y comunitarias: cultivando soberanía alimentaria*. Ediciones UC.

Idris, IO, Mensah, EA y Gavkalova, N. (2021). La evidencia de la política en la regulación de los ácidos grasos trans en México. *Salud Pública de México*, 63 (2), 268-273.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Producción de ajonjolí en Colombia*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Jahurul, M. H. A., Zaidul, I. S. M., Norulaini, N. A. N., Sahena, F., Jinap, S., Azmir, J., ... & Omar, A. M. (2013). Cocoa butter fats and possibilities of substitution in food products concerning cocoa varieties, alternative sources, extraction methods, composition, and characteristics. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 467-476.

Jiang, K., Huang, C., Liu, F., Zheng, J., Ou, J., Zhao, D., & Ou, S. (2022). Origin and fate of acrolein in foods. *Foods (Basel, Switzerland)*, 11(13), 1976. <https://doi.org/10.3390/foods11131976>

Kapoor, B., Kapoor, D., Gautam, S., Singh, R., & Bhardwaj, S. (2021). Dietary polyunsaturated fatty acids (PUFAs): Uses and potential health benefits. *Current Nutrition Reports*, 10(3), 232–242. <https://doi.org/10.1007/s13668-021-00363-3>

Karem, S. Z., & Taha, S. S. (2024). Temperature influence variation on extracted oil yield from exported white sesame seed Characterization. *Journal of Kerbala for Agricultural Sciences*, 11(1), 194-204.

Kaya, D., & Hung, Y.-T. (2021). Advances in treatment of vegetable oil refining wastes. In *Handbook of Environmental Engineering* (pp. 325–375). Springer International Publishing.

Khidir, M.O., 1970. Correlation studies of some agronomic characters in sesame. *Expl. Agric.*, 6: 27-31.

Koocheki, A., Kadkhodaei, R., Mortazavi, S. A., Shahidi, F., & Taherian, A. R. (2016). Optimization of mucilage extraction from qodume shirazi seed (*Alyssum homolocarpum*) using response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 290-299. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1964-0>

Krajewska, M., Ślaska-Grzywna, B., & Andrejko, D. (2018). Effect of infrared thermal pre-treatment of sesame seeds (*Sesamum indicum* L.) on oil yield and quality. *Rivista Italiana Di Scienza Degli Alimenti [Italian Journal of Food Science]*, 30(3). <https://doi.org/10.14674/IJFS-1019>

Krist, S. (2020). *Vegetable fats and oils*. Springer International Publishing.

Kumar, P., Kumar, V., & Kumar, A. (2019). Quality evaluation of sesame oil. *Journal of Food Science and Technology*, 56(4), 1731-1738. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03651-4>

López, O. P., Lara, F. G., & Pérez, L. A. B. (2013). Fondo de cultura económica. Los alimentos mágicos de las culturas indígenas mesoamericanas, 197.

Lutterodt, H., Slavin, M., Whent, M., Turner, E., & Yu, L. L. (2011). Fatty acid composition, oxidative stability, antioxidant and antiproliferative properties of selected cold-pressed grape seed oils and flours. *Food Chemistry*, 128(2), 391–399. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.040>

Macías-Rodríguez, L., García-Zapateiro, L. A., Luzardo-Ocampo, I., Campos-Vega, R., Mendoza-Sánchez, S. S., Preciado-Ortiz, R., ... & Mojica, L. (2020). Effect of solvents and extraction methods on the physicochemical and functional properties of African palm kernel (*Elaeis guineensis*) oils. *OCL*, 27, 27.

Mahendra Kumar, C., & Singh, S. A. (2015). Bioactive lignans from sesame (*Sesamum indicum* L.): evaluation of their antioxidant and antibacterial effects for food applications. *Journal of Food Science and Technology*, 52(5), 2934–2941. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1334-6>

Manzocco, L., Romano, G., Calligaris, S., & Nicoli, M. C. (2020). Modeling the effect of the oxidation status of the ingredient oil on stability and Shelf Life of low-moisture bakery products: The case study of crackers. *Foods (Basel, Switzerland)*, 9(6), 749. <https://doi.org/10.3390/foods9060749>

Matthäus, B., & Özcan, M. M. (2018). Fatty acid composition and tocopherol contents of some sesame seed oils. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering (IJCCE)*, 37(5), 151-155.

Melo, D., Álvarez-Ortí, M., Nunes, M. A., Costa, A. S. G., Machado, S., Alves, R. C., Pardo, J. E., & Oliveira, M. B. P. P. (2021). Whole or defatted sesame seeds (*Sesamum indicum* L.)? The effect of cold pressing on oil and cake quality. *Foods (Basel, Switzerland)*, 10(9), 2108. <https://doi.org/10.3390/foods10092108>

Mera Bailon, M. M. (2021). Sustitución de la grasa de cerdo por pulpa de aguacate (*Persea americana* mill) en la elaboración del pastel mexicano.

Metzner Ungureanu, C.-R., Poiana, M.-A., Cocan, I., Lupitu, A. I., Alexa, E., & Moigradean, D. (2020). Strategies to improve the Thermo-oxidative stability of sunflower oil by exploiting the antioxidant potential of blueberries processing byproducts. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 25(23), 5688. <https://doi.org/10.3390/molecules25235688>

Mili, A., Das, S., Nandakumar, K., & Lobo, R. (2021). A comprehensive review on *Sesamum indicum* L.: Botanical, ethnopharmacological, phytochemical, and pharmacological aspects. *Journal of Ethnopharmacology*, 281(114503), 114503. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114503>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (Minagricultura). 2020. Tomado de la web <https://www.minagricultura.gov.co/paginas/default.aspx>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (Minagricultura). 2019. Tomado de la web <https://www.minagricultura.gov.co/paginas/default.aspx>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). Producción de ajonjolí en Colombia. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Mohamed Ahmed, I. A., Uslu, N., Musa Özcan, M., Al Juhaimi, F., Ghafoor, K., Babiker, E. E., Osman, M. A., & Alqah, H. A. S. (2021). Effect of conventional oven roasting treatment on the physicochemical quality attributes of sesame seeds obtained from different locations. *Food Chemistry*, 338(128109), 128109. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128109>

Mohammed, M. I., & Hamza, Z. U. (2008). Physicochemical properties of oil extracts from *Sesamum Indicum* L. seeds grown in Jigawa State–Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 12(2).

Montaña, J. P. G., Rodríguez, Ó. J. R., Jaramillo-Barrios, C. I., Carvajal, J. E. V., & Montoya, J. A. V. (2020). Caracterización morfológica de 160 accesiones de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) del banco de germoplasma de Colombia. *Ciencia y Agricultura*, 17(3).

Montenegro-Bonilla, D. M., Flores-Flores, N. L., Rodríguez-Lira, B. M., Arriaga-Montiel, N. I., Yáñez-Chávez, D. I., & Ramírez-Moreno, E. (2023). Análisis de los aceites vegetales y su estabilidad en la fritura. *Educación y Salud Boletín Científico de Ciencias de la Salud del ICSa*, 11(22), 58–66. <https://doi.org/10.29057/icsa.v11i22.10217>

Montoya, C., Cochard, B., Flori, A., Cros, D., Lopes, R., Cuellar, T., ... & Billotte, N. (2014). Genetic architecture of palm oil fatty acid composition in cultivated oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) compared to its wild relative *E. oleifera* (HBK) Cortés. *PloS one*, 9(5), e95412.

Mora, F. E. R., Suárez, M. A. C., Ordóñez, M. D. P. S., & Núñez, M. F. Á. (2023). Estudio de la estabilidad del aceite de ajonjolí (*Sesamum Indicum* L.) empleando antioxidantes. *Revista de Investigación Talentos*, 10(2), 29–40.

Morales, C. O. (2020). Origen, historia natural y usos de las plantas introducidas en Costa Rica. *UNED Research Journal*, 12(2), e3098. <https://doi.org/10.22458/urj.v12i2.3098>

Mostashari, P., & Mousavi Khaneghah, A. (2024). Sesame seeds: A nutrient-rich superfood. *Foods* (Basel, Switzerland), 13(8). <https://doi.org/10.3390/foods13081153>

Mozaffarian, D. (2006). Ácidos grasos trans: efectos sobre la inflamación sistémica y la función endotelial. *Suplementos de aterosclerosis*, 7 (2), 29-32.

Mudawi, A. A., & Marouf, A. A. (2022). Impact of Single Wavelength (532 nm) Irradiation on the Physicochemical Properties of Sesame Oil. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, 10(4), 1-15.

Muhammad, A., Ayub, M., Zeb, A., Wahab, S., & Khan, S. (2013). Physicochemical analysis and fatty acid composition of oil extracted from olive fruit. *Food Science and Quality Management*, 19(1), 1–6.

Nduka, J. K. C., Omozuwa, P. O., & Imanah, O. E. (2021). Effect of heating time on the physicochemical properties of selected vegetable oils. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(4), 103063. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103063>

Norma Técnica Colombiana (1980). Industrias Alimentarias. Grano de ajonjolí (sésamo) para uso industrial (NTC 536:2023. Novena Edición) <https://www.icontec.org/>

Norma Técnica Colombiana (2002). Grasas y aceites animales y vegetales. Determinación del Índice de refracción. (NTC 289:2002) <https://www.icontec.org/>

Norma Técnica Colombiana (2011). Grasas y aceites vegetales y animales. Determinación del índice de acidez y de la acidez. (NTC 218:2011) <https://www.icontec.org/>

Norma Técnica Colombiana (2014). Grasas y aceites animales y vegetales. Cromatografía de gases de esteres metílicos de ácidos grasos. Parte 2: Preparación de esteres metílicos de ácidos grasos. (NTC 4967:2014) <https://www.icontec.org/>

Norma Técnica Colombiana (2016). Grasas y aceites animales y vegetales. Método de la determinación de la densidad (masa por volumen convencional. (NTC 336:2016) <https://www.icontec.org/>

Norma Técnica Colombiana (2019). Grasas y aceites animales y vegetales - Determinación del índice de saponificación. NTC 335:2019. <https://www.icontec.org/>

Norma Técnica Colombiana (2019). Grasas y aceites vegetales y animales. Determinación del índice de yodo. (NTC 283:2019) <https://www.icontec.org/>

Nwakodo, CS, Udensi, EA y Chukwu, M. (2020). Efecto de los métodos de procesamiento y tiempo de almacenamiento sobre las características físicas del aceite de palma. Disponible en SSRN 3517478.

Observatorio Agropecuario. (s.f.). Producción y área sembrada de ajonjolí en Colombia, 2012-2021. Consultado el 20 de junio de 2024, de <https://www.observatorioagropecuario.gov.co/produccion-agropecuaria/produccion-agropecuaria/produccion-y-area-sembrada-de-ajonjoli-en-colombia-2012-2021/>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2008). Capítulo 9: Macronutrientes: carbohidratos, grasas y proteínas. <https://www.fao.org/4/w0073s/w0073s0d.htm>

Osawa, CC, Gonçalves, LAG y Ragazzi, S. (2007). Correlación entre ácidos grasos libres de aceites vegetales evaluados mediante pruebas rápidas y por el método oficial. *Revista de análisis y composición de alimentos*, 20 (6), 523-528.

P.E. Dim, S.E. Adebayo and J.J. Musa. (2012). Extraction and Characterization of Oil from Sesame seed. *Journal of Engineering Research*, Volume 17 No. 4 December 2012.

Palla, C. A., & Carrin, M. E. (2014). O% Trans: interesterificación y fraccionamiento como estrategias tecnológicas.

Paucar-Menacho, L. M., Salvador-Reyes, R., Guillén-Sánchez, J., Capa-Robles, J., & Moreno-Rojo, C. (2015). Estudio comparativo de las características físico-químicas del aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), aceite de oliva (*Olea europaea*) y aceite crudo de pescado. *Scientia Agropecuaria*, 6(4), 279–290.

Pérez-Bolaños, J. D. J., & Salcedo-Mendoza, J. G. (2018). Componentes del rendimiento en cultivares de ajonjolí *Sesamum indicum* L. (Pedaliaceae), en el departamento de Sucre (Colombia). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 19(2), 263–276.

Piedrasanta, e. j. g. (2018) " extracción y caracterización fisicoquímica del aceite de sésamo (*Sesamum indicum*) guatemalteco, de la región de retalhuleu, de las semillas comerciales natural y descortezada a nivel laboratorio".

Pusadkar, P. P., Kokiladevi, E., Bonde, S. V., & Mohite, N. R. (2015). Sesame (*Sesamum indicum* L.) importance and its high quality seed oil: a review. *TRENds in biosciences*, 8(15), 3900–3906.

Quispe, M. C. (2020). Evaluación de extractos de *lepechinia meyenii* y ácido rosmarínico como antioxidantes naturales para el aceite virgen de *sacha inchi*.

Rabail, R., Shabbir, M. A., Sahar, A., Miecznikowski, A., Kieliszek, M., & Aadil, R. M. (2021). An intricate review on nutritional and analytical profiling of coconut, flaxseed, Olive, and sunflower oil blends. *Molecules* (Basel, Switzerland), 26(23), 7187. <https://doi.org/10.3390/molecules26237187>

Rafiq, M., Lv, Y. Z., Zhou, Y., Ma, K. B., Wang, W., Li, C. R., & Wang, Q. (2015). Use of vegetable oils as transformer oils – a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 308–324. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.032>

Rahman, M. M., Islam, M. S., & Hossain, M. A. (2021). Fatty acid composition and nutritional quality of sesame oil. *Journal of Food Science and Technology*, 58(2), 447-455. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04559-x>

Ramírez Botero, C. M., Gómez Ramírez, B. D., Martínez Galán, J. P., & Cardona Zuleta, L. M. (2014). Perfil de ácidos grasos en aceites de cocina de mayor venta en Medellín-Colombia. *Perspectivas en Nutrición Humana*, 16(2), 175-185.

Ramos Escudero, F. (2014). Caracterización y trazabilidad del aceite de *sacha Inchi*.

Ramos, L., & Veliz Gutarate, Y. L. (2022). Efecto del prensado en frío y extracción termomecánica sobre las propiedades fisicoquímicas del aceite de *copra* de *Cocos nucifera*.

Reboredo-Rodríguez, P., González-Barreiro, C., Cancho-Grande, B., Valli, E., Bendini, A., Toschi, T. G., & Simal-Gándara, J. (2015). Characterization of virgin olive oils produced with autochthonous Galician varieties. *Food Chemistry*, 176, 493-503.

Rey, L. (1999). Recursos genéticos y mejoramiento. En L. Rey, E. Barragán, P. P. Herrera, E. Echeverry, A. Henao, M. D. Lozano, L. E. Gómez, R. Simmonds, H. L. Vargas, & N. Sánchez (eds.), *El cultivo de ajonjolí, producción y utilización* (p. 200). Corpoica, Regional 6

Rifna, E. J., Pandiselvam, R., Kothakota, A., Subba Rao, K. V., Dwivedi, M., Kumar, M., Thirumdas, R., & Ramesh, S. V. (2022). Advanced process analytical tools for identification of adulterants in edible oils – A review. *Food Chemistry*, 369(130898), 130898. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130898>

Rodriguez-Amaya, D. B., & Shahidi, F. (2021). Oxidation of lipids. En *Chemical Changes During Processing and Storage of Foods* (pp. 125–170). Elsevier.

Rondanini, D. P., Castro, D. N., Searles, P. S., & Rousseaux, M. C. (2014). Contrasting patterns of fatty acid composition and oil accumulation during fruit growth in several olive varieties and locations in a non-Mediterranean region. *European journal of agronomy*, 52, 237-246.

Rubalya Valentina, S. (2021). Measurement of dielectric constant: A recent trend in quality analysis of vegetable oil - A review. *Trends in Food Science & Technology*, 113, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.026>

Ruiz Mora, F. E. (2022). Extracción, caracterización e índice de estabilidad del aceite de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) a diferentes condiciones de inhibición oxidativa (Master's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Maestría en Química).

Ruiz-Samblás, C., González-Casado, A., & Cuadros-Rodríguez, L. (2015). Triacylglycerols determination by high-temperature gas chromatography in the analysis of vegetable oils and foods: A

review of the past 10 years. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(11), 1618–1631. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.713045>

Saini, R. K., & Keum, Y.-S. (2018). Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: Dietary sources, metabolism, and significance — A review. *Life Sciences*, 203, 255–267. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2018.04.049>

Salas Ortiz, J. A., & Vargas Aparcana, S. S. (2021). Determinación de los cambios fisicoquímicos del aceite comestible por tratamiento térmico.

Sankhyan, S., Zabinski, K., O'Brien, R. E., Coyan, S., Patel, S., & Vance, M. E. (2022). Aerosol emissions and their volatility from heating different cooking oils at multiple temperatures. *Environmental Science: Atmospheres*, 2(6), 1364–1375. <https://doi.org/10.1039/d2ea00099g>

Shahidi, F., Liyana-Pathirana, C. M., & Wall, D. S. (2006). Antioxidant activity of white and black sesame seeds and their hull fractions. *Food Chemistry*, 99(3), 478-483. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.08.009>

Shakir, T. (2013). Una exploración de los mecanismos potenciales y el potencial traduccional de cinco plantas medicinales para aplicaciones en la enfermedad de Alzheimer. *American Journal of Neurodegenerative Disease*, 2(2).

Sharma, L., Saini, C. S., Punia, S., Nain, V., & Sandhu, K. S. (2021). Sesame (*Sesamum indicum*) seed. In *Oilseeds: Health Attributes and Food Applications* (pp. 305–330). Springer Singapore.

Sivaranjani, S., Jayasree Joshi, T., Singh, S. M., & P Srinivasa, R. (2024). A comprehensive review of the mechanism, changes, and effect of deep fat frying on the characteristics of restructured foods. *Food Chemistry*, 450(139393), 139393. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139393>

Stejskal, V., Vendl, T., Aulicky, R., & Athanassiou, C. (2021). Synthetic and natural insecticides: Gas, liquid, gel and solid formulations for stored-product and food-industry pest control. *Insects*, 12(7), 590. <https://doi.org/10.3390/insects12070590>

Stodtko, T. N., & Dahl, W. J. (2017). Datos sobre grasas y aceites: FSHN16-3S/FS292, 4/2017. EDIS, 2017(3), 5-5.

Stolp, L. J., & Kodali, D. R. (2022). Naturally occurring high-oleic oils: Avocado, macadamia, and olive oils. En *High Oleic Oils* (pp. 7–52). Elsevier.

Tan, C. H., Ghazali, H. M., Kuntom, A., Tan, C. P., & Ariffin, A. A. (2017). Extraction and physicochemical properties of low free fatty acid crude palm oil. *Food Chemistry*, 113(2), 645-650.

Tan, C. P., & Nehdi, I. A. (2012). The physicochemical properties of palm oil and its components. In *Palm oil* (pp. 377-391). AOCS Press.

Tasan, M., Gecgel, U., & Demirci, M. (2011). Effects of storage and industrial oilseed extraction methods on the quality and stability characteristics of crude sunflower oil (*Helianthus annuus* L.). *Grasas y aceites*, 62(4), 389-398.

Tejada, J. (2018). Producción de sésamo en Colombia. En J. M. Jiménez (Ed.), *Producción y comercio de sésamo en Colombia* (pp. 1-5). Bogotá, Colombia: Editorial Universidad Nacional de Colombia.

Ujong, A. E., Emelike, N. J. T., Owuno, F., & Okiyi, P. N. (2023). Effect of frying cycles on the physical, chemical and antioxidant properties of selected plant oils during deep-fat frying of potato chips. *Food Chemistry Advances*, 3(100338), 100338. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100338>

Villamarin Álvarez, J. M. (2023). Evaluación de la composición química y actividad antioxidante del aceite de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) (Bachelor's thesis).

Villarreal, M. (2019). Diseño de membrana interfacial para alimentos emulsionados como fuente de ácidos grasos poliinsaturados (Doctoral dissertation).

Wei, P., Zhao, F., Wang, Z., Wang, Q., Chai, X., Hou, G., & Meng, Q. (2022). Sesame (*Sesamum indicum* L.): A comprehensive review of nutritional value, phytochemical composition, health benefits,

development of food, and industrial applications. *Nutrients*, 14(19), 4079.
<https://doi.org/10.3390/nu14194079>

Xin, L., Hu, M., Ma, X., Wu, S., Yoong, J. H., Chen, S., Tarmizi, A. H. A., & Zhang, G. (2022). Selection of 12 vegetable oils influences the prevalence of polycyclic aromatic hydrocarbons, fatty acids, tocol homologs and total polar components during deep frying. *Journal of Food Composition and Analysis: An Official Publication of the United Nations University, International Network of Food Data Systems*, 114(104840), 104840. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104840>

Xu, T., Yang, R., Hua, X., Zhao, W., Tong, Y., & Zhang, W. (2019). Improvement of the yield and flavour quality of sesame oil from aqueous extraction process by moisture conditioning before roasting. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(2), 471–479.
<https://doi.org/10.1111/ijfs.13959>

Yin, W., Washington, M., Ma, X., Yang, X., Lu, A., Shi, R., Zhao, R., & Wang, X. (2020). Consumer acceptability and sensory profiling of sesame oils obtained from different processes. *Grain & Oil Science and Technology*, 3(2), 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2020.04.001>

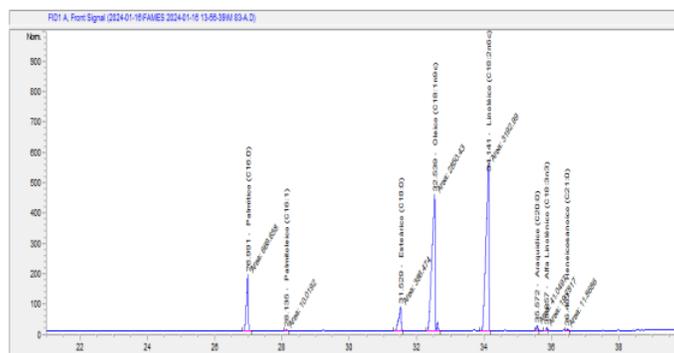
Zubenko, S. O., & V.P. Kukhar Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry, National Academy of Sciences of Ukraine. (2021). The simple method of vegetable oils and oleochemical products acid value determination. *Catalysis and Petrochemistry*, 31, 69–74.
<https://doi.org/10.15407/kataliz2021.31.069>

Anexos

Anexo 1. Cromatograma por triplicado de aceite de ajonjolí común y negro

Ilustración 17:

Cromatograma 1. Aceite de ajonjolí común A.

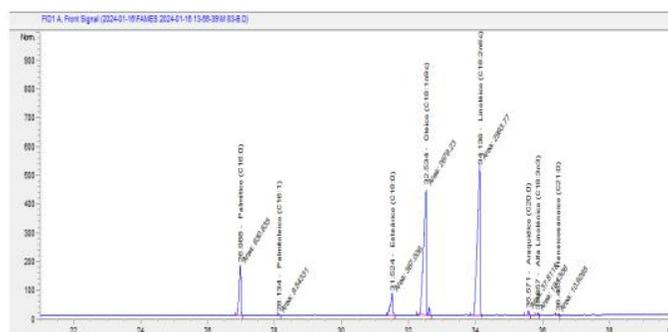


Name	RT	Area	Peak_AreaPerce	Height	Amount	Unit
Palmitico (C16:0)	26,991	669,658	9.32	184,7069	0	
Palmítico (C16:1)	28,135	10,0192	0.14	3,4878	0	
Estearico (C18:0)	31,529	386,4745	5.38	78,2331	0	
Oleico (C18:1n9c)	32,539	2850,4307	39.69	447,6209	0	
Linoleico (C18:2n6c)	34,141	3192,9905	44.46	548,6361	0	
Araquidico (C20:0)	35,572	41,0497	0.57	15,3696	0	
Alfa Linolenico (C18:3n3)	35,857	19,7817	0.28	7,5668	0	
Heneicosanoico (C21:0)	36,463	11,8686	0.17	4,4389	0	

Fuente: elaboración propia.

Ilustración 18:

Cromatograma 2. aceite de ajonjolí común B.

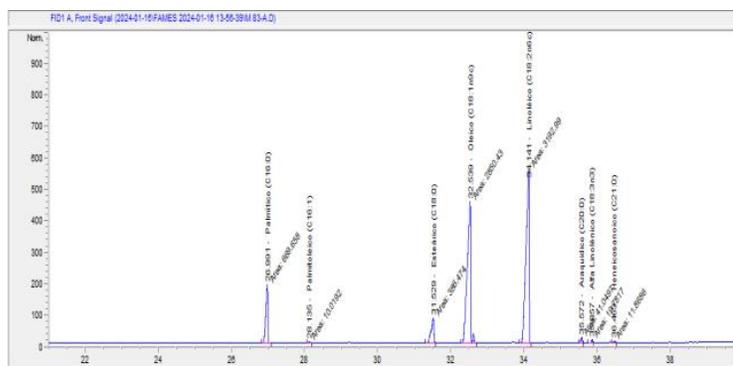


Name	RT	Area	Peak_AreaPerce	Height	Amount	Unit
Palmitico (C16:0)	26,988	630,6345	9.36	174,0087	0	
Palmítico (C16:1)	28,134	9,5433	0.14	3,4103	0	
Estearico (C18:0)	31,524	367,0062	5.45	75,9559	0	
Oleico (C18:1n9c)	32,534	2679,2341	39.76	443,4633	0	
Linoleico (C18:2n6c)	34,136	2993,7725	44.43	533,7873	0	
Araquidico (C20:0)	35,571	37,8118	0.56	14,5031	0	
Alfa Linolenico (C18:3n3)	35,857	19,1306	0.28	7,1842	0	
Heneicosanoico (C21:0)	36,463	10,9265	0.16	4,1008	0	

Fuente: elaboración propia.

Ilustración 19:

Cromatograma 3. aceite de ajonjolí común C.

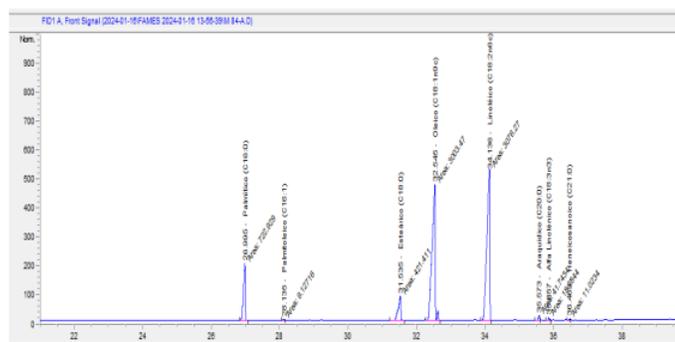


Name	RT	Area	Peak_AreaPerce	Height	Amount	Unit
Palmitico (C16:0)	26,991	669,658	9,34	184,7069	0	
Palmíticoico (C16:1)	28,135	10,0192	0,14	3,4878	0	
Estearico (C18:0)	31,529	386,4745	5,42	78,2331	0	
Oleico (C18:1n9c)	32,539	2850,4307	39,73	447,6209	0	
Linoleico (C18:2n6c)	34,141	3192,9905	44,45	548,6361	0	
Araquidico (C20:0)	35,572	41,0497	0,57	15,3696	0	
Alfa Linolenico (C18:3n3)	35,857	19,7817	0,28	7,5668	0	
Heneicosanoico (C21:0)	36,463	11,8686	0,17	4,4389	0	

Fuente: elaboración propia.

Ilustración 20:

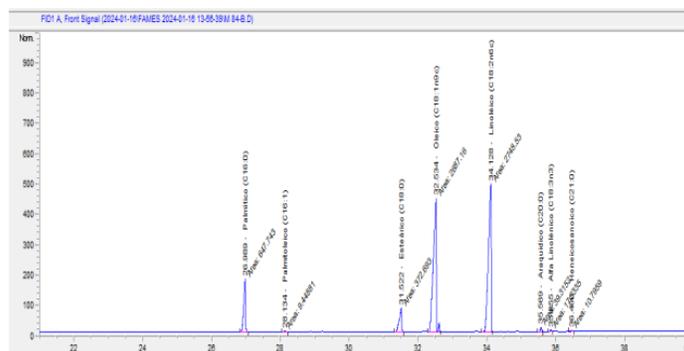
Cromatograma 4. aceite de ajonjolí negro A.



Name	RT	Area	Peak_AreaPerce	Height	Amount	Unit
Palmitico (C16:0)	26,995	722,9293	9,90	193,9589	0	
Palmíticoico (C16:1)	28,135	9,1272	0,12	3,8466	0	
Estearico (C18:0)	31,535	421,4106	5,77	81,3931	0	
Oleico (C18:1n9c)	32,545	3003,4712	41,12	466,4604	0	
Linoleico (C18:2n6c)	34,136	3076,2744	42,12	520,9496	0	
Araquidico (C20:0)	35,573	41,7434	0,57	16,109	0	
Alfa Linolenico (C18:3n3)	35,857	18,3844	0,25	7,0372	0	
Heneicosanoico (C21:0)	36,463	11,0234	0,15	4,4635	0	

Fuente: elaboración propia.

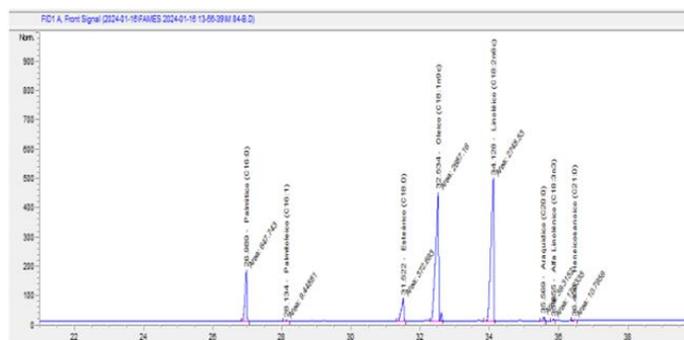
Ilustración 21:

Cromatograma 5. aceite de ajonjolí negro B.

Name	RT	Area	Peak_AreaPerce	Height	Amount	Unit
Palmitico (C16:0)	26,989	647,7431	9,92	175,4209	0	
Palmítico (C16:1)	28,134	9,4488	0,14	3,5456	0	
Estearico (C18:0)	31,522	372,6935	5,71	76,6964	0	
Oleico (C18:1n9c)	32,534	2687,1628	41,13	440,8697	0	
Linoléico (C18:2n6c)	34,128	2748,5281	42,07	487,1928	0	
Araquídico (C20:0)	35,569	39,3152	0,60	14,5905	0	
Alfa Linoléico (C18:3n3)	35,855	17,0335	0,26	6,4318	0	
Heneicosanoico (C21:0)	36,46	10,7959	0,17	4,0999	0	

Fuente: elaboración propia.

Ilustración 22:

Cromatograma 6. aceite de ajonjolí negro C.

Name	RT	Area	Peak_AreaPerce	Height	Amount	Unit
Palmitico (C16:0)	26,989	647,7431	9,91	175,4209	0	
Palmítico (C16:1)	28,134	9,4488	0,13	3,5456	0	
Estearico (C18:0)	31,522	372,6935	5,74	76,6964	0	
Oleico (C18:1n9c)	32,534	2687,1628	41,13	440,8697	0	
Linoléico (C18:2n6c)	34,128	2748,5281	42,1	487,1928	0	
Araquídico (C20:0)	35,569	39,3152	0,59	14,5905	0	
Alfa Linoléico (C18:3n3)	35,855	17,0335	0,26	6,4318	0	
Heneicosanoico (C21:0)	36,46	10,7959	0,16	4,0999	0	

Fuente: elaboración propia.

Anexos 2. Pruebas estadísticas realizada

Tabla 12:

Tabla 12. *Análisis de varianza de un factor ácido palmítico.*

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Común	3	28,02	9,34	0,0004
Negro	3	29,73	9,91	1E-04

ANÁLISIS DE

VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,48735	1	0,48735	1949,4	1,5735E-06	7,708647422
Dentro de los grupos	0,001	4	0,00025			
Total	0,48835	5				

Fuente propia.

Tabla 13:

Tabla 13. *Análisis de varianza de un factor ácido palmitoleico.*

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Común	3	0,42	0,14	0
Negro	3	0,39	0,13	0,0001

ANÁLISIS DE

VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,00015	1	0,00015	3	0,15830242	7,708647422
Dentro de los grupos	0,0002	4	5E-05			
Total	0,00035	5				

Fuente propia.

Tabla 14:

Tabla 14. *Análisis de varianza de un factor ácido esteárico.*

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Común	3	16,25	5,416666667	0,001233333
Negro	3	17,22	5,74	0,0009

ANÁLISIS DE
VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,156816667	1	0,156816667	147,015625	0,00026545	7,708647422
Dentro de los grupos	0,004266667	4	0,001066667			
Total	0,161083333	5				

Fuente propia.

Tabla 15:

Tabla 15. *Análisis de varianza de un factor ácido oleico.*

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Común	3	119,18	39,72666667	0,00123333
Negro	3	123,38	41,12666667	3,3333E-05

ANÁLISIS DE
VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	2,94	1	2,94	4642,10526	2,78034E-07	7,708647422

Dentro de los grupos	0,002533333	4	0,000633333
Total	2,942533333	5	

Fuente propia.

Tabla 16:

Tabla 16. *Análisis de varianza de un factor ácido linoleico.*

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Común	3	133,34	44,44666667	0,000233333
Negro	3	126,29	42,09666667	0,000633333

ANÁLISIS DE

VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	8,28375	1	8,28375	19116,34615	1,64131E-08	7,708647422
Dentro de los grupos	0,001733333	4	0,000433333			
Total	8,285483333	5				

Fuente propia.

Tabla 17:

Tabla 17. Análisis de varianza de un factor ácido araquídico.

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Común	3	1,7	0,566666667	3,33333 E-05
Negro	3	1,76	0,586666667	0,00023 3333

ANÁLISIS DE

VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,0006	1	0,0006	4,5	0,10119 1507	7,708647422
Dentro de los grupos	0,000533333	4	0,000133333			
Total	0,001133333	5				

Fuente propia.

Tabla 18:

Tabla 18. Análisis de varianza de un factor ácido α -linoleico.

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Común	3	0,84	0,28	0
Negro	3	0,77	0,256666667	3,33333 E-05

ANÁLISIS DE
VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,000816667	1	0,000816667	49	0,00219 213	7,708647422
Dentro de los grupos	6,66667E-05	4	1,66667E-05			
Total	0,000883333	5				

Fuente propia.

Tabla 19:

Tabla 19. Análisis de varianza de un factor ácido Heneicosanoico.

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
				<i>a</i>

Común	3	0,5	0,166666667	3,33333 E-05
Negro	3	0,48	0,16	0,0001

ANÁLISIS DE
VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	6,66667E-05	1	6,66667E-05	1	0,37390 0966	7,708647422
Dentro de los grupos	0,000266667	4	6,66667E-05			
Total	0,000333333	5				

Fuente propia.

Tabla 20:

Tabla 20. *Análisis de varianza de un factor Humedad.*

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
				<i>a</i>
Común	3	0,13	0,043333333	3,33333 E-05
Negro	3	0,14	0,046666667	3,33333 E-05

ANÁLISIS DE
VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1,66667E-05	1	1,66667E-05	0,5	0,518518519	7,708647422
Dentro de los grupos	0,000133333	4	3,33333E-05			
Total	0,00015	5				

Fuente propia.

Tabla 21.

Tabla 21. Análisis de varianza de un factor Grasa.

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Común	3	154,7	51,56666667	0,469233333
Negro	3	153,09	51,03	0,0169

ANÁLISIS DE

VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,432016667	1	0,432016667	1,777358749	0,253335203	7,708647422
Dentro de los grupos	0,972266667	4	0,243066667			
Total	1,404283333	5				

Fuente propia.

Tabla 22:

Tabla 22. Análisis de varianza de un factor Grasa saturada.

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Común	3	23,84	7,946666667	0,01103333
Negro	3	25,11	8,37	0,0004

ANÁLISIS DE
VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,268816667	1	0,268816667	47,0233236	0,002367726	7,708647422
Dentro de los grupos	0,022866667	4	0,005716667			
Total	0,291683333	5				

Fuente propia.

Tabla 23:

Tabla 23. Análisis de varianza de un factor Grasa monoinsaturadas.

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Común	3	61,68	20,56	0,0729
Negro	3	63,16	21,05333333	0,003033333

ANÁLISIS DE
VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,365066667	1	0,365066667	9,615452151	0,036190246	7,708647422

Dentro de los			
grupos	0,151866667	4	0,037966667
Total	0,516933333	5	

Fuente propia.

Tabla 24:

Tabla 24. Análisis de varianza de un factor Grasa Poliinsaturadas.

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Común	3	69,19	23,06333333	0,093033333
Negro	3	64,84	21,61333333	0,003033333

ANÁLISIS DE

VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	3,15375	1	3,15375	65,65752949	0,001261024	7,708647422
Dentro de los grupos	0,192133333	4	0,048033333			
Total	3,345883333	5				

Fuente propia.

Tabla 25:

Tabla 25. *Análisis de varianza de un factor índice de yodo.*

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Común	3	324,32	108,1066667	0,000233333
Negro	3	318,13	106,0433333	0,005633333

ANÁLISIS DE

VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	6,386016667	1	6,386016667	2177,051136	1,26208E-06	7,708647422
Dentro de los grupos	0,011733333	4	0,002933333			
Total	6,39775	5				

Fuente propia.

Tabla 26:

Tabla 26. *Análisis de varianza de un factor índice de refracción.*

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Común	3	4,413	1,471	0
Negro	3	4,41	1,47	0

ANÁLISIS DE
VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1,5E-06	1	1,5E-06	65535	#¡DIV/0!	7,708647422
Dentro de los grupos	0	4	0			
Total	1,5E-06	5				

Fuente propia.

Tabla 27

Tabla 27. Análisis de varianza de un factor densidad.

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Común	3	2,744	0,914666667	3,33333E-07
Negro	3	2,75	0,916666667	7,23333E-05

ANÁLISIS DE
VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	6E-06	1	6E-06	0,165137615	0,705271763	7,708647422

Dentro de los			
grupos	0,000145333	4	3,63333E-05
Total	0,000151333	5	

Fuente propia.

Tabla 28:

Tabla 28. Análisis de varianza de un factor índice de saponificación.

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Común	3	560,2	186,7333333	0,330633333
Negro	3	565,74	188,58	22,7529

ANÁLISIS DE
VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados		Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
		de libertad	de				
Entre grupos	5,115266667	1		5,115266667	0,44319616	0,542009872	7,708647422
Dentro de los grupos	46,16706667	4		11,54176667			
Total	51,28233333	5					

Fuente propia.

Tabla 29:

Tabla 29. Análisis de varianza de un factor índice de acidez.

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Común	3	3,807	1,269	0

Negro	3	12,549	4,183	0,006627
-------	---	--------	-------	----------

ANÁLISIS DE
VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	12,737094	1	12,737094	3844	4,05351E-07	7,708647422
Dentro de los grupos	0,013254	4	0,0033135			
Total	12,750348	5				

Fuente propia.

Tabla 30:

Tabla 30. Análisis de varianza de un factor punto de humo.

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Común	3	549,7	183,2333333	159,8633333
Negro	3	493,4	164,4666667	270,4433333

ANÁLISIS DE
VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	528,2816667	1	528,2816667	2,455372912	0,192189501	7,708647422
Dentro de los grupos	860,6133333	4	215,1533333			
Total	1388,895	5				

Fuente propia.