

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS,

ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

MAESTRÍA EN QUÍMICA, MENCIÓN QUÍMICA-FÍSICA

**Tema:**

“EXTRACCIÓN, CARACTERIZACIÓN E ÍNDICE DE ESTABILIDAD DEL  
ACEITE DE AJONJOLÍ (*Sesamum indicum L.*) A DIFERENTES CONDICIONES  
DE INHIBICIÓN OXIDATIVA”

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado académico de Magister en  
Química, Mención Química-Física

Modalidad de titulación proyecto de desarrollo

**Autora:** Ing. Fátima Elizabeth Ruiz Mora

**Director:** Ing. Manolo Alexander Córdova Suárez Mg.

**Ambato – Ecuador**

**2022**

## APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial.

El Tribunal receptor de la Defensa del Trabajo de Titulación presidido por la Ingeniera Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Magíster e integrado por los señores: Licenciada Noroska Gabriela Salazar Mogollón PhD. y el Químico Lander Vinicio Pérez Aldás, Magíster. Designados por la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “Extracción, caracterización e índice de estabilidad del aceite de ajonjolí (*Sesamum indicum L.*) a diferentes condiciones de inhibición oxidativa”, elaborado y presentado por la Ingeniera Fátima Elizabeth Ruiz Mora, para optar por el Grado Académico de Magister en Química, Mención Química Física; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la Universidad Técnica de Ambato.

.....

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.  
Presidente y Miembro del Tribunal de Defensa

.....

Lic. Noroska Gabriela Salazar Mogollón PhD.  
Miembro del Tribunal de Defensa

.....

Quím. Lander Vinicio Pérez Aldás, Mg.  
Miembro del Tribunal de Defensa

## **AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: “Extracción, caracterización e índice de estabilidad del aceite de ajonjolí (*Sesamum indicum L.*) a diferentes condiciones de inhibición oxidativa”, le corresponde exclusivamente a la Ing. Fátima Elizabeth Ruiz Mora, autora bajo la dirección del Ing. Manolo Alexander Córdova Suárez Mg., director del trabajo de titulación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

.....

Ing. Fátima Elizabeth Ruiz Mora

**AUTORA**

.....

Ing. Manolo Alexander Córdova Suárez Mg.

**DIRECTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el trabajo de titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos de mi trabajo de titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad Técnica de Ambato.

.....  
Ing. Fátima Elizabeth Ruiz Mora

1804004511

## INDICE GENERAL

Contenido	
<b>PORTADA</b> .....	i
<b>APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b> .....	ii
<b>AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b> .....	iii
<b>DERECHOS DE AUTOR</b> .....	iv
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	viii
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	xi
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	xiii
<b>DEDICATORIA</b> .....	xiv
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b> .....	xv
<b>EXECUTIVE SUMMARY</b> .....	xvi
<b>CAPITULO I</b> .....	1
<b>EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	1
<b>1.1 Introducción</b> .....	1
<b>1.2 Justificación</b> .....	2
<b>1.3 Objetivos:</b> .....	3
<b>1.4 Hipótesis</b> .....	4
<b>CAPITULO II</b> .....	5
<b>ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS</b> .....	5
<b>2.1 Sésamo o Ajonjolí</b> .....	5
<b>2.1.2 Principales países productores</b> .....	5
<b>2.1.3 Sitios productores en el Ecuador</b> .....	5
<b>2.1.4 Importancia Económica</b> .....	5
<b>2.2. Semillas de ajonjolí</b> .....	6
<b>2.3 Aceites de origen vegetal</b> .....	7
<b>2.3.1 Composición del aceite vegetal</b> .....	7
<b>2.4 Aceite de Ajonjolí</b> .....	11
<b>2.5 Extracción del aceite de ajonjolí</b> .....	12
<b>2.6 Oxidación Lipídica</b> .....	13
<b>2.7 Antioxidantes</b> .....	14
<b>2.7.1 Antioxidantes Sintéticos</b> .....	14
<b>2.7.2 Antioxidantes Naturales</b> .....	15
<b>CAPITULO III</b> .....	16
<b>METODOLOGÍA</b> .....	16

<b>3.1 Materias Primas</b> .....	16
<b>3.2 Reactivos</b> .....	16
<b>3.3 Materiales</b> .....	16
<b>3.4 Equipos</b> .....	17
<b>3.5 Procedimiento</b> .....	17
<b>3.5.1. Extracción del aceite de ajonjolí</b> .....	17
<b>3.5.2 Análisis fisicoquímico del aceite de ajonjolí</b> .....	18
<b>3.5.3 Calidad nutricional del aceite de ajonjolí</b> .....	20
<b>3.6 Determinación de la estabilidad oxidativa del aceite de ajonjolí</b> .....	23
<b>3.7 Almacenamiento del aceite de ajonjolí a temperatura ambiente</b> .....	25
<b>3.8 Análisis estadístico</b> .....	25
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	26
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	26
<b>4.1 Rendimiento de la extracción de aceite de ajonjolí (<i>Sesamum indicum</i>)</b> .....	26
<b>4.2 Análisis de parámetros fisicoquímicos</b> .....	27
<b>4.3 Identificación y cuantificación de ácidos grasos del aceite de ajonjolí.</b> .....	31
<b>4.4 Estabilidad oxidativa del aceite de ajonjolí y determinación del mejor tratamiento</b> .....	38
<b>CAPÍTULO V</b> .....	45
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	45
<b>5.1 Conclusiones</b> .....	45
<b>5.2 Recomendaciones</b> .....	46
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	47
<b>ANEXOS</b> .....	52
<b>Anexo 1.</b> Resultados a diferentes temperaturas obtenido del equipo OXITEST con antioxidante BHT a diferentes concentraciones. ....	52
<b>Anexo 2:</b> Tablas de análisis estadísticos de la vida útil del aceite de ajonjolí con antioxidante BHT.....	52
<b>Anexo 3.</b> Resultados a diferentes temperaturas obtenido del equipo OXITEST con antioxidante alfa-tocoferol a diferentes concentraciones.....	54
<b>Anexo 4:</b> Tablas de análisis estadísticos de la vida útil del aceite de ajonjolí con antioxidante Alfa-tocoferol.....	55
<b>Anexo 5:</b> Tablas de análisis estadísticos de la vida útil del aceite de ajonjolí con alfa-tocoferol y BHT .....	56
<b>Anexo 6:</b> Análisis de Varianza de los análisis Fisicoquímicos con Alfa-tocoferol. ..	57
<b>Anexo 7:</b> Análisis de Varianza de los análisis Fisicoquímicos con BHT. ....	62
<b>Anexo 8:</b> Análisis de Varianza de ACIDOS GRASOS con BHT.....	67

<b>Anexo 9:</b> Análisis de Varianza de ACIDOS GRASOS con ALFA-TOCOFEROL ..	69
<b>Anexo 10.</b> Fotografías del análisis OXITEST a diferentes concentraciones de antioxidante en el aceite de ajonjolí.....	73

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación botánica de la semilla de ajonjolí ( <i>Sesamum indicum</i> L.) .....	5
Tabla 2. Composición química de la semilla de ajonjolí en 100 g. ....	6
Tabla 3. Tipos de Ácidos Grasos Saturados .....	8
Tabla 4. Tipos de ácidos grasos monoinsaturados. ....	9
Tabla 5. Perfil de lipídico del aceite de ajonjolí. ....	12
Tabla 6. Tratamientos de conservación del aceite de ajonjolí con alfa-tocoferol (Vitamina E) .....	23
Tabla 7. Tratamientos de conservación del aceite de ajonjolí con Butilhidroxitolueno BHT .....	23
Tabla 8. Datos del rendimiento de extracción del aceite de ajonjolí. ....	26
Tabla 9. Resultados promedio de los Análisis Físicoquímico del aceite de ajonjolí.....	28
Tabla 10. Especificaciones del aceite de ajonjolí .....	28
Tabla 11. Especificaciones del aceite de ajonjolí, según la Norma Internacional de Alimentos CODEX para aceites vegetales .....	29
Tabla 12. Datos obtenidos de los diferentes ácidos grasos de los aceites de ajonjolí con y sin almacenamiento con alfa tocoferol. ....	34
Tabla 13. Datos obtenidos de los diferentes ácidos grasos de los aceites de ajonjolí con y sin almacenamiento con BHT.....	36
Tabla 14. Tiempo de conservación (Vida útil en meses) del aceite de ajonjolí con adición de tres porcentajes de alfa-tocoferol. ....	39
Tabla 15. Tiempo de conservación (días) del aceite de ajonjolí con adición de dos porcentajes de BHT. ....	43
Tabla 16. Valores IP del aceite de ajonjolí obtenido del equipo Oxitest y vida útil con BHT .....	52
Tabla 17. Análisis de Varianza para VIDA ÚTIL - Suma de Cuadrados Tipo III.....	53
Tabla 18. Pruebas de Múltiple Rangos para VIDA ÚTIL por TRATAMIENTOS .....	53
Tabla 19. Valores IP del aceite de ajonjolí obtenido del equipo Oxitest y vida útil con alfa-tocoferol. ....	54
Tabla 20. Análisis de Varianza para VIDA ÚTIL (MESES) - Suma de Cuadrados Tipo III .....	55
Tabla 21. Pruebas de Múltiple Rangos para VIDA ÚTIL (MESES) por TRATAMIENTOS .....	56
Tabla 22. Pruebas de Múltiple Rangos para VIDA ÚTIL (MESES) por TRATAMIENTOS .....	56
Tabla 23. Análisis de Varianza para ÍNDICE DE PERÓXIDO - Suma de Cuadrados Tipo III.....	57
Tabla 24. Pruebas de Múltiple Rangos para ÍNDICE DE PERÓXIDO por TRATAMIENTOS .....	58



Tabla 25. Análisis de Varianza para ACIDEZ - Suma de Cuadrados Tipo III .....	58
Tabla 26. Pruebas de Múltiple Rangos para ACIDEZ por TRATAMIENTOS .....	59
Tabla 27. Análisis de Varianza para ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN - Suma de Cuadrados Tipo III.....	59
Tabla 28. Pruebas de Múltiple Rangos para ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN por TRATAMIENTOS .....	60
Tabla 29. Análisis de Varianza para ÍNDICE DE REFRACCIÓN - Suma de Cuadrados Tipo III.....	60
Tabla 30. Análisis de Varianza para ÍNDICE DE YODO - Suma de Cuadrados Tipo III .....	61
Tabla 31. Pruebas de Múltiple Rangos para ÍNDICE DE YODO por TRATAMIENTOS .....	61
Tabla 32. Análisis de Varianza para ÍNDICE DE PERÓXIDO - Suma de Cuadrados Tipo III.....	62
Tabla 33. Pruebas de Múltiple Rangos para ÍNDICE DE PERÓXIDO por TRATAMIENTOS .....	62
Tabla 34. Análisis de Varianza para ÍNDICE DE ACIDEZ - Suma de Cuadrados Tipo III .....	63
Tabla 35. Pruebas de Múltiple Rangos para ÍNDICE DE ACIDEZ por TRATAMIENTOS .....	63
Tabla 36. Análisis de Varianza para ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN - Suma de Cuadrados Tipo III.....	64
Tabla 37. Pruebas de Múltiple Rangos para INDICE DE SAPONIFICACION por TRATAMIENTOS .....	64
Tabla 38. Análisis de Varianza para ÍNDICE DE REFRACCIÓN - Suma de Cuadrados Tipo III.....	65
Tabla 39. Pruebas de Múltiple Rangos para ÍNDICE DE REFRACCIÓN por TRATAMIENTOS .....	65
Tabla 40. Análisis de Varianza para ÍNDICE DE YODO - Suma de Cuadrados Tipo III .....	66
Tabla 41. Pruebas de Múltiple Rangos para ÍNDICE DE YODO por TRATAMIENTOS .....	66
Tabla 42. Análisis de Varianza para AG POLIINSATURADOS - Suma de Cuadrados Tipo III.....	67
Tabla 43. Análisis de Varianza para AG MONOINSATURADOS - Suma de Cuadrados Tipo III.....	68
Tabla 44. Pruebas de Múltiple Rangos para AG MONOINSATURADOS por TRATAMIENTOS .....	68
Tabla 45. Análisis de Varianza para AG SATURADOS - Suma de Cuadrados Tipo III .....	68

Tabla 46. Análisis de Varianza para AG SATURADOS - Suma de Cuadrados Tipo III .....	69
Tabla 47. Pruebas de Múltiple Rangos para AG SATURADOS por TRATAMIENTOS .....	69
Tabla 48. Análisis de Varianza para AG MONOINSATURADOS - Suma de Cuadrados Tipo III.....	70
Tabla 49. Análisis de Varianza para AG POLIINSATURADOS - Suma de Cuadrados Tipo III.....	71
Tabla 50. Pruebas de Múltiple Rangos para AG POLIINSATURADOS por TRATAMIENTOS .....	71

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química de un ácido graso .....	7
Figura 2. Estructura de un ácido graso saturado (Ácido Palmítico).....	8
Figura 3. Estructura química de un ácido graso monoinsaturado (Ácido Oleico) .....	9
Figura 4. Estructura química de dos ácidos grasos poliinsaturado (Ácido linoleico y Ácido linolénico).....	10
Figura 5. OXITEST VELD SCIENTIFIC.....	24
Figura 6. Ingreso de datos al equipo OXITEST .....	24
Figura 8. Cromatograma aceite de ajonjolí con 0,05% de afta-tocoferol después de 4 meses. ....	32
Figura 9. Cromatograma aceite de ajonjolí con 0,02% de BHT después de 4 meses. .	32
Figura 10. Evaluación de la conservación del aceite de ajonjolí control sin antioxidante. .....	40
Figura 11. Evaluación de la conservación del aceite de ajonjolí con 0,05% de alfa- tocoferol.....	41
Figura 12. Evaluación de la conservación del aceite de ajonjolí con 0,02% de BHT. ...	43
Figura 13. Relación de la vida útil del aceite de ajonjolí con antioxidante BHT.....	53
Figura 14. Resultado del equipo OXITEST en el análisis de vida útil del aceite de ajonjolí a 100 °C.....	54
Figura 15. Resultado del equipo OXITEST en el análisis de vida útil del aceite de ajonjolí a 100 °C con alfa-tocoferol .....	55
Figura 16. Relación de la vida útil del aceite de ajonjolí con antioxidante Alfa-tocoferol. .....	56
Figura 18. Relación del índice de peróxido por el mejor tratamiento de alfa-tocoferol.	58
Figura 19. Relación del índice de acidez por el mejor tratamiento de alfa-tocoferol....	59
Figura 20. Relación del índice de saponificación por el mejor tratamiento de alfa- tocoferol.....	60
Figura 21. Relación del índice de refracción por el mejor tratamiento de alfa-tocoferol	61
Figura 22. Relación del índice de yodo por el mejor tratamiento de alfa-tocoferol.....	62
Figura 23. Relación del índice de peróxido por el mejor tratamiento de BHT .....	63
Figura 24. Relación del índice de acidez por el mejor tratamiento de BHT .....	64
Figura 25. Relación del índice de saponificación por el mejor tratamiento de BHT ....	65
Figura 26. Relación del índice de refracción con el mejor tratamiento de BHT .....	66
Figura 27. Relación del índice de yodo con el mejor tratamiento de BHT .....	67
Figura 28. Relación AG POLIINSATURADOS con el mejor tratamiento de BHT.....	67
Figura 29. Relación AG MONOINSATURADOS con el mejor tratamiento de BHT ..	68

Figura 30. Relación AG SATURADOS con el mejor tratamiento de BHT .....	69
Figura 31. Relación AG SATURADOS con el mejor tratamiento de alfa - tocoferol...	70
Figura 32. Relación AG MONOINSATURADOS con el mejor tratamiento de alfa - tocoferol.....	71
Figura 33. Relación AG POLIINSATURADOS con el mejor tratamiento de alfa – tocoferol.....	72

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Técnica de Ambato, a la Facultad de Ingeniería en Sistemas y Electrónica; por la oportunidad de Titularme como una profesional de cuarto nivel.

A mi tutor de Tesis, Ing. Manolo Córdova Mg. por su asesoramiento y guía en el presente trabajo.

Al Ing. Mario Álvarez, por su tiempo, orientación y dedicación en el presente tema de tesis.

A la Ing. Mónica Silva, Directora del Proyecto Canje de Deuda Ecuador – España HCU 0939-CU-P2016, por su orientación en el presente trabajo de investigación.

## **DEDICATORIA**

A mi esposo Danilo, a mi preciosa hija Karen, quienes son mi inspiración, apoyo y me motivan a seguir y alcanzar mis proyectos de vida.

Dios les bendiga siempre.

Fátima Ruiz

*“ El éxito es la suma de pequeños esfuerzos repetidos día a día ”*

*Robert Collier*

## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

### FACULTAD INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

#### MAESTRÍA EN QUÍMICA, MENCIÓN QUÍMICA-FÍSICA

**TEMA:** “EXTRACCIÓN, CARACTERIZACIÓN E ÍNDICE DE ESTABILIDAD DEL ACEITE DE AJONJOLÍ (*Sesamum Indicum L.*) A DIFERENTES CONDICIONES DE INHIBICIÓN OXIDATIVA”

**AUTORA:** Ing. Fátima Elizabeth Ruiz Mora.

**DIRECTOR:** Ing. Manolo Alexander Córdova Suárez, Mg.

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Producción Agro-Alimentaria Limpia.

**FECHA:** Enero, 07 del 2022

#### RESUMEN EJECUTIVO

El sésamo (*Sesamum indicum*) (ajonjolí) de la familia de las pedaliáceas, posee un alto contenido de ácido oleico (omega 9), y ácido linoleico (omega 6), ácidos grasos considerados esenciales, que son suministrados por la dieta y utilizado como sustituto del aceite de oliva. La presente investigación evalúa la estabilidad oxidativa del aceite de ajonjolí, utilizando para ello dos antioxidantes: uno natural (alfa-tocoferol) y un sintético butilhidroxitolueno (BHT) a diferentes concentraciones: 0,01%, 0,03% y 0,05% para el primer antioxidante y 0,01%, 0,02% para el BHT, comprobando que el mejor tratamiento utilizando el antioxidante alfa-tocoferol fue de concentración 0,05% con un tiempo de conservación de 43,46 meses y para el BHT a una concentración de 0,02% de 38,13 meses, así mismo a una temperatura promedio de 15°C; después de obtener el mejor tratamiento se evaluaron los parámetros fisicoquímicos antes y después de 4 meses, obteniendo valores de índice de peróxidos de 5,08±0,05 control, 11,7 ±0,025 control después de 4 meses, 4,59±0,015 con 0,05% alfa-tocoferol a 4 meses y 4,57±0,03 con 0,02% BHT, demostrando que los antioxidantes añadidos mantiene la estabilidad del aceite. En lo que corresponde al índice de acidez, yodo, saponificación y refracción antes y después de los tratamientos se encuentran dentro de los valores que establece la Norma Ecuatoriana NTE INEN 8:2012. Finalmente se cuantifico el contenido de ácidos grasos siendo los principales el Ácido Oleico 33,37±0,01% y Linoleico con 50,97±0,02%, obteniendo un producto apto para el consumo humano.

**Palabras Claves:** Ajonjolí, antioxidantes, estabilidad oxidativa.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL**

**MAESTRÍA EN QUÍMICA, MENCIÓN QUÍMICA-FÍSICA**

**THEME:** "EXTRACTION, CHARACTERIZATION AND STABILITY INDEX OF CHAMOMILE OIL (*Sesamum Indicum L.*) UNDER DIFFERENT CONDITIONS OF OXIDATIVE INHIBITION".

**AUTHOR:** Ing. Fátima Elizabeth Ruiz Mora.

**DIRECTOR:** Ing. Manolo Alexander Córdova Suárez, Mg.

**LINE OF RESEARCH:** Clean Agro-Food Production.

**DATE:** January 7th, 2022

**EXECUTIVE SUMMARY**

Sesame (*Sesamum indicum*) (sesame) of the pedaliaceae family, has a high content of oleic acid (omega 9) and linoleic acid (omega 6), fatty acids considered essential, which are supplied by the diet and used as a substitute for olive oil. The present research evaluates the oxidative stability of sesame oil, using two antioxidants: one natural (alpha-tocopherol) and one synthetic butylated hydroxytoluene (BHT) at different concentrations: 0.01%, 0.03% and 0.05% for the first antioxidant and 0.01%, 0.02% for the BHT, proving that the best treatment using the alpha-tocopherol antioxidant was of concentration 0.05% with a shelf life of 43.46 months and for the BHT at a concentration of 0.02% 38.13 months, also at an average temperature of 15°C; After obtaining the best treatment, the physicochemical parameters were evaluated before and after 4 months, obtaining peroxide index values of 5.08±0.05 control, 11.7±0.025 control after 4 months, 4.59±0.015 with 0.05% alpha-tocopherol at 4 months and 4.57±0.03 with 0.02% BHT, demonstrating that the added antioxidants maintain the stability of the oil. The acidity, iodine, saponification and refraction indexes before and after the treatments are within the values established by the Ecuadorian Standard NTE INEN 8:2012. Finally, the fatty acid content was quantified, the main ones being Oleic Acid 33.37±0.01% and Linoleic Acid with 50.97±0.02%, obtaining a product suitable for human consumption.

**Key words:** Sesame, antioxidants, oxidative stability.



## CAPITULO I

### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Introducción

En los últimos años se ha incrementado el consumo de aceites vegetales por sus características saludables, aportes nutricionales, contenido de ácidos grasos esenciales, omega 3 y 6, vitaminas y antioxidantes [37]. Bajo estas características se encuentra el ajonjolí.

El ajonjolí o sésamo (*Sesamum indicum L.*), es considerado uno de los cultivos más antiguo e importante para la humanidad [31] Su producción anual en países como Sudan en el 2019, que sobrepasa los 6,5 millones de toneladas [22]. En América, el país que con mayor producción de semillas de alta calidad es Guatemala. En Ecuador, se cultiva en lugares cálidos como: Babahoyo, Portoviejo, entre otros [36].

Las semillas, conjuntamente con su aceite, son alimentos consumidos a nivel mundial por sus características nutricionales, que se puede obtener por prensado en frío de las semillas [22].

La semilla de ajonjolí posee un sinnúmero de beneficios para la salud por ser fuentes de minerales, vitamina E, Vitamina A, ácidos grasos (Omega 3 y 6), convirtiéndolo en un antioxidante importante [36].

En lo que corresponde al aceite, tiene muchísimos usos culinarios por su aroma, color y sabores agradables, que permiten el uso en ensaladas y aperitivos [22]. El contenido de aceite de ajonjolí se encuentra entre el 57 – 63 %, y el de proteína entre 23 –25 %. Además, está conformado por ácido linoleico poliinsaturado entre 35 % y el 50 % y ácido oleico entre 35 % y el 50 % [19].

El aceite de ajonjolí es utilizado como sustituto del aceite de oliva, porque no se solidifica a 0 °C y por contener un alto contenido de ácidos grasos insaturados alrededor del 85 %, ayudando a reducir el colesterol y problemas coronarios, contiene vitamina E que ayuda a mantener la piel joven [27].

El aceite de ajonjolí presenta una gran estabilidad a la oxidación por los antioxidantes que contiene (sesamol, semolina y sesamina), también tocoferoles (446mg/kg), brindándole gran estabilidad oxidativa [30].

El alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, hace que el aceite sea propenso a sufrir un deterioro oxidativo, destruyendo los ácidos grasos esenciales y dando lugar a la generación de compuestos tóxicos y polímeros oxidados [34], que pueden generar problemas de salud como el cáncer, enfermedades cardiovasculares y hasta alergias [33].

Por esta razón, para suprimir la oxidación de los aceites y eliminar los radicales libres, para convertirlos en una forma más estable, se utilizan compuestos sintéticos, como el Butilhidroxianisol (BHA), el butilhidroxitolueno (BHT), la terbutilhidroquinona (TBHQ), antioxidantes más utilizados en el procesamiento de aceite. Se considera que el contenido de BHT y BHA no deben superar los 200 ppm, puesto que una dosis elevada puede generar problemas de salud, como daños pulmonares o desarrollar tumores en el estómago [33].

Por tales motivos que se están investigando el uso de antioxidantes naturales como el tocoferol, el palmitato de ascórbico, entre otros [33].

En este sentido, la presente investigación se centró en la evaluación de la estabilidad oxidativa del aceite de ajonjolí, obtenido por el método de prensado en frío, para ello se utilizaron dos antioxidantes, uno natural alta-tocoferol y otro sintético BHT a diferentes concentraciones, para comparar su efectividad, después de 4 meses, mediante la determinación de sus características fisicoquímicas (índice de peróxidos, índice de acidez, índice de refracción, índice de saponificación, índice de yodo) antes y después de 4 meses del mejor tratamiento. También se realizó la cuantificación de ácidos grasos para así conocer la calidad del aceite.

## **1.2 Justificación**

El ajonjolí o sésamo (*Sesamum indicum L*), es una de las semillas más ricas en aceite, siendo un producto estacional, con un ciclo de cosecha 75 a 90 días [26], su cultivo ha adquirido gran importancia económica en nuestro país, principalmente de consumo humano, las semillas se espolvorean sobre el pan o galletas, es un aditivo en los cereales y en la cocina e incluso un porcentaje es utilizado en la industria de jabones, pinturas, lubricantes, cosméticos y productos para el cuidado de la piel [26]. Los lugares productores de ajonjolí en Ecuador, que se cultiva grandes cantidades de esta semilla son: en la Costa en la provincia de Manabí por los sectores de Pedro Carbo, Jipijapa, 24 de Mayo, Paján; en la sierra en los sectores de San José de Chimbo (a 20 Km de Guaranda),

en los alrededores de Chillanes en la provincia del Bolívar, también en la provincia del Tungurahua al noroeste de Ambato en Píllaro, Patate, Quero, Mocha y Tisaleo [15].

Las semillas de ajonjolí poseen un contenido promedio de 50% de aceite y 25% de proteína. El Aceite Virgen al ser prensado en frío dependiendo de la semilla tiene un color amarillo pálido, contiene una acidez libre, entre 0,2% a 0,65% oleico [5]; al ser comparado con otros aceites vegetales, contiene una importante materia insaponificable (2%), fitoesteroles, alcoholes triterpénicos, tocoferoles y lignanos (sesamina y sesamolina), proporcionándole una estabilidad oxidativa superior [22].

Por su importancia económica y la gran cantidad de aceite que contiene las semillas, se han realizado diversas investigaciones para conocer su valor nutricional y la cantidad de ácidos grasos que contiene, la presente investigación propone estudiar la estabilidad del aceite de ajonjolí (*Sesamum indicum*), utilizando para ello dos antioxidantes alfa-tocoferol y Butilhidroxitolueno, para incrementar su tiempo de vida útil en anaquel solucionando el problema de conservación durante el transporte y comercialización, mejorando así el ingreso económico de la comunidad productora de aceite.

### **1.3 Objetivos:**

#### **1.3.1 General**

- Evaluar el índice de la estabilidad del aceite de ajonjolí (*Sesamum indicum L.*) a diferentes condiciones de inhibición oxidativa.

#### **1.3.2 Específicos**

- Extraer el aceite de ajonjolí mediante el método de prensado en frío.
- Caracterizar el aceite de ajonjolí por métodos físico - químicos.
- Determinar la estabilidad oxidativa del aceite de ajonjolí a diferentes concentraciones de antioxidantes (alfa- tocoferol y Butilhidroxitolueno).
- Analizar los cambios que ocurren en el contenido de ácidos grasos durante 4 meses de almacenamiento de aceite de ajonjolí provenientes del mejor tratamiento de estabilidad oxidativa.

## **1.4 Hipótesis**

### **1.4.1 Hipótesis Nula**

- El uso del antioxidante alfa-tocoferol y Butilhidroxitolueno no afecta la estabilidad oxidativa del aceite de ajonjolí (*Sesamum indicum L.*) extraído por el método de prensado en frío.

### **1.4.2 Hipótesis Alternativa**

- El uso del antioxidante alfa-tocoferol y Butilhidroxitolueno afecta la estabilidad oxidativa del aceite de ajonjolí (*Sesamum indicum L.*) extraído por el método de prensado en frío.

#### **Decisión Estadística:**

- “p” > 0,05                    **Se acepta Ho**
- “p” < 0,05                    **Se rechaza Ho**

## **1.5 Descripción de variables**

### **1.5.1 Variables Independientes**

- Concentración de alfa-tocoferol vitamina E
- Concentración de Butilhidroxitolueno

### **1.5.2 Variable dependiente**

- Estabilidad oxidativa del aceite del aceite de ajonjolí (*Sesamum indicum L.*)

## CAPITULO II

### ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

#### 2.1 Sésamo o Ajonjolí

El sésamo (*Sesamum indicum*), de la familia de las pedaliáceas, llega a medir un metro y medio de altura aproximadamente, con hojas anchas de 1 a 5 centímetros y de 3 a 7 centímetros de largo, se observan flores solitarias de color blanquecino y un fruto con una longitud de 5 centímetros [13]

**Tabla1.** Clasificación botánica de la semilla de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.)

CALCIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
REINO	Viridiplantae
CLASE	Dicotyledonae
ORDEN	Scrophlariales
FAMILIA	Pedaliaceae
GENERO	Sesamiun
ESPECIE	S. Indicum L.

Fuente: Cortez y Sánchez (2017)

#### 2.1.2 Principales países productores

Se cultiva en muchos países como Birmania (Myanmar), India, Sudán y China que corresponden al 60% de la producción mundial, las principales áreas del cultivo del ajonjolí se encuentran en México, Ecuador, Honduras y Egipto [16]

#### 2.1.3 Sitios productores en el Ecuador.

Los lugares productores de ajonjolí en Ecuador, que cultivan en grandes cantidades esta semilla se encuentran en la provincia de Manabí por los sectores de Pedro Carbo, Jipijapa, 24 de Mayo, Paján; en la Sierra San José de Chimbo (a 20 Km de Guaranda), en los alrededores de Chillanes (provincia del Bolívar), también en la provincia del Tungurahua al noroeste de Ambato en Píllaro, Patate; otros poblados agrícolas como Quero, Mocha y Tisaleo, con gran riqueza agrícola [15]

#### 2.1.4 Importancia Económica

El cultivo de ajonjolí ha adquirido gran importancia económica en nuestro país, principalmente en el consumo humano, como aditivo en los cereales y en la cocina e

incluso un porcentaje es utilizado en la industria de jabones, pinturas, lubricantes, cosméticos y productos para el cuidado de la piel [15]

## 2.2. Semillas de ajonjolí

Las semillas son pequeñas de color gris, miden de 2 a 4 mm de longitud y 1 a 2 mm de ancho, se encuentran recubiertas de una testa, que protege al endospermo, siendo fuente de nutrientes en la etapa de germinación de la semilla [1]

Es considerada la segunda leguminosa más importante, ya que es fuente de aceites y grasas [2], contienen ácidos grasos mono saturados, insaturados, poliinsaturados, fibra, calcio, hierro, zinc, potasio, fósforo, tiamina, niacina, vitamina B6, folatos, magnesio y vitamina E, como se muestra en la tabla 2 y un contenido promedio en la semilla que corresponde al aceite un 50 % y el 25% de proteína [8]

**Tabla 2.** Composición química de la semilla de ajonjolí en 100 g.

<b>Componentes</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>
<b>Energía</b>	614	Kcal
<b>Proteínas</b>	18.2	g
<b>Lípidos totales</b>	58	g
<b>AG saturados</b>	8.3	g
<b>AG monoinsaturados</b>	1.7	g
<b>AG polinsaturados</b>	25.5	g
<b>Fibra</b>	7.9	g
<b>Agua</b>	15	g
<b>Vitaminas y minerales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>
<b>Calcio</b>	670	mg
<b>Hierro</b>	10.4	mg
<b>Zinc</b>	5.3	mg
<b>Fosforo</b>	720	mg

<b>Vitamina A</b>	1	µg
<b>Vitamina E</b>	2.53	mg

Fuente: Cortez y Sánchez (2017)

Poseen un sabor a nuez, contiene dos sustancias que permiten regular el colesterol, que son sesamolina y sesamin, también niacina que permite la prevención del envejecimiento [2].

Además, es fuente de minerales como calcio que ayuda a la formación de huesos y dientes, el hierro que desempeña importantes funciones para el organismo y el zinc que participa en el metabolismo de los hidratos de carbono, grasas y proteínas, contiene gran cantidad de fibra beneficioso para la regulación de la función intestinal [14]

### 2.3 Aceites de origen vegetal

El aceite vegetal es un compuesto orgánico que se encuentra en las semillas u otras partes de la planta, no contienen colesterol, posee una gran cantidad de vitaminas y ácidos grasos esenciales, ayudando a evitar el riesgo de enfermedades cardiovasculares [5]

#### 2.3.1 Composición del aceite vegetal

##### 2.3.1.1 Ácidos grasos (AG)

Los ácido grasos son biomoléculas derivadas de los lípidos, son ácidos débiles debido a su constitución, un grupo metilo y un grupo carboxílico en cada extremo, son de cadena abierta, que se encuentran divididos en tres grupos: saturados, monoinsaturados y poliinsaturados [28].

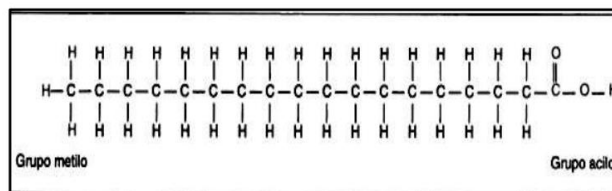


Figura 1. Estructura química de un ácido graso

Fuente: Cortez y Sánchez (2017)

##### 2.3.1.1.1 Ácidos grasos saturados (AGS)

Es una cadena lineal de átomos de carbonos unidos por enlaces sencillos, que no contienen enlaces dobles [5].

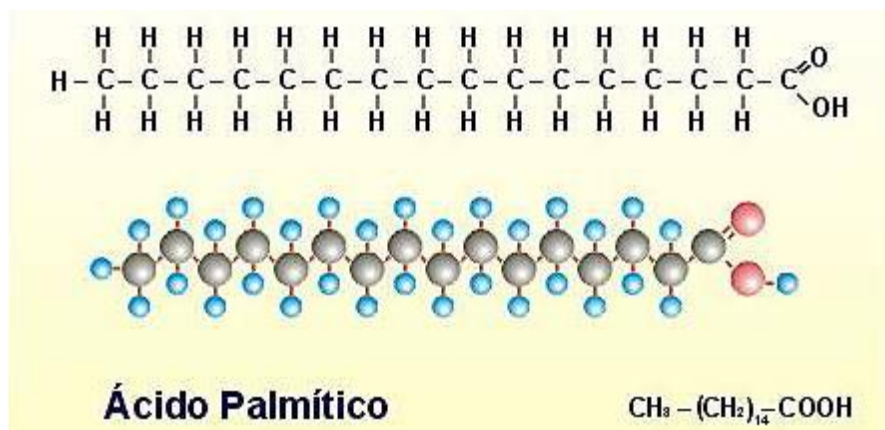


Figura 2. Estructura de un ácido graso saturado (Ácido Palmítico)

Fuente: Cortez y Sánchez (2017)

Se clasifican de acuerdo con la longitud de la cadena: corta –menor de 6 carbonos-, media –entre 6 a 10 carbonos- y larga – igual a 12 carbonos o mayor. En la tabla 3 se muestra los tipos ácidos grasos saturados [5].

**Tabla 3.** Tipos de Ácidos Grasos Saturados

Número de Carbonos	Nombre Común	Nombre Sistemático	Fórmula
4	Butírico	Butanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$
6	Caproico	Hexanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$
8	Caprílico	Octanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$
10	Capríco	Decanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$
12	Laurico	Dodecanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$
14	Mirístico	Tetradecanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$
16	Palmítico	Hexadecanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
18	Esteárico	Octadecanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$
20	Araquídico	Eicosanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$
22	Behénico	Docosanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$
24	Lignocérico	Tetracosanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{COOH}$

Fuente: Cortez y Sánchez (2017)

Los ácidos grasos saturados son sólidos a temperatura ambiente, son considerados los más resistentes a la luz, calor y oxidación por acción del oxígeno [5].



Un ejemplo de ácido graso saturado es el esteárico, que se encuentra presente en aceites, grasas vegetales y animales, considerado el menos nocivo de los ácidos grasos saturados porque su absorción no es fácil para el cuerpo humano [28].

### 2.3.1.1.2 Ácidos monoinsaturados (AGM)

Son aquellos ácidos grasos de cadena carbonada porque poseen una sola insaturación en su estructura y se caracteriza por tener un solo doble enlace carbono-carbono ( $-\text{CH}=\text{CH}-$ ). En la naturaleza existen cientos de ácidos grasos monoinsaturados cis, el más común es el ácido oleico (OA) u omega 9. [7]

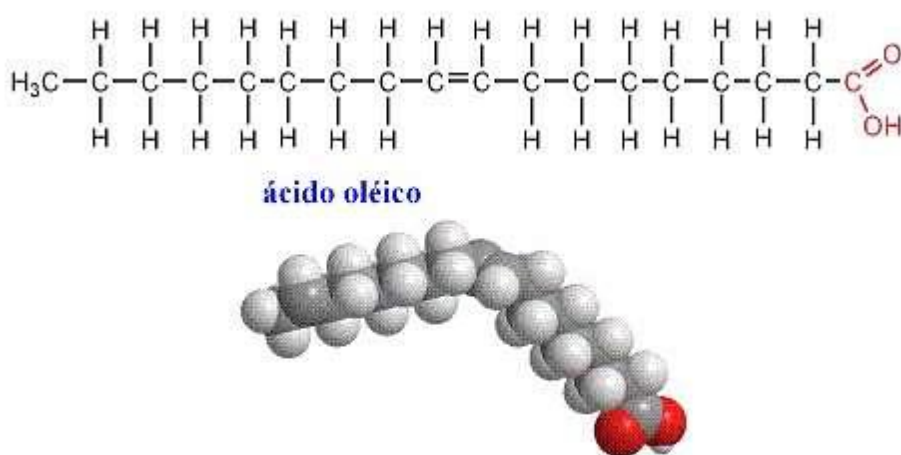


Figura 3. Estructura química de un ácido graso monoinsaturado (Ácido Oleico)

Fuente: Cortez y Sánchez (2017)

Las grasas monoinsaturadas pueden ayudar a prevenir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, ayudan a rebajar los niveles altos de colesterol y es recomendado en el tratamiento nutricional de pacientes con cáncer de mama. [5]

En la tabla 4. se muestra los tipos de ácidos grasos monoinsaturados.

**Tabla 4.** Tipos de ácidos grasos monoinsaturados.

Número de Carbonos	Nombre Común	Nombre Sistemático	Fórmula
16	Palmitoleico	9cis-Hexadecaenoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
18	Oleico	9cis-Octadecaenoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
18	Elaidico	9trans-Octadecaenoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$

20	Gadoleico	9cis-Eicosaenoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_9\text{COOH}$
20	Gondoico	11cis-Eicosaenoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_9\text{COOH}$
22	Erucico	13cis-Docosaenoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$

Fuente: Cortez y Sánchez (2017)

### 2.3.1.1.3 Ácidos poliinsaturados (AGP)

Los ácidos grasos poliinsaturados estructuralmente están formados con más de dos dobles enlaces separados por un grupo metileno y de configuración cis, pueden dividirse en 12 familias diferentes [5].

El ácido linoleico (LA) de fórmula química  $\text{COOH}(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$  es considerado el ácido graso esencial primario o generador de la familia n-6, considerado importante para la salud, puesto que puede prevenir el cáncer y la aterosclerosis [28].

De la familia de la omega 6, encontramos el ácido linoleico 18:2n-6 (LA), y el ácido araquidónico 20:4n-6(AA); de la familia de la omega 3, encontramos el ácido Linolénico 18:3n-3(ALA), el ácido eicosapentanoico 20:5n-3 (EPA) y el docosahexanoico 22:6n-3(DHA), siendo estos los principales ácidos grasos poliinsaturados [5].

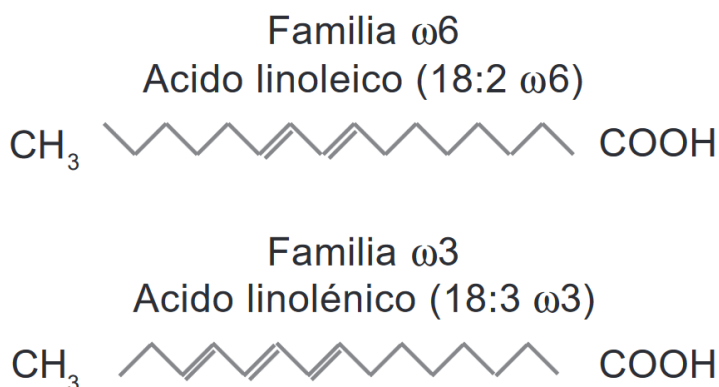


Figura 4. Estructura química de dos ácidos grasos poliinsaturado (Ácido linoleico y Ácido linolénico)

Fuente: Ronayde (2000)

### **2.3.2 Compuestos fenólicos**

Los fenoles son compuestos orgánicos bioactivos mas importantes presentes en la dieta humana, responsables de la mayoría de las características organolépticas (color, sabor, olor) y estabilidad ante la oxidación [29].

Estructuralmente están formados por al menos un grupo fenol, un anillo aromático unido a un grupo funcional [5].

Entre los más representativos se encuentran los ácidos fenólicos como el ácido cafeico, el ácido clorogénico, el ácido ferulico, el ácido cumarico y ácido gálico [5].

La estructura química de los fenoles les confiere extraordinarias características antioxidantes, atrapando a los radicales libres, que son sustancias que tienen un electrón no apareado que busca el equilibrio encontrando el electrón que le falta de otras sustancias para mejorar su estabilidad molecular y así oxidarlas. Se considera que, si hay más compuestos oxidantes que antioxidantes se produce un estrés oxidativo, aportando al desarrollo de enfermedades como el cáncer, diabetes, arteriosclerosis, enfermedades cardiovasculares, entre otras [5].

### **2.4 Aceite de Ajonjolí**

El Ajonjolí tiene un valor nutricional alto, ya que contiene gran cantidad de proteínas importantes, lípidos, vitaminas y minerales. El aceite contiene un alto contenido de ácido linoleico entre 35 a 41% del aceite total [3].

El aceite virgen contiene una baja acidez libre entre 0.2 % y 0.65 % oleico, contiene un potente antioxidante natural (tocoferoles) que hace que sea resistente a la oxidación y rancidez, dependiendo de la calidad de la semilla [3].

Este aceite contiene un 85 % ácidos grasos insaturados, ayudando a reducir el colesterol y los problemas coronarios, a 0 °C no se solidifica, utilizándolo como sustituto del aceite de oliva, para ensaladas, aceite de mesa y para margarina [3].

El aceite de ajonjolí posee un alto contenido del ácido graso esencial omega – 6 como se indica en la siguiente tabla [5].

**Tabla 5.** Perfil de lipídico del aceite de ajonjolí.

PARAMETRO	PARAMETRO	PARAMETRO
<b>ACIDOS GRASOS SATURADOS</b>		
Ácido palmítico (C16:0)	%	8.48
Ácido esteárico (C18:0)	%	1.00
<b>ACIDOS GRASOS MONOINSATURADOS</b>		
Ácido oleico (C18:1n9cis)	%	13.83
Ácido palmitoleico (C16:1)	%	0.17
<b>ACIDOS GRASOS POLIINSATURADOS</b>		
Ácido linoleico (C18:2n6cis)(Omega 6)	%	29.03
Ácido linolénico (C18:3n3)(Omega 3)	%	0.26

Fuente: Ríos y Salazar (2018)

El aceite de ajonjolí es empleado en la industria alimenticia, farmacéutica y cosmetológica. Es utilizado para consumo en diferentes platillos, en cremas para tratamientos médicos y como antiinflamatorio natural. Algunos de los beneficios del consumo de este producto según la FAO, indican que favorecen la regulación del colesterol de la sangre, en el funcionamiento de la memoria, envejecimiento celular y protege el sistema cardiovascular [6].

Las personas que sufren de evacuaciones líquidas frecuentes, deben evitar el consumo de aceite de ajonjolí, ya que esta tiene un efecto laxante, no es aconsejable para personas alérgicas a las semillas, porque el aceite puede contener sedimento que no lo hacen adecuado para este tipo de personas, por esa razón es necesario que esté debidamente etiquetado e indicar si contiene trazas de algún alergénico [27].

### **2.5 Extracción del aceite de ajonjolí**

Se han establecido varios métodos de extracción de aceites vegetales comestibles, algunos utilizados a nivel industrial y otros a nivel de laboratorio, dependiendo de la materia prima [3]

- **Prensado en frio**

El prensado en frio es una técnica de extracción mecánico a bajas temperaturas, que se utiliza con el fin de preservar la proporción de ácidos grasos esenciales, vitamina E, antioxidantes naturales y es un proceso que no necesita ningún aditivo, pero con rendimientos bajos de producción de aceite [4].

A partir de la semilla limpia libre de impurezas, se procede a moler; la semilla pasa a través de una prensa donde en un solo paso se presiona la masa separándose el aceite y dejando una torta de proteína, denominada generalmente pellets o torta residual [3]

- **Prensado en caliente**

Para el prensado en caliente las semillas de ajonjolí son sometidas a un proceso de calentamiento indirecto a 90 °C por un tiempo de 20 minutos para luego ser introducidos en la prensa hidráulica [44], sin embargo, las aplicaciones del calor en las semillas destruyen partes o componentes importantes en las vitaminas y fitosteroles que forman el aceite [13].

- **Extracción por disolventes**

La extracción por disolventes es el método más utilizado para extraer el contenido de aceite que queda en la torta residual entre un 10 % a un 20 % producto del prensado. En la práctica los disolventes al ser calentados se evaporan quedando así el aceite, perdiendo sus propiedades ya que, es sometido a una cierta temperatura [13]. Este método no es recomendado para obtener aceites vegetales para el consumo humano, puesto que, al utilizar disolventes orgánicos incrementa los costos de producción y altera la calidad del aceite [45].

## **2.6 Oxidación Lipídica**

Los lípidos sufren una reacción de oxidación lipídica que genera la aparición de olores y sabores característicos de la rancidez; provocando la formación de compuestos de oxidación primaria y secundaria, llegando a ser tóxicos si se los ingiere, que ocurren durante el procesamiento y la conservación de los alimentos, disminuyendo su aceptabilidad [9]

Existen dos tipos de rancidez en los aceites, que reducen su estabilidad durante su almacenamiento: la rancidez hidrolítica y la rancidez oxidativa. [9]

La rancidez hidrolítica se produce debido al contacto con enzimas lipasas en presencia de calor y humedad, ocasionando la liberación del glicerol y de tres ácidos grasos, que ocasiona la acidez en los aceites. [9]

El cambio del sabor y olor de los alimentos, es provocado por la rancidez oxidativa, reacción catalizada por la exposición de los aceites a la humedad, el calor, luz, metales presentes (Cu, Ni, Fe), así como colorantes y pigmentos naturales residuales, [9] que

consiste en la reacción del oxígeno atmosférico con dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados, generando productos de oxidación primarios (peróxidos e hidroperóxidos), que por una serie de reacciones paralelas producen los compuestos secundarios de la reacción; volátiles, como aldehídos, cetonas y ácidos o no volátiles como dímeros, trímeros y polímeros, característicos de productos rancificados. [10]

## **2.7 Antioxidantes**

Los antioxidantes son sustancias capaces de prevenir o retrasar la oxidación de materiales de fácil oxidación, o inhibir algunas enzimas oxidantes específicas antes de que cause daño a otras moléculas [10].

Según su funcionalidad, los antioxidantes se clasifican en dos categorías: los eliminadores de radicales, que rompen la cadena que inhiben la etapa de propagación al momento que donan un átomo de hidrógeno a los radicales libres transformándolos en un compuesto estable y descomponedores de peróxidos, que deshace los hidroperóxidos en compuestos estables [40].

En la industria de los alimentos, el uso de antioxidantes, sintéticos o naturales permite mantener la calidad del producto, sino también extender su vida de anaquel [10].

### **2.7.1 Antioxidantes Sintéticos**

Los antioxidantes sintéticos impiden que otras moléculas se unan al oxígeno, al interactuar de manera más rápida con los radicales libres del oxígeno. Estos se clasifican en primarios y secundarios según su modo de acción. Los de tipo primario o interruptores de cadena, actúan en la etapa de propagación reaccionando con los radicales para convertirlos en compuestos más estables; los antioxidantes secundarios, reducen la velocidad de la etapa de iniciación de formación de radicales libres. [10]

Los más utilizados como aditivos de los alimentos son: terbutil hidroquinona (TBHQ), el butil hidroxianisol (BHA) y el butil hidroxitolueno (BHT). [12]

El BHA, se usa para proteger las grasas sometidas a altas temperaturas, además previene la oxidación de aceites destinados para frituras, protege el color y aroma de los aceites esenciales. [12]

El BHT, actúa como un agente para suprimir la autooxidación en los ácidos grasos insaturados, generado por el oxígeno atmosférico [12].

Por otro lado, la TBHQ, también conocido como el antioxidante E-319, es un sólido blanco o marrón rojizo, cristalino y poco soluble en agua, se disuelve en éster etílico, éter, etanol al 100%, ácido acético, aceite vegetal y grasas animales, es considerado como el mejor antioxidante sintético para las aplicaciones de fritura y tiene la ventaja de no formar complejos con el hierro y el cobre. [10]

En algunos países como Australia y Japón, se ha limitado el uso del BHA como aditivo en los aceites, puesto que se acumula en la grasa corporal, lo que provoca cáncer, así como cambios en el balance hormonal en ratones, causando daños en sus aparatos reproductivos en concentraciones mayores a 175 mg/kg máximo permitido según la Norma Codex Alimentarius. Al igual que el BHA, el BTH es añadido a productos alimenticios, tales como grasas comestibles, arroz, productos de confitería, así como en lubricantes de origen vegetal, muestran efectos adversos como el aumento del colesterol e inducción de cáncer, es por ello que se realiza investigaciones de adición de antioxidantes naturales seguros, inocuos y económicos [10]

### **2.7.2 Antioxidantes Naturales**

La capacidad antioxidante celular está dada por mecanismos a través de los cuales la célula inhibe la generación de radicales libres y comprenden moléculas pequeñas, exógenas y endógenas con capacidad antioxidante. Los antioxidantes exógenos provienen de la dieta, y dentro de este grupo se incluyen la vitamina E, la vitamina C y los carotenoides [10].

La vitamina E, se centra concretamente en la inhibición de la peroxidación lipídica causada por los radicales libres, acción que tiene lugar en los fosfolípidos de la membrana celular, lipoproteínas, tejido adiposo, cerebro y en todos los tejidos que contengan una alta proporción de ácidos grasos polinsaturados, al impedir la oxidación de las membranas celulares. [10]

Permite una buena nutrición y regeneración de los tejidos, demostrando mediante varios estudios que ayuda a reducir el riesgo de padecer cáncer de pulmón, páncreas y cuello de la matriz [10], es absorbida y transportada mediante las grasas, es almacenada en el tejido adiposo, se metaboliza por oxidación y es excretada, con lo cual su riesgo por toxicidad en el caso de ingerir dosis altas es muy pequeño. La cantidad mínima recomendada es aproximadamente 10-20 mg/día; sin embargo, no se sabe con absoluta precisión debido a la ausencia de sintomatología de avitaminosis específica [11]

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA

El trabajo experimental se llevó a cabo en el Laboratorio LACONAL, parcialmente financiado por el Proyecto Canje de Deuda Ecuador – España HCU-0939- CU-P-2016, de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

#### 3.1 Materias Primas

- Semillas de ajonjolí (*Salvia hispanica L.*), fue adquirido de una Distribuidora Local.
- El aceite de ajonjolí (*Salvia hispanica L.*), se obtuvo por prensado en frío a una temperatura inferior a 50°C, en el extractor Expeller marca FLORA POWER.
- Antioxidante natural alfa-tocoferol Toco Vit –E.
- Antioxidante artificial Butilhidroxitolueno (BHT)

#### 3.2 Reactivos

- Mezcla (1:1) de alcohol - éter dietílico
- Hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N.
- Hidróxido de potasio (KOH) 0,5 N.
- Ácido clorhídrico (HCl) 0,5 N.
- Ácido clorhídrico (HCl) 37%.
- Yoduro de potasio (KI) solución saturada.
- Fenolftaleína (C<sub>20</sub>H<sub>14</sub>O<sub>4</sub>) 1%.
- Tiosulfato de sodio Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>xH<sub>2</sub>O.
- Ácido acético glacial 37%.
- Cloroformo
- Hexano grado cromatográfico (HPLC)
- Alcohol etílico.
- Hexano grado reactivo (C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>)
- Metanol extra puro 99,5%

#### 3.3 Materiales

- Tubos con rosca.
- Botellas de vidrio color ámbar de 1000 mL
- Botellas de vidrio color ámbar de 60 mL
- Vasos de precipitación de 100 y 250 mL



- Erlenmeyer de 250 mL
- Buretas de 10 mL.
- Balones aforados de 100 y 500 mL.
- Micropipetas de 100 a 1000  $\mu$ L
- Matraz de 100 mL.

### 3.4 Equipos

- Prensa extractora de aceite Expeller marca FLORA POWER.
- Cromatógrafo de Gases acoplado a Detector de Masas Agilent Technologies 5977 GC/MSD.
- Oxitest Test Reactor VELP SCIENTIFIC.
- Balanza analítica METTLER TOLEDO XPE.
- Equipo de determinación de grasa VELP SCIENTIFIC.SER 148.

### 3.5 Procedimiento

#### 3.5.1. Extracción del aceite de ajonjolí

El aceite de ajonjolí se obtuvo por prensado en frío a una temperatura inferior a 50°C, en el equipo Expeller, marca FLORA POWER, para ello primero se realizó una inspección de las semillas de ajonjolí (*Salvia hispanica L.*), para eliminar todas las impurezas, luego se procedió a su extracción, pasando las semillas por una estrangulación por la presión que ejerce el equipo, el aceite obtenido se decantó y filtro para ser colocado en botellas calor ámbar y así evitar la pérdida de sus propiedades.

#### 3.5.1.1 Cálculo del porcentaje del rendimiento de la extracción de aceite de ajonjolí.

Se realizó el calculado utilizando la siguiente fórmula:

(Ecuación 1)

$$\% RA=(PAPS)*100$$

**Donde:**

**% RA:** Porcentaje de rendimiento de aceite extraído

**PA:** Peso del aceite extraído (g)

**PS:** Peso total de semilla utilizada para cada extracción (g)

### 3.5.2 Análisis fisicoquímico del aceite de ajonjolí

Los análisis físico químicos del aceite de ajonjolí fueron determinados mediante las siguientes metodologías:

#### 3.5.2.1 Índice de peróxido

El índice de peróxido es una medida de la cantidad de oxígeno unido químicamente a un aceite o grasa en forma de peróxidos, especialmente hidroperóxidos, el método a utilizar fue **NTE-INEN-ISO 3960**.

El método consiste en disolver el aceite en ácido acético y cloroformo, luego de la adición de una solución de yoduro de potasio saturado y el yodo liberado, se determinó el índice de peróxidos (IP) expresado miliequivalentes de oxígeno activo por kg de aceite (meq O<sub>2</sub>/kg), con solución valorada de tiosulfato de sodio.

La fórmula que se utilizó para los cálculos respectivos es la siguiente:

(Ecuación 2)

$$IP = \frac{V * M * 1000}{P}$$

**Donde:**

**V:** ml de solución valorada de tiosulfato de sodio, convenientemente corregido para tener en cuenta el ensayo en blanco

**M:** molaridad exacta de la solución de tiosulfato de sodio

**P:** peso en gramos de la muestra.

#### 3.5.2.2 Índice de saponificación

El índice de saponificación se determinó mediante el método **NTE INEN-ISO 3657**, el cual determina la cantidad de hidróxido potásico, en miligramos, necesario para saponificar 1 g de grasa.

La muestra de aceite de ajonjolí se saponificó en una solución alcohólica de hidróxido de potasio (0,5 mol/l, solución en etanol al 95%) en calentamiento a reflujo, después que se enfrió, se le agregó fenolftaleína, para ser titulado con una solución de ácido clorhídrico.

Para los cálculos respectivos se utilizó la siguiente fórmula:

(Ecuación 3)

$$\text{Índice de saponificación} = \frac{28,05 (B - S)}{P}$$

**Donde:**

**B** = ml de HCl 0,5 M requerido para titular el blanco

**S** = ml de HCl 0,5 M necesario para la muestra

**P** = peso del aceite.

**3.5.2.3 Acidez (Potenciometria).**

El índice de acidez determina el número de miligramos de hidróxido de potasio requeridos para neutralizar los ácidos grasos libres contenidos en 1 gramo de grasa o aceite, para lo cual se utilizó el método **INEN 38**, para ello se disolvió la muestra de aceite de ajonjolí en etanol y se valoró los ácidos grasos libres mediante una solución etanólica de hidróxido de sodio con el uso de fenolftaleína. El contenido en ácidos grasos libres se expresó en porcentaje de ácido oleico.

Para los cálculos se utilizó la siguiente formula:

(Ecuación 4)

$$\text{Acidez (ácido oleico \%)} = \frac{(V * C * M)}{(10 * P)}$$

**Donde:**

**V:** volumen en ml de la solución valorada de hidróxido de sodio utilizada

**C:** concentración exacta, en moles por litro, de la solución de hidróxido de sodio utilizad

**M:** peso molecular del ácido en que se expresa el resultado (ácido oleico = 282)

**P:** peso en gramos de la muestra utilizada

**3.5.2.4 Índice de yodo.**

El método para determinar el índice de yodo fue **INEN 36, 1973-08**, en donde se disolvió la muestra de aceite de ajonjolí en tetracloruro de carbono, al cual se adicionó el reactivo de Wijs (preparado en base a monoclóruo de yodo y ácido acético), y se dejó reposar al abrigo de la luz durante 30 minutos. Se adiciono una solución acuosa de yoduro de potasio

y se determinó el yodo liberado con solución de tiosulfato de sodio, en presencia de almidón como indicador. Se expresó en términos del número de centigramos de yodo por gramo de muestra, la fórmula que se utilizó es la siguiente:

(Ecuación 5)

$$\text{Índice de yodo} = \frac{(b - s) * M * 12,69 * 100}{P}$$

**Donde:**

**s**= ml de tiosulfato de sodio consumido por la muestra

**b**= ml de tiosulfato de sodio utilizado por el blanco (solución de Wijs sin muestra)

**M**= molaridad del tiosulfato de sodio

**P**= peso en g de la muestra.

### 3.5.2.5 Índice de refracción (IDT)

El método a utilizar fue **NTE INEN-ISO 6320**, para ello se utilizó el Refractómetro ABBE, en donde se colocó el aceite entre los prismas del refractómetro y se obtuvo el índice de refracción a 20 °C.

## 3.5.3 Calidad nutricional del aceite de ajonjolí

### 3.5.3.1 Perfil de ácidos grasos del aceite

Los ácidos grasos fueron determinados mediante cromatografía de gases. Método interno MIN-46 LACONAL Referencia AOAC 41.1, modificado por el detector de ionización de llama FID.

Este método resulta válido debido las condiciones y parámetros establecidos para los análisis, en los cuales se garantiza que todos los componentes hayan eluido por lo tanto la suma de todos los compuestos cromatografados es igual al 100%, adicionalmente no se considera el factor de respuesta (Fr) debido a que se están analizando series homologas, las cuales deberían tener Fr bastante similares, adicionalmente la identificación fue de tipo I (identificación directa con estándares)

- **Separación de los esteres metílicos de los ácidos grasos**

Para la separación de los esteres metílicos se utilizó el método de metil- esteficación; para ello en un tubo con tapa rosca se colocó 0,025g de aceite con 2ml de KOH 0,5, los tubos

se colocaron a baño María durante 10 min en ebullición, dejando enfriar a temperatura ambiente. Ya frío los tubos se agregó 1 ml de HCl (1:4 v/v), que se colocaron nuevamente a baño María, a una temperatura controlada de 50 °C, durante 25 minutos, dejando enfriar a temperatura ambiente. Para que ocurra el proceso de separación de las fases (orgánica e inorgánica) se adicionó 10 ml de hexano HPLC y 10 ml de agua destilada, se agitó por 10 segundos y se dejó reposar. El agua se coloca para atrapar productos de la reacción de esterificación y el hexano para separar los esteres de ácidos grasos. Para la identificación del perfil de ácidos grasos, se tomó 1,5 ml de la fase superior del tubo que contiene hexano con esteres de ácidos grasos.

- **Identificación de ácidos grasos por cromatografía de gases**

Para la identificación de ácidos grasos en el aceite de ajonjolí se utilizó un cromatógrafo de gases con una columna HP – 88, para conseguir el fraccionamiento requerido y un gas portador de Helio 99,99%, con un flujo de 1,4 ml/min dentro de la columna, ya obtenido los compuestos separados se transfirieron a un espectrómetro de masas por el gas portador de He. Los resultados se observan en forma de picos en un cromatograma, los cuales fueron analizados de manera cualitativa, con la ayuda de una base de datos de la biblioteca NIST14.L, que cuenta con 350,643 espectros con sus respectivas especificaciones (nombres, sinónimos, estructuras químicas, índice de retención de GC).

La cuantificación de los ácidos grasos presentes en el aceite se identificó con la ayuda de un patrón estándar externo FAME MIX C8 – C22, identificando los analitos presentes mediante un análisis cromatográfico.

Las fórmulas que se utilizaron para cada determinación se describen a continuación.

### 3.5.3.1.1 Porcentaje de ácidos grasos en el aceite.

(Ecuación 6)

$$\% \text{ Ácido graso en el aceite} = \left( \frac{EAGi \left( \frac{PMAGi}{PMEAGi} \right)}{\sum EAGi \left( \frac{PMAGi}{PMEAGi} \right)} \right) * 100\%$$

**Donde:**

**EAGi:** % Ester metílico del ácido graso i en el aceite

**PMAGi:** Peso molecular del ácido graso i

**PMEAG<sub>i</sub>**: Peso molecular de éster metílico del ácido graso i

### 3.5.3.1.2 Cálculo del porcentaje de ácidos grasos (%p/p) para ácido palmítico.

#### 1. Concentración del compuesto o analito (metil éster)

(Ecuación 7)

$$Conc_{analito} = \frac{\% \text{ área de muestra}}{f_i}$$

#### 2. Proporción de la masa del Ester metílico

(Ecuación 8)

$$\% \text{ éster metílico}_{masa} = \frac{Conc_{analito} * 100}{\sum Conc_{analito} \text{ presentes en la muestra}}$$

#### 3. Proporción en masa del ácido graso.

(Ecuación 9)

$$\% \text{ ácido graso}_{masa} = \frac{Conc_{ac.graso} * 100}{\sum Conc_{ac.graso} \text{ presente en la muestra}}$$

#### 4. Concentración de del ácido graso.

(Ecuación 10)

$$Conc_{ac.graso} = \frac{PM_{ac.graso} * \% \text{ éster metílico}_{masa}}{PM_{éster metílico}}$$

### 3.6 Determinación de la estabilidad oxidativa del aceite de ajonjolí

Para la determinación de la estabilidad oxidativa, se prepararon cuatro muestras de aceite con y sin antioxidante (alfa-tocoferol) y dos muestras con BHT, como se indica en la Tabla 6 y 7.

**Tabla 6.** Tratamientos de conservación del aceite de ajonjolí con alfa-tocoferol (Vitamina E)

<b>Tratamientos</b>	<b>Contenido de alfa-tocoferol %</b>
<i>TC</i>	0 (control)
<i>T1</i>	0,01
<i>T2</i>	0,03
<i>T3</i>	0,05

**TC:** tratamiento control

**Fuente:** Unidad Operativa de Investigación y Desarrollo (UODIDE)

**Tabla 7.** Tratamientos de conservación del aceite de ajonjolí con BHT

<b>Tratamientos</b>	<b>Contenido de BHT %</b>
<i>TC</i>	0 (control)
<i>T1</i>	0,01
<i>T2</i>	0,02

**TC:** tratamiento control

**Fuente:** Unidad Operativa de Investigación y Desarrollo (UODIDE)

La concentración de BHT se determinó según lo que establece la Norma NTE INEN 2 074:2012, para grasas y aceites vegetales.

Los aceites con y sin antioxidantes (alfa-tocoferol y BHT), se utilizaron para determinar la estabilidad oxidativa del aceite de ajonjolí, el equipo a utilizar fue Oxitest Test Reactor VELP SCIENTIFIC.



Figura 5. OXITEST VELP SCIENTIFIC.

Para la determinación de la actividad oxidativa, primero se verificó que el equipo este limpio, abriendo las dos cámaras de oxidación del reactor, empleando para ello alcohol etílico al 70%, para evitar fugas se utilizaron siliconas; colocando después los dos espaciadores y sobre ellos el soporte de titanio que debe contener  $10 \pm 0,03$  g de muestra de aceite, se ingresaron los datos de temperatura (90 °C y 100 °C) y presión 6 bares.

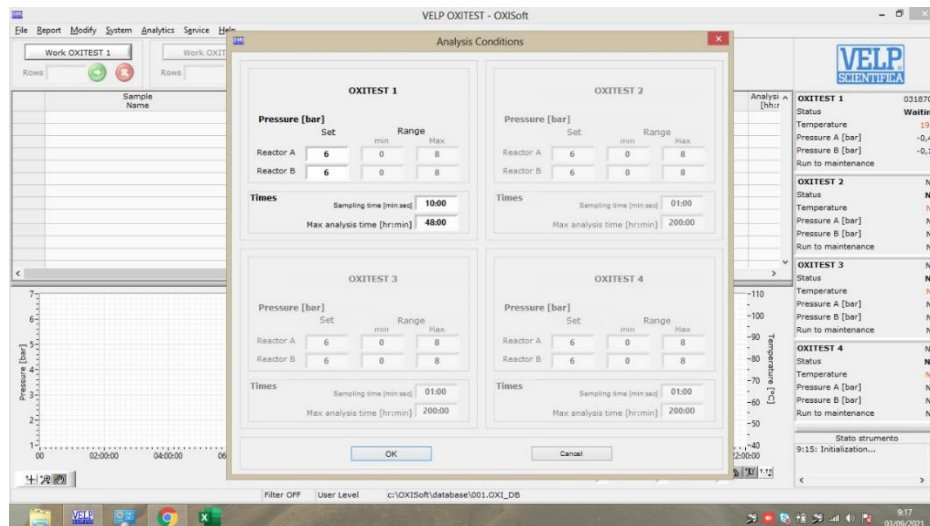


Figura 6. Ingreso de datos al equipo OXITEST

Con los datos obtenidos del periodo de inducción IP (Tiempo en el que el aceite inicia el periodo de oxidación), expresado en horas, se realizó la extrapolación matemática.

Para la extrapolación matemática se utilizó la ecuación de la recta:



**(Ecuación 11)**

$$y=mx+c$$

Dónde:

y = temperatura a la cual se somete el aceite a oxidación en el Reactor OXITEST 90 y 100°C.

m = pendiente de la recta.

x = periodo de inducción, índice de estabilidad en horas. (Valor obtenido del Reactor OXITEST).

### **3.7 Almacenamiento del aceite de ajonjolí a temperatura ambiente**

Después de realizados los análisis se procedió a almacenar los aceites (control, mejor tratamiento con (alfa-tocoferol y BHT) en frascos color ámbar a temperatura ambiente. Luego de 4 meses de almacenamiento, se realizaron los análisis fisicoquímicos y perfil ácidos grasos faltantes.

Los análisis fisicoquímicos (índice de peróxidos, acidez, índice de yodo, índice de saponificación, índice de refracción) y el perfil de ácidos grasos, además se realizó a la muestra control TC, al mejor tratamiento con el antioxidante alfa-tocoferol y BHT (T2 y T3 respectivamente).

### **3.8 Análisis estadístico**

Para el análisis estadístico se utilizó el software Excel (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA) y el programa estadístico Statgraphics Centurion XVII (Statpoint Technologies Inc. Warrenton, VI, USA) y para la comparación entre tratamiento ANOVA, al presentar diferencia significativa se empleó la prueba de rangos múltiples Tukey, a un nivel de confianza 95 % y probabilidad de error menor o igual a 0,05.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Rendimiento de la extracción de aceite de ajonjolí (*Sesamum indicum*).

Para conocer el rendimiento de aceite de las semillas de ajonjolí utilizadas en esta experimentación, se realizaron tres extracciones con diferentes cantidades de semilla, mediante el método por prensado en frío a una temperatura inferior a 50°C, obteniendo un valor promedio de  $32,97 \pm 3,0$  de rendimiento de aceite como se indica en la tabla 8, es decir 32,97 g. por cada 100 g. de semilla

**Tabla 8.** Datos del rendimiento de extracción del aceite de ajonjolí.

<b>Muestra</b>	<b>Peso de la semilla (g.)</b>	<b>Peso del aceite extraído (g.)</b>	<b>Porcentaje de aceite extraído (%)</b>
Semillas de ajonjolí	920	<b>276</b>	<b>30</b>
	1012	<b>333,96</b>	<b>32,9</b>
	1020	<b>367,2</b>	<b>36</b>
	<b>PROMEDIO <math>32,97 \pm 3,0</math></b>		

Al comparar los resultados obtenidos  $32,97 \pm 3,0$  % con los reportados por Ríos y Salazar (2018) 59.28 % y Guerra (2017) 29,46%, utilizando el método por prensado frío se puede observar que se obtuvo un rendimiento bastante similar.

Se comparó también con los resultados obtenidos en la investigación de Kurt (2018) en el cual compara la cantidad de aceite, utilizando la extracción por disolventes en muestras obtenidas de diferentes países, indicando un promedio de 53,12% en Grecia y 44,63% en Irak, extracción realizada mediante el aparato Soxhlet con éter de petróleo durante 3 h. [31].

Indicando que la diferencia de rendimiento se puede deber a varios factores como la temperatura, el tiempo de extracción, el tamaño de la semilla y la recolección del aceite que pudo presentar algunas pérdidas del producto.

Adicionalmente, se ha demostrado, que la cantidad y calidad de aceite contenido en la semilla dependen de factores ecológicos (clima, tipo de suelo), genéticos (cultivares), y fisiológicos como la madurez de la planta [23].

Según, Melo et al. (2021) se indica que, el uso de altas temperaturas en la extracción de aceite por prensado, puede aumentar el rendimiento del aceite, así como reacciones de Maillard, que conducen a la liberación de aromas y colores más oscuros.

No obstante, para poder conservar el valor nutricional y los compuestos bioactivos es importante la optimización de métodos y condiciones de extracción [22].

#### **4.2 Análisis de parámetros fisicoquímicos**

El análisis de los parámetros fisicoquímicos es de suma importancia para conocer la calidad del aceite comestible, los utilizados regularmente son: el contenido de ácidos grasos libres (AGL), el índice de saponificación, índice de refracción, índice de peróxidos e índice de yodo [23].

En esta investigación se realizó cada uno de los análisis indicados anteriormente para conocer la calidad del aceite extraído por extracción de prensado en frío.

En la tabla 9., se muestran los resultados de los análisis fisicoquímicos del aceite de ajonjolí, a un tiempo de 0 meses sin el uso de antioxidante, a 4 meses de conservación sin antioxidante y con antioxidante alfa-tocoferol 0,05% y BHT 0,02% obtenidos como mejor tratamiento después de la interpretación de la estabilidad oxidativa.

Los valores obtenidos del aceite de ajonjolí después de la extracción a 0 meses sin la intervención de antioxidante fueron 0,426 de índice de acidez (% ácido oleico), 106,7 índice de yodo (g Yodo/100 g), 1,4729 índice de refracción, los resultados son similares a los reportados por Cortez y Sánchez (2017), en la investigación “Evaluación de la estabilidad oxidativa de la mezcla de aceites de chía (*Salvia Hispánica L.*) y ajonjolí (*Sesamum Indicum L.*)” 0,57 de índice de acidez (% ácido oleico), 106,73 índice de yodo (g Yodo/100 g), 1,45 índice de refracción; en cuanto al índice de peróxidos 5,08 (mEq/kg), existe diferencia entre los datos obtenidos y la investigación referencia (nd), puesto que indica que no se detectó valor de peróxidos en las muestras de aceite, especificando también que, si los valores de índice de acidez son menores al 0,8% los aceites son extra vírgenes y de excelente calidad.

**Tabla 9.** Resultados promedio de los Análisis Físicoquímico del aceite de ajonjolí

Parámetros físicoquímicos	Tratamiento control		Tratamiento alfa- tocoferol 0,05%	Tratamiento BHT 0,02%
	t= 0 meses	t= 4 meses	t= 4 meses	t= 4 meses
Índice de Peróxido (mEq/kg)	5,08±0,05	11,7 ±0,025	4,59±0,015	4,57±0,03
Índice acidez (% ácido oleico)	0,426±0,002	0,446±0,0025	0,409±0,0026	0,442±0,001
Índice de yodo (g Yodo/100 g)	106,7±0,15	119,747±0,08	119,55±0,132	117,637±0,08
Índice de Saponificación (mgKOH/g)	188,1±0,15	201,133±0,15	186,8±0,3	195,2±0,265
Índice de refacción (Adimensional)	1,4729±0,002	1,4737±0,0007	1,4728±0,0003	1,4278±0,0001

Nota: Promedio de 3 muestras y la incertidumbre se expresa como desviación estándar.

**Tabla 10.** Especificaciones del aceite de ajonjolí, según la Norma Ecuatoriana NTE INEN 8:2012

Requisito	Unidad	Min.	Max.	Método de ensayo
Índice de yodo	cg/g	103	120	NTE INEN 37
Acidez libre( como ácido oleico)	%	-	0,20	NTE INEN 38
Índice de refracción, 25 C	-	1,4700	1,4744	NTE INEN 42
Índice de peróxidos	MeqO <sub>2</sub> /kg	-	10,00	NTE INEN 277

Fuente: NTE INEN 8:201

**Tabla 11.** Especificaciones del aceite de ajonjolí, según la Norma Internacional de Alimentos CODEX para aceites vegetales

<b>Requisito</b>	<b>Parámetros normales establecidos por CODEX (STAN 210-1999)</b>
<b>Índice de yodo*(WIJS)</b>	104 -120
<b>Acidez libre( como ácido oleico)</b>	0,2 – 0,65
<b>Índice de refracción (Nd 40 C)</b>	1,465-1469
<b>Índice de peróxidos MeqO<sub>2</sub>/kg</b>	15
<b>Índice de saponificación (mgKOH/g de aceite).</b>	187-195

**Fuente: CODEX STAN 210-1999**

Después de almacenar el aceite de ajonjolí por 4 meses sin antioxidante y al comparar con la Norma Ecuatoriana NTE INEN 8:2012 (Tabla 10) y CODEX (Tabla 11), el índice de saponificación  $201,133 \pm 0,15$  mgKOH/g y peróxidos  $11,7 \pm 0,025$  mEq/kg no están dentro de los valores recomendados.

Al comparar el índice de peróxidos entre las tres muestras (Tabla 9.), el aceite después de ser conservado por 4 meses sin antioxidante  $11,7 \pm 0,025$  MeqO<sub>2</sub>/kg, presenta un valor superior al ser comparado con las demás muestras, según la Norma Ecuatoriana NTE INEN 8:2012 (tabla 10.) este valor se encuentra por encima de los valores máximos permitidos, pero al ser comparado con la Norma CÓDEX (tabla 11.) los índices son aceptables, considerando que el índices de peróxidos determinan el estado de oxidación y el deterioro del valor nutricional del aceite, un índice elevado demuestra un avance en la rancidez del producto, siendo los peróxidos compuestos tóxicos que pueden llegar a alterar las vitaminas y la hemoglobina, además de que inhiben algunas enzimas y ejercer una acción mutagénica, llegando a producir lesiones patológicas en el aparato digestivo y se cree que sensibilizan la acción de algunos agentes cancerígenos [21]. Las muestras a 0 meses ( $5,08 \pm 0,05$  MeqO<sub>2</sub>/kg) y con la utilización de antioxidante alfa-tocoferol 0,05% ( $4,59 \pm 0,015$  MeqO<sub>2</sub>/kg) y BHT 0,02% ( $4,57 \pm 0,03$  MeqO<sub>2</sub>/kg), se encuentran dentro de los límites permitidos.

Al comparar el índice de peróxidos en las tres muestras (0 meses control, 4 meses control, 0,05% alfa-tocoferol a 4 meses y 0,02% a 4 meses de BHT, presentan diferencia

significativa entre los tratamientos, observando que el índice más alto se reporta a 4 meses sin la utilización de antioxidantes, manteniendo la estabilidad con la adición de antioxidantes al aceite.

Otro factor que se determinó fue el índice de saponificación en mgKOH/g, que al ser comparadas las muestras se determinó que a los 0 meses con un valor de  $188,1 \pm 0,15$ , a los 4 meses sin antioxidante  $201,133 \pm 0,15$ , con antioxidante  $\alpha$ -tocoferol 0,05%  $186,8 \pm 0,3$  y BHT 0,02%  $195,2 \pm 0,265$ , se obtuvo un valor mayor después de 4 meses de conservación sin antioxidante que según la NORMA CODEX esta fuera de los límites permitidos.

Con la realización de los análisis estadísticos se comprueba que existe diferencia significativa entre los tratamientos, siendo el que mejor mantiene su índice de saponificación en mgKOH/g (indicador de la cantidad y calidad de ácidos grasos), al ser comparado con el control a 0 meses  $188,1 \pm 0,15$ , el tratamiento que se utilizó 0,05 % alfa-tocoferol con un valor de  $186,8 \pm 0,3$ .

En lo que corresponde al índice de refracción, al comparar las tres muestras (tabla 9) se observa que están dentro de los parámetros permitidos según la NORMA CODEX y la Norma Ecuatoriana NTE INEN 8:2012 a 40 °C y 25 °C respectivamente, indicando también que, al incrementarse su valor, aumenta el nivel de instauración del aceite [23].

En lo que corresponde al análisis estadístico del índice de refracción no se observa diferencia significativa entre los tratamientos y las réplicas.

Para conocer la calidad del aceite, el grado de refinación y el cambio en la calidad durante el almacenamiento [25], se determinó el índice de acidez (como ácido oleico), obteniendo los siguientes resultados:  $0,426 \pm 0,002$  para el aceite a 0 meses sin antioxidantes,  $0,446 \pm 0,0025$  a los 4 meses de almacenamiento,  $0,409 \pm 0,0026$  con 0,05% de antioxidante alfa-tocoferol y BHT 0,02%  $0,442 \pm 0,001$  y al comparar los datos con los valores máximos permitidos NORMA CODEX, al comparar los resultados estadísticamente se muestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos, indicando que un valor elevado muestra que el aceite contiene una elevada cantidad de ácidos grasos libres (hidrolisis) [39].

Para determinar el grado de instauración del aceite, que está relacionado con el punto de fusión y dureza [21], se determinó el índice de yodo en (g Yodo/100 g) en tres tratamientos a 0 meses (control) con un valor de  $106,7 \pm 0,15$ , a 4 meses de

almacenamiento temperatura ambiente  $119,747 \pm 0,08$ , con  $0,02\%$  de BHT  $117,637 \pm 0,08$  y  $0,05\%$  de alfa-tocoferol  $119,55 \pm 0,132$ . Al comparar los resultados con las Normas INEN 8:2012 y CODEX, se observa que se encuentran dentro de los parámetros establecidos, también se indica un incremento en su valor después de la conservación en 4 meses a temperatura ambiente en la muestra con  $0,05\%$  de alfa-tocoferol, existiendo diferencia significativa entre los tratamientos, no así entre las réplicas.

### 4.3 Identificación y cuantificación de ácidos grasos del aceite de ajonjolí.

La composición de ácidos grasos del aceite de ajonjolí con 0 meses de almacenamiento (Tabla 12) indica que está constituido por  $14,93\%$  de ácidos grasos saturados,  $33,69\%$  de ácidos grasos monoinsaturados y un  $51,34\%$  por ácidos poliinsaturados, como se muestra en los cromatogramas.

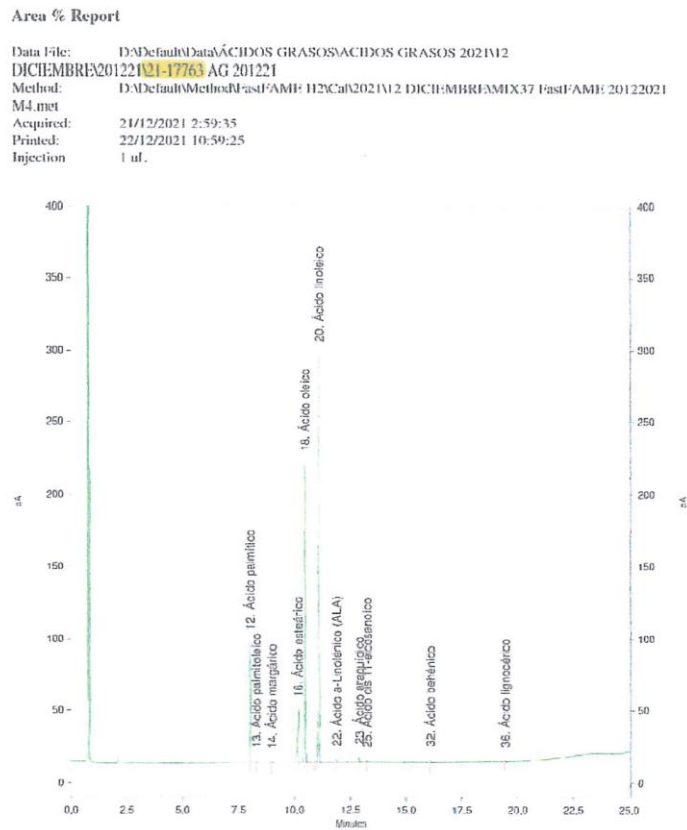


Figura 7. Cromatograma aceite de ajonjolí muestra control después de 4 meses.

Area % Report

Data File: D:\DefaultData\ÁCIDOS GRASOS\ÁCIDOS GRASOS 2021\12 DICIEMBRE\2021\12-17764 AG 201221  
Method: D:\DefaultMethod\FastFAME: H2C\al\2021\12 DICH-MBR\FAMIX37 FastFAME: 20122021  
M4.mct  
Acquired: 21/12/2021 3:32:21  
Printed: 22/12/2021 11:01:00  
Injection 1 ul.

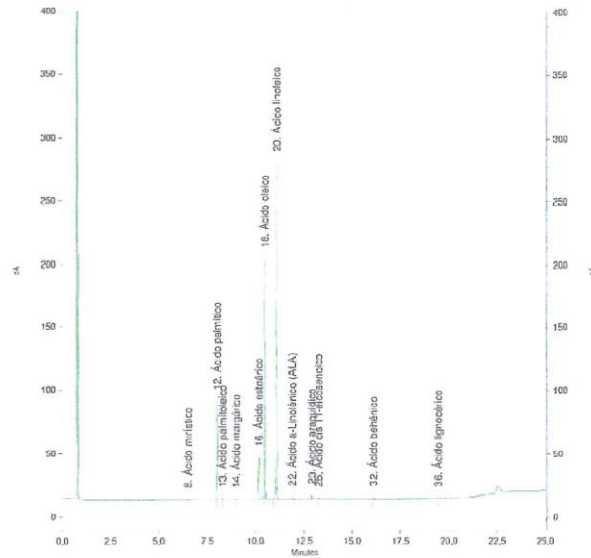


Figura 8. Cromatograma aceite de ajonjolí con 0,05% de afta-tocoferol después de 4 meses.

Area % Report

Data File: D:\DefaultData\ÁCIDOS GRASOS\ÁCIDOS GRASOS 2021\12 DICIEMBRE\2021\12-17765 AG 201221  
Method: D:\DefaultMethod\FastFAME: H2C\al\2021\12 DICH-MBR\FAMIX37 FastFAME: 20122021  
M4.mct  
Acquired: 21/12/2021 4:05:18  
Printed: 22/12/2021 11:01:34  
Injection 1 ul.

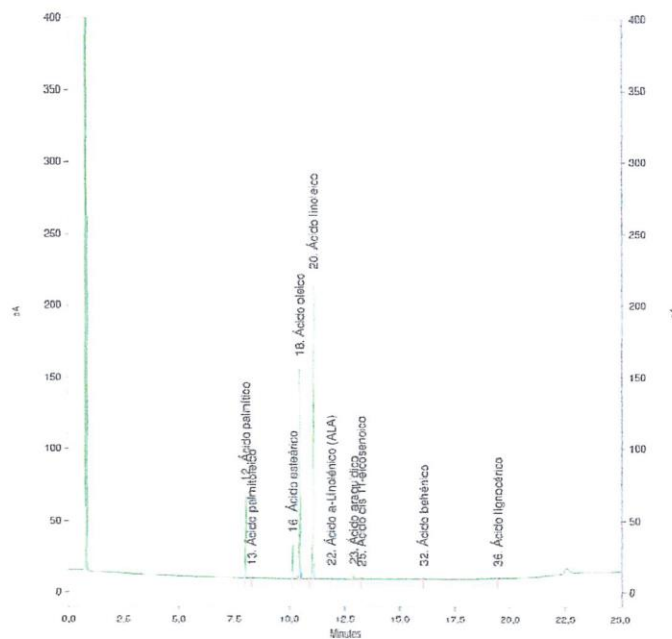


Figura 9. Cromatograma aceite de ajonjolí con 0,02% de BHT después de 4 meses.



Entre los ácidos grasos saturados el más predominante es el ácido palmítico a 0 meses, con un valor de  $8,36 \pm 0,011\%$  que al ser comparado con el aceite de oliva  $18,41 \pm 0,01\%$  y el de palma africana  $40,1 \pm 0,1\%$  es mucho más bajo, indicado que un valor alto de este ácido graso puede desarrollar enfermedades cardiovasculares [39], valores que no pueden superar los 20 g., valor diario recomendado de ácidos grasos saturados, según la Norma Ecuatoriana NTE INEN 1334-2:2011. El ácido estérico es un ácido saturado que también predomina  $5,27 \pm 0,08$  a 0 meses de almacenamiento, que al ser comparado con el aceite de oliva axila entre  $3,6 \pm 0,1$  y  $2,27$  y en el aceite de palma africana  $5,0 \pm 0,1\%$  que se asemeja a lo obtenido en la investigación [39].

El ácido graso monoinsaturado que predomina es el ácido oleico con  $33,37 \pm 0\%$ , que la comparar con lo reportado por Cortez y Sánchez (2017)  $40,71 \pm 0,98\%$  y Codex Alimentarius, (2011)  $34,4 - 45,5\%$  se encuentra dentro del rango.

En lo que corresponde a los ácidos grasos poliinsaturados el que predomina es el ácido linoleico (Omega 6) con  $50,97 \pm 0,02$  que, al compararlo con lo reportado con Melo et al. (2021) en su investigación “Whole or Defatted Sesame Seeds (*Sesamum indicum* L.) *The Effect of Cold Pressing on Oil and Cake Quality*“, que indica los contenidos de ácidos palmítico y esteárico variaron entre el 9 y 10 % y el 5 y el 6 % respectivamente. Los contenidos de los ácidos palmitoleico, linolenico, araquídico y eicosenoico fueron menor a 1%, siendo el principal el ácido oleico (43% MUFA), seguido del ácido linoleico (41%), al ser comparados con los resultados obtenidos ácido palmitoleico  $0,14 \pm 0,02$ , ácido alfa linolenico  $0,38 \pm 5E-03$ , ácido araquídico  $0,61 \pm 0,01$ , ácido eicosenoico  $0,19 \pm 0,001$ , ácido oleico  $33,37 \pm 0,01$ , están dentro de lo reportado en la investigación, considerando que por su contenido pueden considerarse como fuentes dietéticas importantes de ácido oleico y linoleico.

El contenido total de ácido grasos saturados fue de 14.93%, ácidos grasos monoinsaturados 33,69% y ácidos grasos poliinsaturados 51,34 %, indicando que el alto contenido de ácidos grasos en el aceite de ajonjolí monoinsaturados y poliinsaturados aumenta la calidad del aceite para el consumo humano, reduciendo el colesterol en sangre y el riesgo de enfermedades cardiovasculares y también desempeñan un papel importante en la prevención del aterosclerosis. [31]

Al comparar la cantidad de ácidos grasos del aceite de ajonjolí después de la extracción en frío publicado en el año 2017 se observa un porcentaje de 15,88 de ácido graso saturado

y 83,27 ácido graso insaturado [30], que al comparar con lo obtenido en la investigación 14,93 de ácido graso saturado y 85,06 ácido graso insaturado, se encuentra dentro del rango.

De acuerdo a la investigación reportada en el año 2018, en donde se compara la cantidad de ácidos grasos en porcentajes de muestras de diferentes países se obtiene en Iraq 5.78, USA 5.80, Irán 5.38, India 5.64, Egipto 5.21, Pakistán 5.80, Libia 5.57, Etiopia 5.92 porcentaje de la relación ácidos grasos insaturado/saturado [31] y al ser comparado con lo indicado en esta investigación 5.69, se puede indicar que este valor se encuentra dentro del rango.

Pereira, Sivakanthan & Vasantharuba (2020), en su investigación indican que en el aceite de ajonjolí los principales ácidos grasos fueron el ácido oleico 39,68% y linoleico 42,96%, que al ser comparados con lo obtenido 33,37±0,01% de ácido oleico y 50,97±0,02 de ácido linoleico, se puede apreciar que no existe variación.

**Tabla 12.** Datos obtenidos de los diferentes ácidos grasos de los aceites de ajonjolí con y sin almacenamiento con alfa tocoferol.

Ácidos grasos	Unidades	Aceite de ajonjolí Tiempo de almacenamiento: 0 meses	Aceite de ajonjolí (sin alfa tocoferol) Tiempo de almacenamiento: 4 meses	Aceite de ajonjolí (0,05% alfa tocoferol) Tiempo almacenamiento: 4 meses
<b>Ácidos grasos saturados</b>				
Ácido Araquídico (C20:0)	%	0.61±0,01	0.62±0,01	0.63±0,01
Ácido mirístico (C14:0)		0,00	0,00	0,13±0,01
Ácido Behénico (C22:0)	%	0.45±0,01	0.46±0,01	0.47±0,01

<b>Ácido Esteárico (C18:0)</b>	%	5,27±0,08	5,24±0,02	5,27±0,01
<b>Ácido palmítico (C16:0)</b>	%	8,36±0,011	8,29±0,03	8,36±0,01
<b>Ácido margárico</b>	%	0,00	0,08±0,01	0,09±0,01
<b>Ácido Lignocérico (C24:0)</b>	%	0,24±0,01	0,25±0,01	0,27±0,01
<b>Ácidos grasos monoinsaturados</b>				
<b>Ácido Eicosenoico (C20: 1n11)</b>	%	0,19±0,001	0,20±0,01	0,21±0,01
<b>Ácido Palmitoleico (C16:1)</b>	%	0,14±0,02	0,15±0,02	0,15±0,02
<b>Ácido Oleico (C18:1n9 CIS)</b>	%	33,37±0,01	33,39±0,01	33,41±0,01
<b>Ácidos grasos poliinsaturados</b>				
<b>Acido alfa linolenico (ALA)</b>	%	0,38±5E-03	0,38±0,02	0,39±0,02
<b>Ácido Linoleico (C18:2n6cis) (Omega 6)</b>	%	50,97±0,02	50,95±0,02	50,61±0,04
<b>Ácidos grasos poliinsaturados</b>				
	%	<b>51,34±0,042</b>	<b>51,33±0,03</b>	<b>51,00±0,05</b>
<b>Ácidos grasos monoinsaturados</b>				
	%	<b>33,69±0,01</b>	<b>33,74±0,05</b>	<b>33,77±0,04</b>
<b>Ácidos grasos saturados</b>				
	%	<b>14,93±0,06</b>	<b>14,92±0,07</b>	<b>15,20±0,03</b>

Nota: Promedio de 3 muestras y la incertidumbre se expresa como desviación estándar.

Al comparar el porcentaje de ácidos grasos del aceite de ajonjolí después de la extracción, después de 4 meses de almacenamiento sin y con la utilización de una concentración de

0,05% alfa-tocoferol (mejor tratamiento de estabilidad oxidativa), se observa que existen cambios en la cantidad de ácidos grasos.

En lo que corresponde a la cantidad de ácidos grasos saturados y poliinsaturados existe diferencia significativa al comparar los tres tratamientos (control, control 4 meses, 0,05% alfa-tocoferol 4 meses), indicando que a 4 meses de almacenamiento con 0,05% alfa-tocoferol se incrementa la cantidad de ácidos grasos saturados de  $14,93 \pm 0,06\%$  control a  $15,20 \pm 0,03\%$  con antioxidante y disminuye para poliinsaturados de  $51,34 \pm 0,042\%$  con respecto al control a  $51,00 \pm 0,05\%$ .

En cambio, la cantidad de ácidos grasos monoinsaturado no existe diferencia significativa, entre el control, control a 4 meses y 0,05% alfa-tocoferol 4 meses, de  $33,69 \pm 0,01$  control a  $33,77 \pm 0,04$  con 0,05% alfa-tocoferol 4 meses.

**Tabla 13.** Datos obtenidos de los diferentes ácidos grasos de los aceites de ajonjolí con y sin almacenamiento con BHT.

<b>Ácidos grasos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Aceite de ajonjolí Tiempo de almacenamiento: 0 meses</b>	<b>Aceite de ajonjolí (sin BHT) Tiempo de almacenamiento: 4 meses</b>	<b>Aceite de ajonjolí (0,02% BHT) Tiempo almacenamiento: 4 meses</b>
<b>Ácidos grasos saturados</b>				
<b>Ácido Araquídico (C20:0)</b>	%	$0,61 \pm 0,01$	$0,62 \pm 0,03$	$0,64 \pm 0,02$
<b>Ácido Behénico (C22:0)</b>	%	$0,45 \pm 0,01$	$0,46 \pm 0,01$	$0,50 \pm 0,02$
<b>Ácido Estéarico (C18:0)</b>	%	$5,27 \pm 0,08$	$5,24 \pm 0,02$	$5,23 \pm 0,01$
<b>Ácido palmítico (C16:0)</b>	%	$8,36 \pm 0,011$	$8,29 \pm 0,03$	$8,35 \pm 0,02$
<b>Ácido margárico</b>	%	0,00	$0,08 \pm 0,01$	0,00

<b>Ácido Lignocérico (C24:0)</b>	%	0,24±0,01	0,25±0,01	0,28±0,00
<b>Ácidos grasos monoinsaturados</b>				
<b>Ácido Eicosenoico (C20: 1n11)</b>	%	0,19±0,001	0,20±0,03	0,22±0,02
<b>Ácido Palmitoleico (C16:1)</b>	%	0,14±0,02	0,15±0,02	0,15±0,02
<b>Ácido Oleico (C18:1n9 CIS)</b>	%	33,37±0	33,39±0,01	33,26±0,02
<b>Ácidos grasos poliinsaturados</b>				
<b>Acido alfa linolenico (ALA)</b>	%	0,38±5E-03	0,38±0,02	0,41±0,01
<b>Ácido Linoleico (C18:2n6cis) (Omega 6)</b>	%	50,97±0,02	50,95±0,02	50,95±0,01
<b>Ácidos grasos poliinsaturados</b>				
<b>Ácidos grasos poliinsaturados</b>	%	<b>51,34±0,042</b>	<b>51,33±0,03</b>	<b>51,36±0,015</b>
<b>Ácidos grasos monoinsaturados</b>	%	<b>33,69±0,01</b>	<b>33,74±0,05</b>	<b>33,63±0,03</b>
<b>Ácidos grasos saturados</b>	%	<b>14,93±0,06</b>	<b>14,92±0,07</b>	<b>15,00±0,03</b>

Nota: Promedio de 3 muestras y la incertidumbre se expresa como desviación estándar.

Después de realizado el análisis estadístico entre los tres tratamientos (control, control 4 meses, 0.02% BHT 4 meses) se obtiene que existe diferencia significativa en el contenido de ácidos grasos monoinsaturados de 33,69±0,01 control a 33,63±0,03 con 0.02% BHT a 4 meses, disminuyendo su valor con 0.02% BHT.

En lo que corresponde a los ácidos grasos poliinsaturados y saturados no existe diferencia significativa al realizar el análisis estadístico, manteniéndose el valor antes y después de su conservación por 4 meses.

Los ácidos grasos (AG) son considerados de interés biológico debido a que el organismo no los sintetiza, como el ácido linolénico (omega 3), ácido linoléico (omega 6) y ácido oleico (omega 9), estudios evidencian que estos AG, mejoran y previenen enfermedades inflamatorias, cardiovasculares, dislipidemia, síndrome metabólico y trastornos neurológicos. [24]

#### **4.4 Estabilidad oxidativa del aceite de ajonjolí y determinación del mejor tratamiento**

La oxidación lipídica es la principal causa del deterioro de los aceites, que afecta sus propiedades organolépticas y su valor nutricional. Al generarse una oxidación ocurren reacciones radicalarias, generando hidroperóxidos, que son consideradas perjudiciales para la salud, ya que puede generar alteraciones en la microbiota intestinal, cáncer, hipertensión y enfermedades cardiovasculares [5].

Para determinar el tiempo de vida útil del aceite de ajonjolí, se realizó una extrapolación matemática del periodo de inducción (IP), obtenidos del equipo Oxitest, a la temperatura promedio de Ambato (15 °C), en la Tabla 15 y 16 se reportan los resultados obtenidos en meses de los tratamientos realizados, utilizando dos antioxidantes uno natural alfa-tocoferol y un sintético BHT, presentado diferencia significativa.

Además, en la tabla 14 y 15 se puede observar que a 0 % (control) sin la adición de ningún antioxidante se obtuvo un tiempo proporcional de estabilidad con un valor de 19.46 horas a 90 °C y 8.19 horas a 100 °C. al compararlo con lo reportado por Davoodi Zanjani N, Ghasemi Afshar P, Adeli Milani M. (2020) que determina el tiempo de vida útil del aceite por extracción en frío utilizando el método Rancimat con un rango de  $7.53 \pm 0.1$  a  $9,48 \pm 0.1$  horas a temperatura de 110 °C, indicando también que hasta la fecha no se ha definido un rango estándar de estabilidad oxidativa del aceite de ajonjolí.

En otra investigación que se evalúa el índice estabilidad oxidativa de ajonjolí por método de Rancimat según Cortez, D y Sánchez, C. (2017) indican valores de 10.45, 4.74 y 2.33 horas a 110, 120 y 130 °C respectivamente, proporcional a los resultados obtenidos en esta investigación 19.46 horas a 90 °C y 8.19 horas a 100 °C de muestra control (TC).

Al comparar la estabilidad oxidativa en meses del control (0% de antioxidantes)  $18,277 \pm 0,24$  meses a 15 °C, con la reportada por Rodríguez, Villanueva, Glorio y Baquerizo (2015), el cual reportan 0,50 años de vida útil a temperaturas de 20, 25 y 30 °C, enfatizando que “debido a que la velocidad de oxidación es exponencialmente

proporcional a la temperatura, la vida útil de un lípido disminuye logarítmicamente con el aumento de la temperatura”.

En la tabla 14 se reportan el tiempo de vida útil utilizando alfa-tocoferol como antioxidante a diferentes concentraciones, observando que el aceite sin la adición de antioxidante tiene un tipo de vida útil menor, aumentando los tiempos de conservación en los tratamientos que contienen el antioxidante.

Al comparar las muestras de aceite con diferentes concentraciones de alfa-tocoferol, con el control (0% de antioxidante)  $18,277 \pm 0,24$  meses, se observa que la cantidad de antioxidante y el tiempo de conservación en meses es directamente proporcional, siendo el mejor tratamiento el que contiene 0,05% de alfa-tocoferol con  $43,72 \pm 3,02$  meses de vida útil.

Al realizar el análisis estadístico se observa que existe diferencia significativa entre los tratamientos, comprobando que el mejor tratamiento es el que se utilizó 0,05% de alfa-tocoferol con  $43,72 \pm 3,02$  meses de vida útil, no presentando diferencias significativas entre las réplicas.

Para la estabilidad del aceite también contribuyen la presencia de antioxidantes liposolubles como la sesamina, sesamolina que contiene el aceite de ajonjolí, estimulando la actividad de la vitamina E en contra de la peroxidación lipídica, inhibiendo la oxidación, actuando como eliminadores biológicos de radicales libres, brindándole gran estabilidad [22].

**Tabla 14.** Tiempo de conservación (Vida útil en meses) del aceite de ajonjolí con adición de tres porcentajes de alfa-tocoferol.

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>Contenido de alfa-tocoferol %</b>	<b>TEMPERATURA °C</b>	<b>VIDA ÚTIL EN MESES</b>
<b>TC</b>	0 (control)	15	$18,277 \pm 0,24$
<b>T1</b>	0,01	15	$27,170 \pm 3,923$
<b>T2</b>	0,03	15	$33,068 \pm 0,414$
<b>T3</b>	0,05	15	$43,721 \pm 3,019$

**Nota:** Promedio de 3 muestras y la incertidumbre se expresa como desviación estándar.

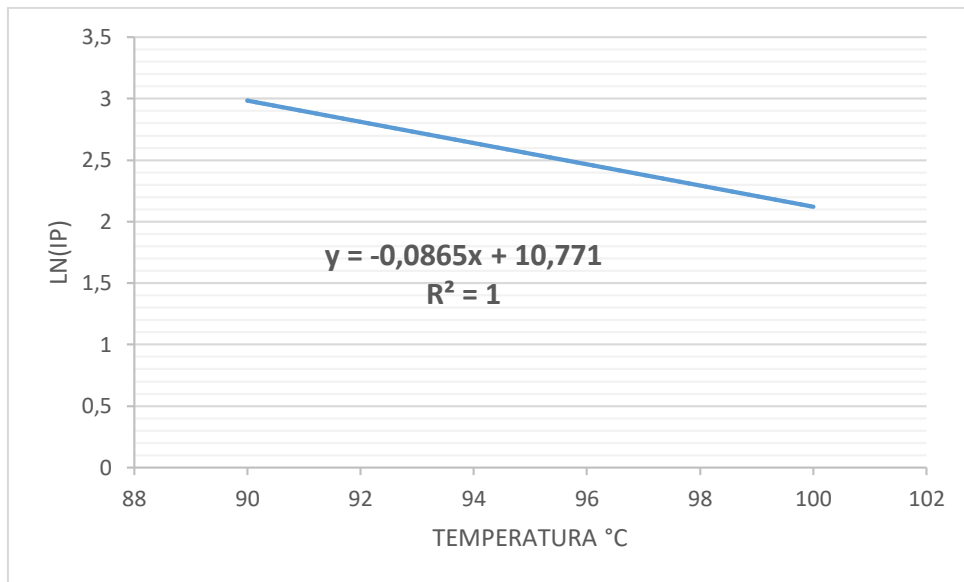


Figura 10. Evaluación de la conservación del aceite de ajonjolí control sin antioxidante.

**Ecuación de la recta**

**(Ecuación 11)**

$$y = mx + c$$

**Dónde:**

**y = Logaritmo natural del periodo de inducción (Ln (IP))**

**m = pendiente de la recta**

**x = 15 °C (temperatura ambiente promedio de Ambato)**

**c = Ordenada en el origen**

$$y = -0,0865x + 10,771$$

$$y = -0,0865x + 10,771$$

$$y = (-0,0865 \cdot 15) + 10,771$$

$$y = 9,4735$$

$$\text{EXP } 9,4735 = 13010,344 \text{ horas}$$

**Vida útil en meses = 18,070**



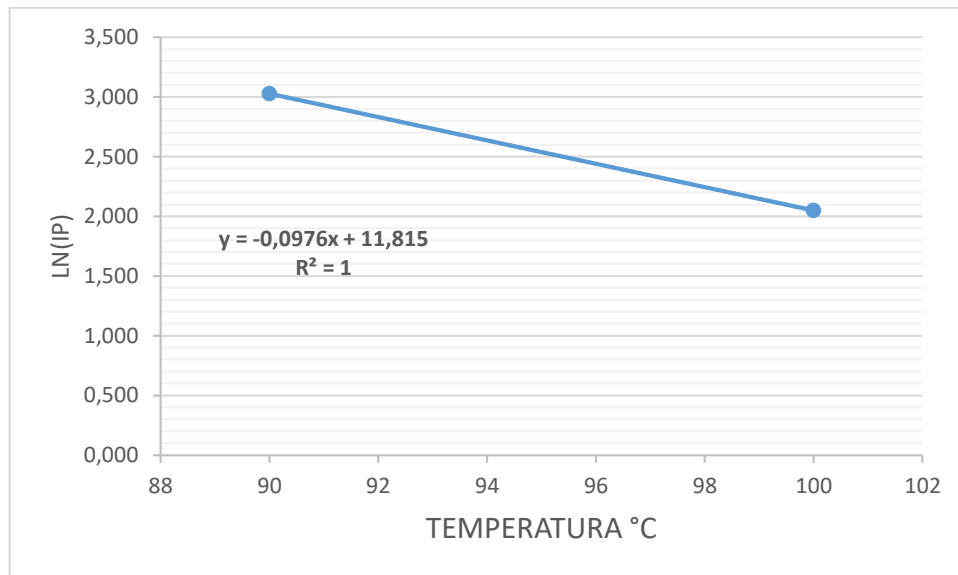


Figura 11. Evaluación de la conservación del aceite de ajonjolí con 0,05% de alfa-tocoferol

#### Ecuación de la recta

$$y = mx + c$$

**Dónde:**

**y = Logaritmo natural del periodo de inducción (Ln (IP))**

**m = pendiente de la recta**

**x = 15 °C (temperatura ambiente promedio de Ambato)**

**c = Ordenada en el origen**

$$y = -0,0976x + 11,815$$

$$y = (-0,0976 \cdot 15) + 11,815$$

$$y = 10,351$$

$$\text{EXP } 10,351 = 31288,3155 \text{ horas}$$

$$\text{Vida útil en meses} = 43,4559$$

En la tabla 15 se observa el tiempo de conservación en meses del aceite de ajonjolí con antioxidante BHT, que también se determinó la estabilidad oxidativa con dos porcentajes (0,01% y 0,02%) que se comparó con el control.

Los resultados obtenidos fueron extrapolados matemáticamente a una temperatura ambiente promedio de 15 °C de la ciudad de Ambato. Al comparar los resultados en meses se observa que el mejor tratamiento Tabla 15 es el aceite con 0.02% de BHT con un tiempo de conservación de  $38,13 \pm 1,73$  meses.

En la figura 11 se observa que la concentración y el tiempo de vida útil en meses es directamente proporcional, notando también que 0% (control) de BHT, el tiempo de vida útil  $18,277 \pm 0,24$  es menor si se compara con el aceite que contiene diferentes concentraciones de BHT,  $32,67 \pm 0,94$  a 0,01% y  $38,13 \pm 1,73$  a 0,02%.

Después de realizado el análisis estadístico se muestra que existe diferencia significativa a un nivel de confianza de 95% entre los tratamientos, no así entre las réplicas, comprobando que el mejor tratamiento, con mayor tiempo de vida útil es el que se utilizó 0.02% de BHT con un tiempo de conservación de  $38,13 \pm 1,73$  meses que conserva el aceite por más tiempo.

Al comparar aceites esenciales (*L. alba*, *R. officinalis* y *A. citrodora*) a diferentes concentraciones (0,1; 0,2; 0,3; 0,4 y 0,5 %) como antioxidantes, con otros utilizados (BHT y BHA al 0,02%) a los 05 días de almacenamiento los aceites se oxidan más que los tratados con BHT y BHA, observando un efecto prooxidante, comprobando que los antioxidantes sintéticos ayudan a mejorar la estabilidad oxidativa, investigación realizada con el aceite de chía y lino [34].

Se han realizado estudios que demuestran que la utilización de antioxidantes naturales como el extracto de la cascara de la fruta estrella, como antioxidante para conservar el aceite de ajonjolí, fue más eficaz que el antioxidante sintético BHT 200 ppm, durante el almacenamiento acelerado en horno hasta 14 días, siendo la cascara de la fruta un antioxidante de bajo costo que se puede utilizar para mejorar la estabilidad oxidativa de los aceites comestibles [38].

El BHT, es uno de los antioxidantes más utilizado en el procesamiento de aceites en la industria alimenticia por su bajo costo y fácil uso [12], utilizado para eliminar radicales libres; el contenido de BHT suplementados depende de la cantidad de lípidos, una dosis elevada podría causar problemas de salud, como daño a los pulmones, es por ello que se están realizando varias investigaciones para sustituir el BHT por antioxidantes naturales que no afecten la salud y que incrementen el tiempo de vida útil de los aceites [33].

**Tabla 15.** Tiempo de conservación (Vida útil en meses) del aceite de ajonjolí con adición de dos porcentajes de BHT.

TRATAMIENTO	Contenido de BHT %	TEMPERATURA °C	VIDA ÚTIL EN MESES
TC	0 (control)	15	18,277±0,24
T1	0,01	15	32,67±0,94
T2	0,02	15	38,13±1,73

Nota: Promedio de 3 muestras y la incertidumbre se expresa como desviación estándar.

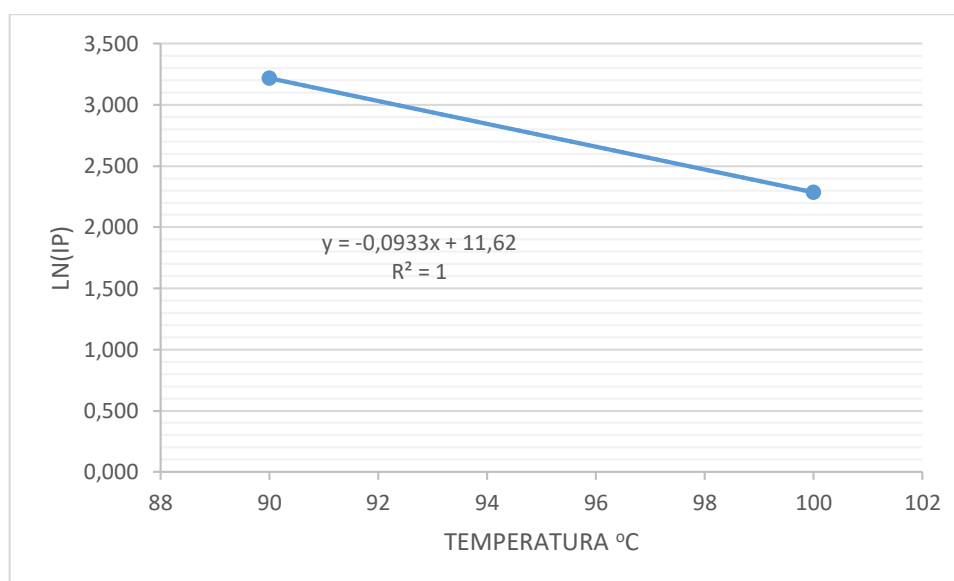


Figura 12. Evaluación de la conservación del aceite de ajonjolí con 0,02% de BHT.

**(Ecuación 11)**

$$y = mx + c$$

**Dónde:**

**y = Logaritmo natural del periodo de inducción (Ln (IP))**

**m = pendiente de la recta**

**x = 15 °C (temperatura ambiente promedio de Ambato)**

**c = Ordenada en el origen**

$$y = -0,0933x + 11,62$$

$$y = (-0,0933*15) + 11,62$$

$$y = 10,2205$$

$$\text{EXP } 10,2205 = 48411,85496 \text{ horas}$$

**Vida útil en meses = 38,139**

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Se extrajo el aceite de ajonjolí por el método de prensado en frío, obteniendo un rendimiento  $32,97 \pm 3,0$  es decir 32,97 g. por cada 100 g. de semilla, siendo este un método ecológico, que brinda una buena conservación de su valor nutricional y de los compuestos bioactivos.
- Se evaluó la estabilidad oxidativa del aceite de ajonjolí utilizando dos antioxidantes, uno natural (alfa-tocoferol) y otro sintético (BHT), a diferentes concentraciones, obteniendo que el mejor tratamiento al utilizar alfa-tocoferol fue a una concentración 0,05% con 43,721 meses y con 0,02% de BHT 38,13 meses, a una temperatura de conservación de 15°C (Temperatura promedio de Ambato).
- Al realizar los análisis fisicoquímicos del aceite de ajonjolí sin la adición de antioxidantes después de la extracción y después de 4 meses de almacenamiento a temperatura ambiente se puede indicar que se encuentran dentro del rango establecido por las NORMAS NTE INEN 8:2012 y CODEX, a excepción del índice de peróxidos que después de 4 meses en la muestra control se reporta un valor de  $11,7 \pm 0,025$ , fuera del rango, indicando que el aceite inicia su proceso de oxidación. En lo que corresponde a los mejores tratamientos utilizando 0,05% de alfa-tocoferol y 0,02% de BHT, al ser comparados con las dos Normas se encuentran dentro del rango permitido, lo que indica que el aceite es de buena calidad para su consumo.
- Se evaluaron también el contenido de ácidos grasos antes y después de 4 meses, con y sin antioxidantes (0,05% alfa/tocoferol y 0,02% BHT) y los mejores tratamientos de estabilidad oxidativa determinada por el método OXITEST. En lo que corresponde al ácido oleico el porcentaje aumenta con la utilización del antioxidante 0,05% alfa-tocoferol de 33,37% a 33,41%, el contenido de ácido linoleico en cambio disminuye de 50,97% a 50,61% a cuatro meses de conservación a temperatura ambiente. En cambio, al comprar los datos obtenidos antes y después de 4 meses con 0,02% BHT, se observa que el contenido de ácido oleico y linoleico disminuye de 33,37% a 33,26% y de 50,97% a 50,95%, respectivamente; siendo los dos ácidos grasos más representativos por su contenido en el aceite de ajonjolí, por ser considerados ácidos grasos esenciales,

que se los obtiene mediante la dieta, siendo de suma importancia para mantener las membranas de todas las células.

## **5.2 Recomendaciones**

- El aceite de ajonjolí posee antioxidantes como tocoferoles, que le brindan mayor estabilidad a la oxidación, es por esta razón que se recomienda realizar investigaciones en las cuales se utilice el aceite como un antioxidante para otros aceites.
- Realizar investigaciones, en las cuales se busquen otros antioxidantes naturales de menor costo para conservar los aceites vegetales, para incrementar el tiempo de vida útil.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Díaz, E. & Córdova, C. (2018). “*Desarrollo de un producto tipo queso vegetal elaborado a base de semillas de ajonjolí*”. (tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- [2] Chere, A. (2021). “*Desarrollo de un pan tipo molde sustituyendo la harina de trigo por harina de semillas de: ajonjolí (Sesamum indicum L.), girasol (Helianthus annuus L.), LINAZA (Linum usitatissimum), calabaza (Cucurbita maxima) y hojuelas de avena (Avena sativa)*”. (tesis de pregrado). Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador.
- [3] Menendez, O. & Ullón, J. (2020). “*Estudio del efecto de los aceites de sacha inchi (Plukenetia huayllabambana), ajonjolí (Sesamum indicum), maní (Arachis hypogaea), en la elaboración de salchicha vegetal tipo “FRANKFURT”*”. (tesis de pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador.
- [4] Herrera, E. (2017). “*Análisis Gastronómico de la Semilla Ajonjolí (Sesamun Indicum) en la ciudad de Guayaquil*”. (tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador
- [5] Cortez, D. & Sánchez, E. (2017). “*Evaluación de la estabilidad oxidativa de la mezcla de aceites de chía (Salvia hispánica l.) y ajonjolí (Sesamum indicum l.)*”. (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote, Perú.
- [6] Mendoza, R. (2020). “*Comparación de hidrocoloides en el proceso de microencapsulamiento de aceite de ajonjolí*”. (tesis de pregrado). Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- [7] Gonzales, J. (2017). “*Determinación del contenido de ácidos grasos cis, trans, saturados, monoinsaturados y poliinsaturados en snacks mediante cromatografía de gases*”. (tesis de pregrado). Universidad Nacional “Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.
- [8] Villanueva, E., Castillo, D. & Rodríguez, G. (2013). “*Influencia de los parámetros Rancimat sobre la determinación del índice de estabilidad oxidativa del aceite de Sesamum*”. Scientia Agropecuaria (4), 173-180.
- [9] Terán, H. (2017). “*Evaluación de la oxidación lipídica de una salsa a base de espinaca (Spinacia oleracea), albahaca (Ocimum Basilicum), utilizando dos tipos de aceites*”.

vegetales: soya (*Glycine max*) y aceite de oliva (*Olea europea*)”. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.

- [10] Lubitza, B. (2019). “*Evaluación del Efecto Antioxidante de Arabinoxilanos del Maíz (Zea Mays) en Aceites Comerciales Utilizando el Método Rancimat*”. (tesis de pregrado). Universidad de Sonora, México.
- [11] Rodríguez, A. (2019). “*Metodologías para la determinación de tocoferoles y tocotrienoles en cereales y frutos secos*”. (tesis de pregrado). Universidad de Jaén, Andalucía, España.
- [12] Santos, E. (2018). “*Estudio de la estabilidad del aceite de Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) a diferentes condiciones de inhibición oxidativa*”. (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- [13] Ríos, J. & Salazar, D. (2018). “*Diseño y construcción de un equipo para la extracción de aceite de sésamo (Sesamum Indicum) y nuez (Juglans Regia)*”. (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador.
- [14] Rodríguez, L. (2011). “*Diseño de una máquina tostadora de ajonjolí de 40 kg/h de capacidad*.” (tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- [15] Ortega, E. (2017). “*Determinar los efectos de diferentes dosis de los biofertilizantes MICRO-ASP y AZOSPITIC (Azospirillum brasilense) en el cultivo de ajonjolí*”. (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Babahoyo, Los Ríos, Ecuador.
- [16] Sánchez, Z. (2018). “*Comportamiento del cultivo del ajonjolí bajo diferentes densidades de población en la granja Santa Inés*”. (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador.
- [17] Guerra, K. (2017). “*Estudio de tres semillas oleaginosas de producción local (Plukenetia volubilis (acha inchi), Sesamum indicum (ajonjolí) y Cucurbita pepo l (zapallo pepo)) para la obtención de aceite comestible de grado alimentario* “. (tesis de pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador.
- [18] Díaz, M., Hernández, H., Salgado, Ma., Cruz, R, Jiménez, J., Miranda, G. & Rayas, A. (2017). *Efecto del almacenamiento en la actividad antioxidante de Sesamum indicum l., tratado térmicamente en horno convencional y microondas*. Vol. 10, Núm. 10, octubre. 2017. pp: 15-21.
- [19] Plua, J., Sanchez, S. & Giler, E. (2017). Características bromatológicas, físicas y organolépticas de conservas de piache (*Arapaimas gigas*) en aceite de sachá inchi



(*Plukenetia huayllabambana*), ajonjolí (*Sesamum indicum*) y maní (*Arachis hypogaea*). Revista Ingeniería e Innovación ISSN: 2346 -0474.

[20] CODEX STAN, «NORMA DEL CODEX PARA ACEITES VEGETALES

ESPECIFICADOS,» 1999. [En línea].

[21] Talavera, P. & Urrutia, M. (2019). “*Evaluación de la calidad química de aceites de Sesamum indicum (ajonjolí) y Linum usitatissimum (linaza) que se expenden en dos Bioferias de los distritos de Miraflores y Barranco en Lima, Perú* “. (tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima Perú.

[22] Melo, D., Álvarez, M., Núñez, M., Costa, A., Machado, S., Alves, R., Pardo, J. & Oliveira, M. (2021). “*Whole or Defatted Sesame Seeds (Sesamum indicum L.)? The Effect of Cold Pressing on Oil and Cake Quality* “. Foods 2021, 10, 2108.

[23] Gharby, S., Harhar, H., Bouzoubaa, Z., Asdadi, A., Yadini, E. & Charrouf, Z. (2017). “*Chemical characterization and oxidative stability of seeds and oil of sesame grown in Morocco* “. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 16, 105-111.

[24] Pascual, k. & Flores, G. (2020). “*Determinación de las características físico-químicos, capacidad antioxidante y perfil de ácidos grasos del aceite de Ungurahui (Oenocarpus batauaa cMart)* “. (tesis de pregrado). Universidad Peruana Unión, Lima, Perú.

[25] Paucar, L., Salvador, R., Guillen, S., Capa, J. & Moreno, C. (2015). “*Estudio comparativo de las características físico-químicas del aceite de sacha inchi (Plukenetia volubilis l.), aceite de oliva (Olea europaea) y aceite crudo de pescado* “. Scientia Agropecuaria 6 (4): 279 – 290

[26] Melara, A. (2017). “*Diseño de un sistema de gestión de riesgos en la cadena de suministros que optimice el proceso exportador de ajonjolí en El Salvador* “. (tesis de pregrado). Universidad Dr. José Matías Delgado, La Libertad, El Salvador.

[27] Herrera, E. (2017). “*Análisis Gastronómico de la Semilla Ajonjolí (Sesamun Indicum) en la ciudad de Guayaquil* “. (tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

[28] Chancasanampa, Y. & Mucha, J. (2019). “*Evaluación de la emulsión, ácidos grasos y características sensoriales en la elaboración de salchichas sustituyendo grasa por aceite vegetal* “. (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.

- [29] Robles, E. (2021). "*Caracterización de compuestos fenólicos en extractos de origen vegetal*". (tesis de pregrado). Universidad de Jaén, España.
- [30] Shi, L., Li, Z., Liu, R., Chang, M., Jin, Q. & Wang, X. (2017). *Chemical Characterization, Oxidative Stability, and In Vitro Antioxidant Capacity of Sesame Oils Extracted by Supercritical and Subcritical Techniques and Conventional Methods: A Comparative Study Using Chemometrics*. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 1700326 (1 of 11)
- [31] Kurt, C. (2018). "*Variation in oil content and fatty acid composition of sesame accessions from different origins*". *GRASAS Y ACEITES* 69 (1) January–March 2018, e241 ISSN-L: 0017-3495
- [32] Davoodi Zanjani N, Ghasemi Afshar P. & Adeli Milani M. (2020). "*Evaluation of the Composition and Oxidative Stability of Cold-pressed Sesame Oils in the Market of Zanjan Province, Iran (2019)*". *J Hum Environ Health Promot*. 2020; 6(4): 159-66
- [33] Phuong Thao, P., Thi Thu Hang, T., Le Nguyet, P. & Vu Hong Son. (2021). "*Investigating the Potential of Vietnamese Tea Seed Oil (Camellia sinensis O.Kuntze) for the Enhancement of Oxidative Stability in Vegetable Oils*". *Vietnam Journal of Agricultural Sciences*; 4(1): 955-964.
- [34] Jung, H., Kim, I., Jung, S. & Lee, J. (2021). "*Oxidative stability of chia seed oil and fax seed oil and impact of rosemary (Rosmarinus ofcinalis L.) and garlic (Allium cepa L.) extracts on the prevention of lipid oxidation*". Jung et al. *Appl Biol Chem* 64:6.
- [35] Rodríguez, G., Villanueva, E., Glorio, P. & Mery Baquerizo, M. (2015). "*Estabilidad oxidativa y estimación de la vida útil del aceite de sacha inchi (Plukenetia volubilis L.)*". *Scientia Agropecuaria* vol.6 no.3.
- [36] Hurtado, A. (2018). "*Plan de negocio para la creación de una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de mantequilla de ajonjolí en el sector Dr. Teodoro Wolf de la ciudad de Guayaquil, 2017*". (tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- [37] Rojas, K. (2019). "*Obtención y extracción de aceites vegetales*". (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Educación, Lima, Perú.

- [38] Pereira, J., Sivakanthan, S., & Vasantharuba, S. (2020). ‘‘*Effect of Star Fruit (Averrhoa carambola L.) By-product on Oxidative Stability of Sesame (Sesamum indicum) Oil under Accelerated Oven Storage and during Frying*’’. *Journal of Oleo Science* 69, (8) 837-849.
- [39] Chaves, J., Ortiz, D., Bahos, E., Ordoñez, G., & Villota, D. (2020). ‘‘*Análisis del perfil de ácidos grasos y propiedades fisicoquímicas del aceite de palma de mil pesos (Oenocarpus Bataua)*’’. *Escuela de Nutrición y Dietética, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia* Vol. 22 N.º 2, julio-diciembre de 2020, pp. 175-188.
- [40] Sankaran, S., Prabhakaran, K. & Rajendrakumar, P. (2018). ‘‘*Experimental and quantum chemical investigations on the oxidative stability of sesame oil base stock with synthetic antioxidant additives*’’. *Lubrication Science*. 1–15.
- [41] Ronayde, P. (2000). ‘‘*Importancia de los ácidos grasos poliinsaturados en la alimentación del lactante*’’. *Arch.argent.pediatr* 2000; 98(4): 231
- [42] Redondo, L. (2018). ‘‘*Improving the oxidative stability of oils and fats with natural products*’’. (tesis doctoral). Universidad Católica de Valencia, Valencia, España.
- [43] Delgado, A., Palacio, O. & Aperador, W. (2015). ‘‘*Efecto de Butil Hidroxitolueno (BHT) en la Estabilidad Oxidativa de un Lubricante a Base de Aceite de Ajonjolí*’’ *Inf. tecnol.* vol.26 no.4 La Serena ago.
- [44] Plua, J. & Gilver E. (2020). ‘‘*Estudio del efecto de los aceites de sacha inchi (Plukenetia huayllabambana), ajonjolí (Sesamum indicum), maní (Arachis hypogaea), en la conservación de Paiche (Arapaima gigas)*’’. (tesis pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Los Ríos, Ecuador.
- [45] Torres, A. (2018). ‘‘*Extracción de aceite a partir de semilla de GRANADILLA (Passiflora ligularis) por prensado en frío y solvente orgánico*’’. (tesis pregrado). Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Resultados a diferentes temperaturas obtenido del equipo OXITEST con antioxidante BHT a diferentes concentraciones.

**Tabla 16.** Valores IP del aceite de ajonjolí obtenido del equipo Oxitest y vida útil con BHT

CONTROL								
TRATAMIENTOS °C		HORAS	MINUTOS	IP (HORAS)	LN (IP)	ECUACIÓN DE LA RECTA	r <sup>2</sup>	Ln IP (15°C)
90	R1	19	46	19,77	2,984	y = -0,0865x + 10,771	1	9,4735
100	R1	8	19	8,32	2,119			
90	R2	19	43	19,72	2,982	y = -0,0869x + 10,803	1	9,4995
100	R2	8	16	8,27	2,113			
90	R3	19	42	19,7	2,981	y = -0,0867x + 10,782	1	9,4815
100	R3	8	17	8,28	2,114			
BHT 0,01%								
TRATAMIENTOS °C		HORAS	MINUTOS	IP (HORAS)	LN (IP)	ECUACIÓN DE LA RECTA	r <sup>2</sup>	Ln IP (15°C)
90	R1	24	9	24,15	3,184	y = -0,0915x + 11,422	1	10,0495
100	R1	9	40	9,67	2,269			
90	R2	24	12	24,2	3,186	y = -0,0921x + 11,48	1	10,0985
100	R2	9	38	9,63	2,265			
90	R3	24	10	24,17	3,185	y = -0,0915x + 11,421	1	10,0485
100	R3	9	41	9,68	2,270			
BHT 0,02%								
TRATAMIENTOS °C		HORAS	MINUTOS	IP(HORAS)	LN (IP)	ECUACIÓN DE LA RECTA	r <sup>2</sup>	Ln IP (15°C)
90	R1	25	0	25	3,219	y = -0,0933x + 11,62	1	10,2205
100	R1	9	50	9,83	2,285			
90	R2	24	45	24,75	3,209	y = -0,0941x + 11,676	1	10,2645
100	R2	9	40	9,66	2,268			
90	R3	25	1	25,02	3,220	y = -0,0927x + 11,564	1	10,1735
100	R3	9	54	9,9	2,293			

**Anexo 2:** Tablas de análisis estadísticos de la vida útil del aceite de ajonjolí con antioxidante BHT.

**Tabla 17.** Análisis de Varianza para VIDA ÚTIL - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTOS	631,303	2	315,652	469,57	0,0000
B:RÉPLICAS	5,20247	2	2,60123	3,87	0,1161
RESIDUOS	2,68887	4	0,672217		
TOTAL (CORREGIDO)	639,195	8			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Tabla 18.** Pruebas de Múltiple Rangos para VIDA ÚTIL por TRATAMIENTOS

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
CONTROL	3	18,2767	0,473363	X	c
BHT 0,01%	3	32,67	0,473363	X	b
BHT 0,02%	3	38,1333	0,473363	X	a

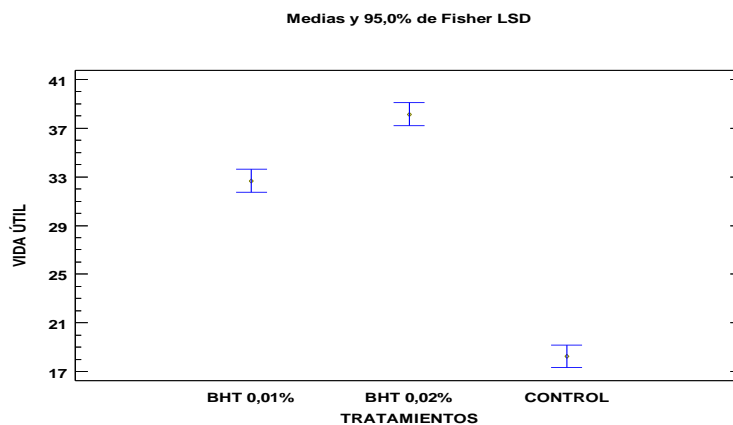


Figura 13. Relación de la vida útil del aceite de ajonjolí con antioxidante BHT.

Date [dd/mm/yy]	Time [h:mm]	Analysis Time [h:mm]	S/N	Sample Name	Weight [g]	Reactor	Set point P [bar]	Set point T [°C]	Calculatio Method	IP [h:mm]	
08/12/21	8:31	15:29	318704	03021065F-RA	7,000	A	6,00	100,0	LSM	11:48	Y =
08/12/21	8:31	15:29	318704	03021065F-RB	7,000	B	6,00	100,0	LSM	12:41	Y =

Average	12:14	
Standard deviation	0:37	

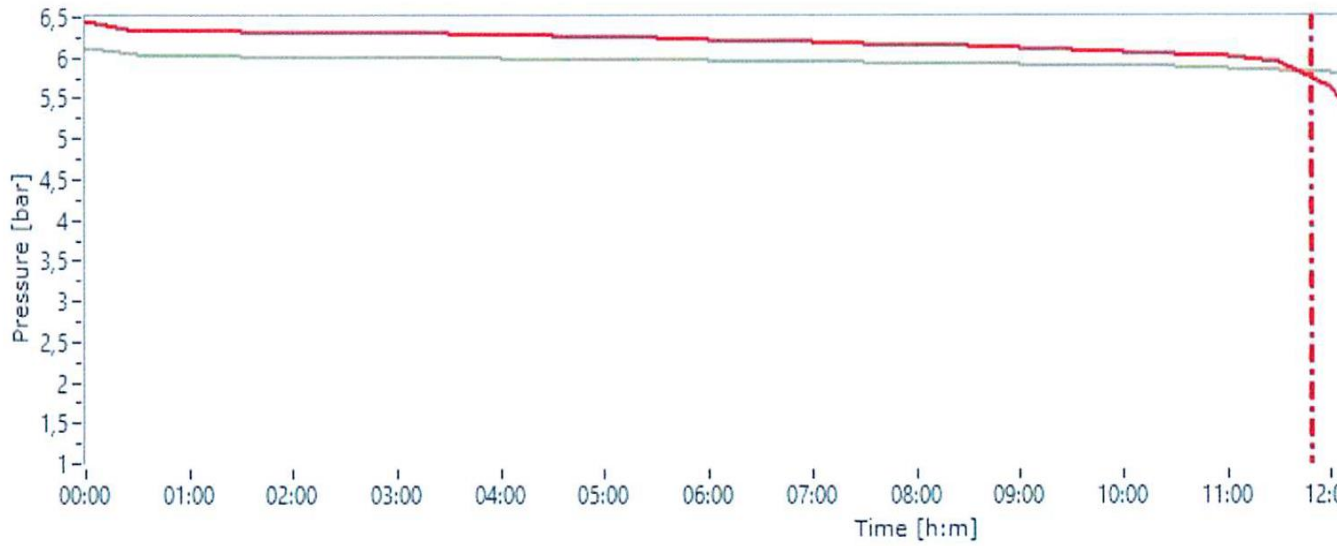


Figura 14. Resultado del equipo OXITEST en el análisis de vida útil del aceite de ajonjolí a 100 °C **Anexo 3.** Resultados a diferentes temperaturas obtenido del equipo OXITEST con antioxidante alfa-tocoferol a diferentes concentraciones.

**Tabla 19.** Valores IP del aceite de ajonjolí obtenido del equipo Oxitest y vida útil con alfa-tocoferol.

°C		HORAS	MINUTOS	IP(HORAS)	LN (IP)	ECUACIÓN DE LA RECTA	r <sup>2</sup>	Ln IP (15°C)	Ant Ln IP (15°C)	DIAS	V
	R1	19	46	19,77	2,984	y = -0,0866x + 10,774	1	9,475	13029,874	542,911	
	R1	8	19	8,32	2,119						
	R2	19	43	19,72	2,982	y = -0,0869x + 10,803	1	9,4995	13353,049	556,377	
	R2	8	16	8,27	2,113		1				
	R3	19	42	19,7	2,981	y = -0,0867x + 10,782	1	9,4815	13114,844	546,452	
	R3	8	17	8,28	2,114						
<b>L 0,05%</b>											
OS		HORAS	MINUTOS	IP(HORAS)	LN (IP)	ECUACIÓN DE LA RECTA	r <sup>2</sup>	Ln IP (15°C)	Ant Ln IP (15°C)	DIAS	V
	R1	20	38	20,63	3,027	y = -0,0976x + 11,815	1	10,351	31288,3155	1303,680	
	R1	7	46	7,77	2,050		1				
	R2	20	35	20,58	3,024	y = -0,0987x + 11,907	1	10,4265	33742,04619	1405,919	
	R2	7	40	7,67	2,037		1				
	R3	20	36	20,62	3,026	y = -0,0968x + 11,741	1	10,289	29407,35229	1225,306	
	R3	7	50	7,83	2,058						
<b>L 0,03%</b>											

°C		HORAS	MINUTOS	IP(HORAS)	LN (IP)	ECUACIÓN DE LA RECTA	r <sup>2</sup>	Ln IP (15°C)	Ant Ln IP (15°C)	DIAS	V
	R1	19	42	19,7	2,981	y = -0,0936x + 11,4		9,996	21938,53591	914,106	
	R1	7	44	7,73	2,045		1				
	R2	19	54	19,9	2,991	y = -0,0953x + 11,571		10,1415	25374,4997	1057,271	
	R2	7	40	7,67	2,037						
	R3	19	47	19,78	2,985	y = -0,0947x + 11,511		10,0905	24112,84584	1004,701	
	R3	7	40	7,67	2,037						

L 0,01%

°C		HORAS	MINUTOS	IP(HORAS)	LN (IP)	Ecuación	r <sup>2</sup>	Ln IP (15°C)	Ant Ln IP (15°C)	V
	R1	18	36	18,6	2,923	y = -0,0931x + 11,304	1	9,9075	20080,41016	836,684
	R1	7	20	7,33	1,992					
	R2	18	33	18,55	2,920	y = -0,0906x + 11,071	1	9,712	16514,59807	688,108
	R2	7	30	7,5	2,015					
	R3	18	40	18,63	2,925	y = -0,0944x + 11,419	1	10,003	22092,64441	920,527
	R3	7	15	7,25	1,981					

Software version: 3.1.3

Operator Name:

Date	Time	Analysis Time	S/N	Sample Name	Weight	Reactor	Set point P	Set point T	Calculation Method	IP	C
[dd/mm/yy]	[h:mm]	[h:mm]			[g]		[bar]	[°C]		[h:mm]	
13/12/21	8:06	11:29	318704	03021063D-RA	7,000	A	6,00	100,0	LSM	7:22	Y = -0,0
13/12/21	8:06	11:29	318704	03021063D-RB	7,000	B	6,00	100,0	LSM	8:11	Y = -0,0

Average	7:46	-0,0
Standard deviation	0:34	0,0

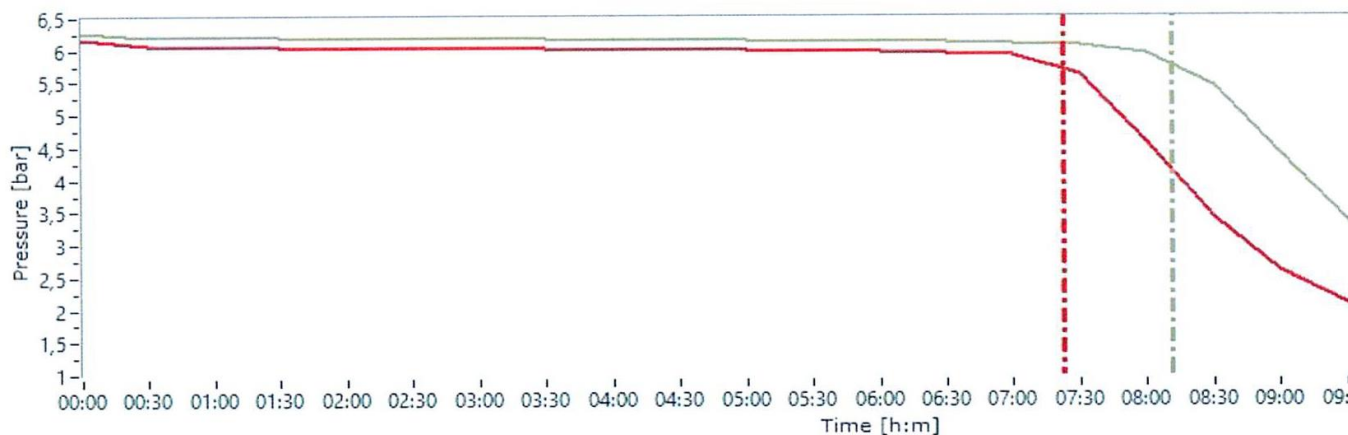


Figura 15. Resultado del equipo OXITEST en el análisis de vida útil del aceite de ajonjolí a 100 °C con alfa-tocoferol. Anexo 4: Tablas de análisis estadísticos de la vida útil del aceite de ajonjolí con antioxidante Alfa-tocoferol.

Tabla 20. Análisis de Varianza para VIDA ÚTIL (MESES) - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTOS	1024,54	3	341,514	34,93	0,0003
B:RÉPLICAS	2,04622	2	1,02311	0,10	0,9023
RESIDUOS	58,6606	6	9,77677		

TOTAL (CORREGIDO)	1085,25	11			
-------------------	---------	----	--	--	--

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Tabla 21.** Pruebas de Múltiple Rangos para VIDA ÚTIL (MESES) por TRATAMIENTOS

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

TRATAMIENTOS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos	Grupos Homogéneos
CONTROL	3	18,29	1,80525	X	c
ALFA TOCOFEROL 0,01%	3	27,17	1,80525	X	b
ALFA TOCOFEROL 0,03%	3	33,0667	1,80525	X	b
ALFA TOCOFEROL 0,05%	3	43,72	1,80525	X	a

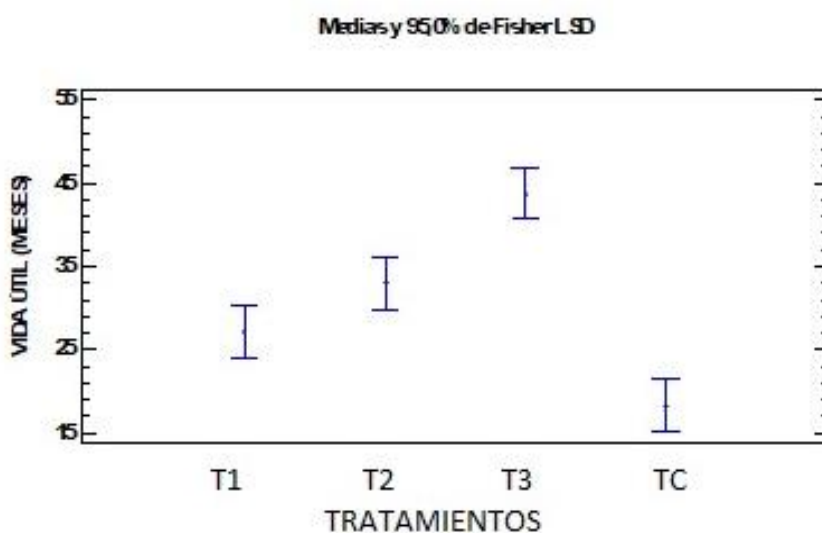


Figura 16. Relación de la vida útil del aceite de ajonjolí con antioxidante Alfa-tocoferol.

**Anexo 5:** Tablas de análisis estadísticos de la vida útil del aceite de ajonjolí con alfa-tocoferol y BHT

**Tabla 22.** Pruebas de Múltiple Rangos para VIDA ÚTIL (MESES) por TRATAMIENTOS

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

TRATAMIENTOS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos	Grupos Homogéneos
CONTROL	3	18,29	1,46061	X	d
ALFA TOCOFEROL 0,01%	3	27,17	1,46061	X	c



BHT 0,01%	3	32,67	1,46061	XX	bc
ALFA TOCOFEROL 0,03%	3	33,0667	1,46061	XX	bc
BHT 0,02%	3	38,1367	1,46061	XX	ab
ALFA TOCOFEROL 0,05%	3	43,72	1,46061	X	a

Mejores tratamientos BHT 0,02% y ALFA TOCOFEROL 0,05

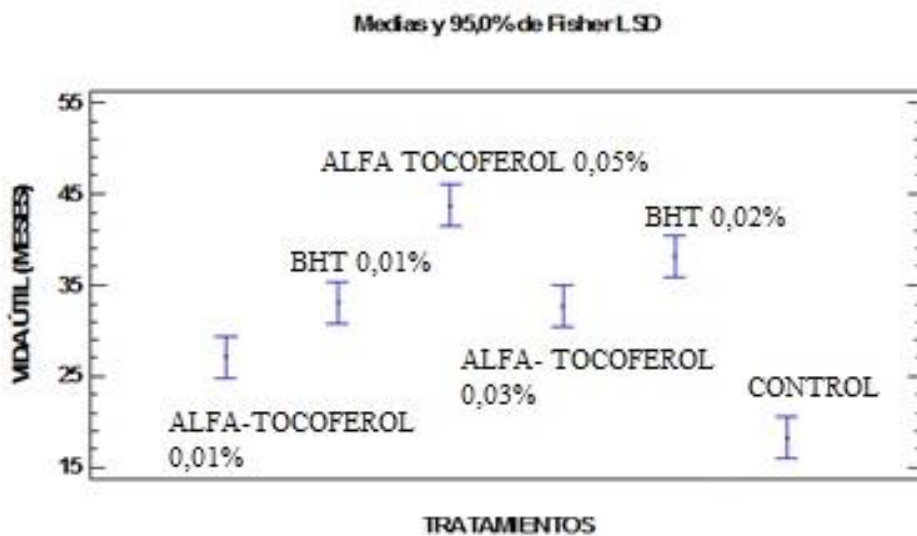


Figura 17. Relación de la vida útil del aceite de ajonjolí con antioxidante Alfa-tocoferol y BHT

**Anexo 6:** Análisis de Varianza de los análisis Fisicoquímicos con Alfa-tocoferol.

**Tabla 23.** Análisis de Varianza para ÌNDICE DE PERÓXIDO - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTOS	94,7998	2	47,3999	50188,11	0,0000
B:RÉPLICAS	0,00242222	2	0,00121111	1,28	0,3713

RESIDUOS	0,00377778	4	0,000944444		
TOTAL (CORREGIDO)	94,806	8			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Tabla 24.** Pruebas de Múltiple Rangos para ÍNDICE DE PERÓXIDO por TRATAMIENTOS

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

TRATAMIENTOS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos	Grupos Homogéneos
ALFA TOCOFEROL 0,05 A 4 MESES	3	4,58667	0,017743	X	a
CONTROL 0 MESES	3	5,07667	0,017743	X	b
CONTROL 4 MESES	3	11,7033	0,017743	X	c

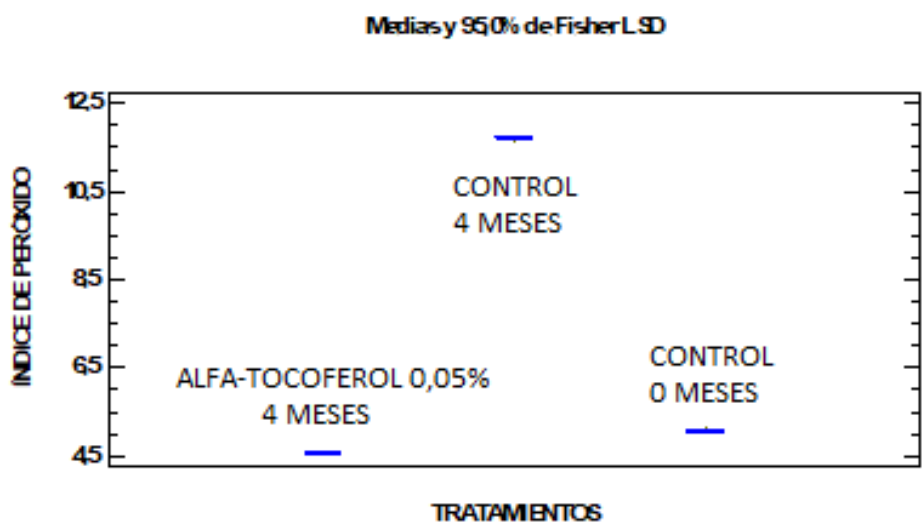


Figura 18. Relación del índice de peróxido por el mejor tratamiento de alfa-tocoferol

**Tabla 25.** Análisis de Varianza para ACIDEZ - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTOS	0,00202222	2	0,00101111	165,45	0,0001
B:RÉPLICAS	0,0000108889	2	0,00000544444	0,89	0,4786
RESIDUOS	0,0000244444	4	0,00000611111		
TOTAL (CORREGIDO)	0,00205756	8			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Tabla 26.** Pruebas de Múltiple Rangos para ACIDEZ por TRATAMIENTOS

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

TRATAMIENTOS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos	Grupos Homogéneos
ALFA TOCOFEROL 0,05 A 4 MESES	3	0,409	0,00142725	X	a
CONTROL 0 MESES	3	0,425667	0,00142725	X	b
CONTROL 4 MESES	3	0,445667	0,00142725	X	c

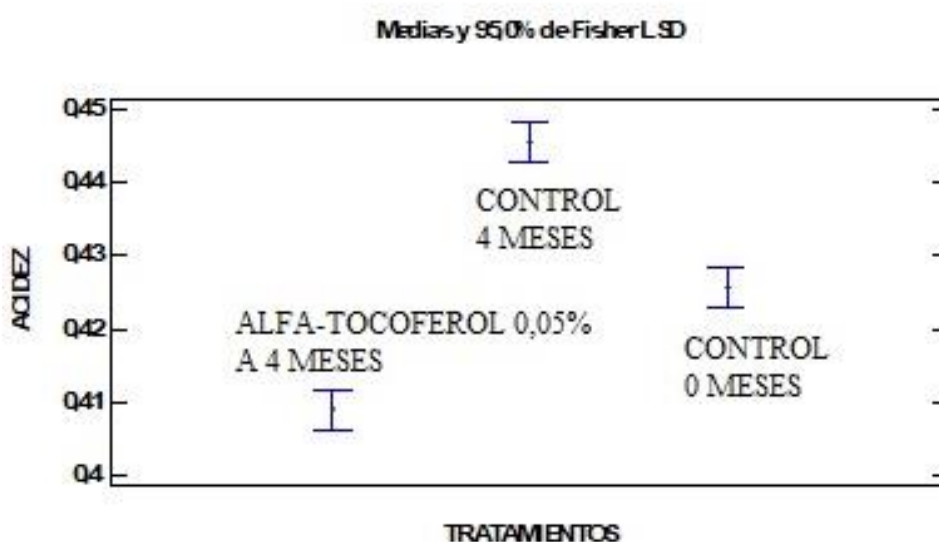


Figura 19. Relación del índice de acidez por el mejor tratamiento de alfa-tocoferol

**Tabla 27.** Análisis de Varianza para ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTOS	377,269	2	188,634	3772,69	0,0000
RESIDUOS	0,3	6	0,05		
TOTAL (CORREGIDO)	377,569	8			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Tabla 28.** Pruebas de Múltiple Rangos para ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN por TRATAMIENTOS

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0,05% ALFA-TOCOFEROL 4 MESES	3	186,767	0,129099	X	a
CONTROL	3	188,133	0,129099	X	b
CONTROL 4 MESES	3	201,133	0,129099	X	c

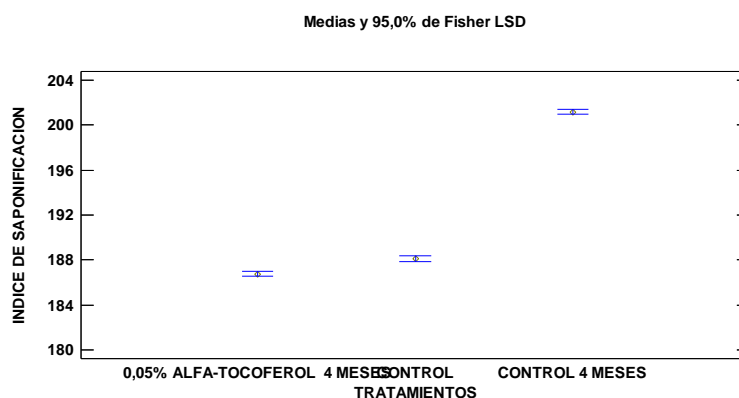


Figura 20. Relación del índice de saponificación por el mejor tratamiento de alfa-tocoferol

**Tabla 29.** Análisis de Varianza para ÍNDICE DE REFRACCIÓN - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTOS	0,00000186889	2	9,34444E-7	1,89	0,2644
B:RÉPLICAS	0,00000422222	2	0,00000211111	4,27	0,1018
RESIDUOS	0,00000197778	4	4,94444E-7		
TOTAL (CORREGIDO)	0,00000806889	8			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

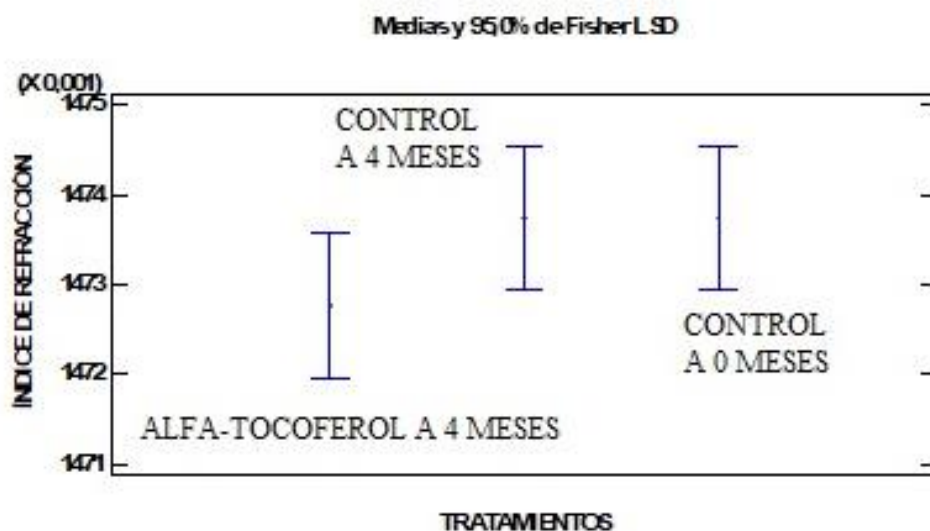


Figura 21. Relación del índice de refracción por el mejor tratamiento de alfa-tocoferol

Tabla 30. Análisis de Varianza para ÍNDICE DE YODO - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:TRATAMIENTOS	337,105	2	168,553	10527,23	0,0000
B:RÉPLICAS	0,0626889	2	0,0313444	1,96	0,2554
RESIDUOS	0,0640444	4	0,0160111		
TOTAL (CORREGIDO)	337,232	8			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla 31. Pruebas de Múltiple Rangos para ÍNDICE DE YODO por TRATAMIENTOS

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
CONTROL	3	106,667	0,073055	X	a
0,05% ALFA-TOCOFEROL A LOS 4 MESES	3	119,55	0,073055	X	b
CONTROL A LOS 4 MESES	3	119,747	0,073055	X	b



Figura 22. Relación del índice de yodo por el mejor tratamiento de alfa-tocoferol

**Anexo 7:** Análisis de Varianza de los análisis Físicoquímicos con BHT.

Tabla 32. Análisis de Varianza para ÍNDICE DE PERÓXIDO - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTOS	95,1048	2	47,5524	106992,93	0,0000
B:RÉPLICAS	0,00602222	2	0,00301111	6,78	0,0519
RESIDUOS	0,00177778	4	0,000444444		
TOTAL (CORREGIDO)	95,1126	8			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla 33. Pruebas de Múltiple Rangos para ÍNDICE DE PERÓXIDO por TRATAMIENTOS

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
BHT 0,02 A 4 MESES	3	4,56667	0,0121716	X	a
CONTROL O MESES	3	5,07667	0,0121716	X	b
CONTROL 4 MESES	3	11,7033	0,0121716	X	c

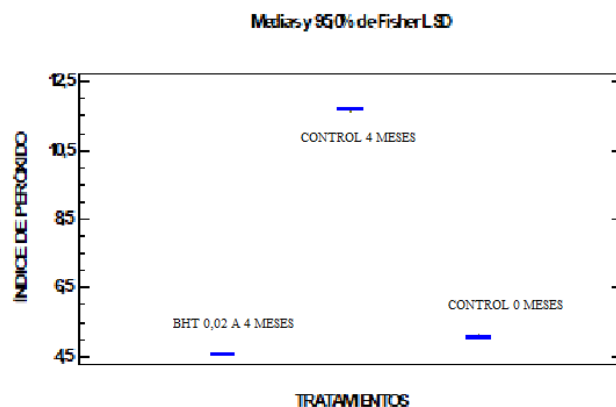


Figura 23. Relación del índice de peróxido por el mejor tratamiento de BHT

Tabla 34. Análisis de Varianza para ÍNDICE DE ACIDEZ - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTOS	0,000688889	2	0,000344444	110,71	0,0003
B:RÉPLICAS	0,0000115556	2	0,00000577778	1,86	0,2689
RESIDUOS	0,0000124444	4	0,00000311111		
TOTAL (CORREGIDO)	0,000712889	8			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla 35. Pruebas de Múltiple Rangos para ÍNDICE DE ACIDEZ por TRATAMIENTOS

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

TRATAMIENTOS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos	
CONTROL 0 MESES	3	0,425667	0,00101835	X	a
BHT 0,02 A 4 MESES	3	0,442333	0,00101835	X	b
CONTROL 4 MESES	3	0,445667	0,00101835	X	b

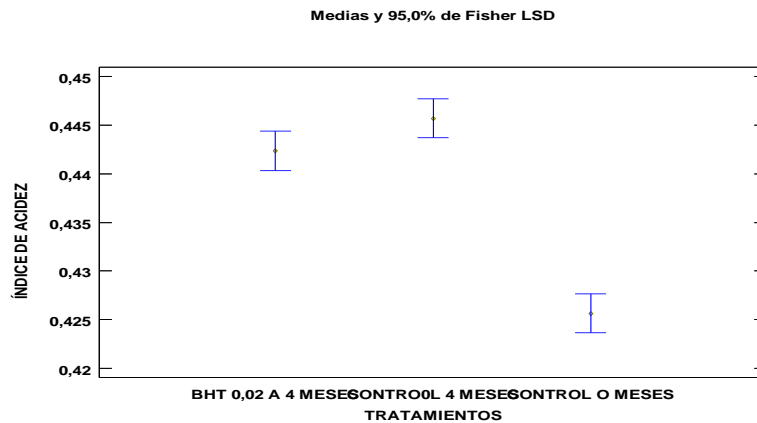


Figura 24. Relación del índice de acidez por el mejor tratamiento de BHT

Tabla 36. Análisis de Varianza para ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTOS	254,142	2	127,071	3267,54	0,0000
RESIDUOS	0,233333	6	0,0388889		
TOTAL (CORREGIDO)	254,376	8			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla 37. Pruebas de Múltiple Rangos para INDICE DE SAPONIFICACION por TRATAMIENTOS

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
CONTROL	3	188,133	0,113855	X	a
0,02% BHT A LOS 4 MESES	3	195,2	0,113855	X	b



CONTROL 4 MESES	3	201,133	0,11385 5	X	c
-----------------	---	---------	--------------	---	---

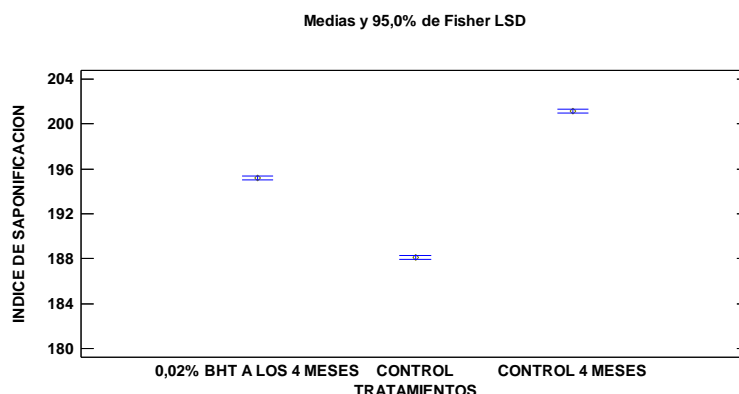


Figura 25. Relación del índice de saponificación por el mejor tratamiento de BHT

**Tabla 38. Análisis de Varianza para ÍNDICE DE REFRACCIÓN - Suma de Cuadrados Tipo III**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTOS	0,0041477	2	0,00207385	4530,25	0,0000
B:RÉPLICAS	5,68889E-7	2	2,84444E-7	0,62	0,5821
RESIDUOS	0,00000183111	4	4,57778E-7		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0041501	8			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Tabla 39. Pruebas de Múltiple Rangos para ÍNDICE DE REFRACCIÓN por TRATAMIENTOS**

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

TRATAMIENTOS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos	Grupos Homogéneos
BHT 0,02 A 4 MESES	3	1,42777	0,000390631	X	a
CONTROL 0 MESES	3	1,47287	0,000390631	X	b
CONTROL 4 MESES	3	1,47373	0,000390631	X	b

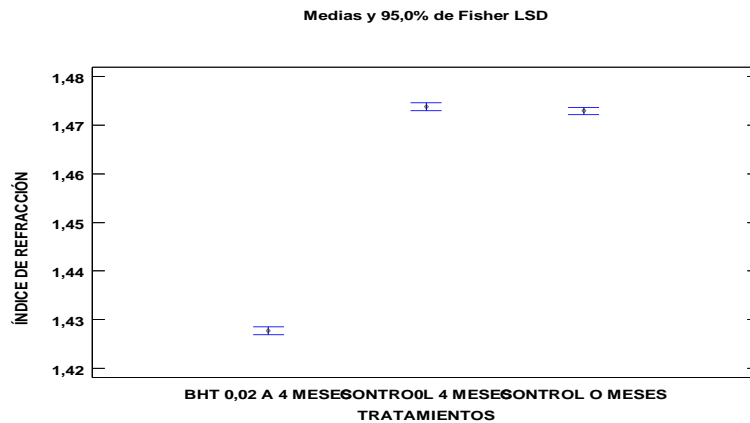


Figura 26. Relación del índice de refracción con el mejor tratamiento de BHT

Tabla 40. Análisis de Varianza para ÍNDICE DE YODO - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTOS	295,879	2	147,94	9284,92	0,0000
B:RÉPLICAS	0,0408667	2	0,0204333	1,28	0,3713
RESIDUOS	0,0637333	4	0,0159333		
TOTAL (CORREGIDO)	295,984	8			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla 41. Pruebas de Múltiple Rangos para ÍNDICE DE YODO por TRATAMIENTOS

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
CONTROL	3	106,667	0,072877 4	X	a
0,02% BHT A LOS 4 MESES	3	117,637	0,072877 4	X	b
CONTROL A LOS 4 MESES	3	119,747	0,072877 4	X	b

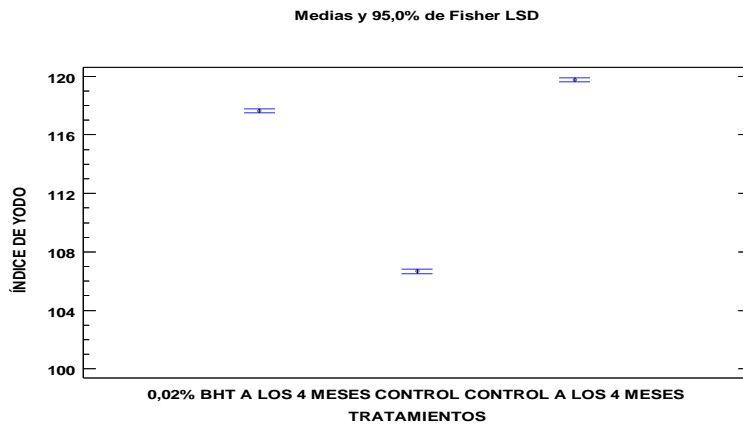


Figura 27. Relación del índice de yodo con el mejor tratamiento de BHT

**Anexo 8:** Análisis de Varianza de ACIDOS GRASOS con BHT.

Tabla 42. Análisis de Varianza para AG POLIINSATURADOS - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTOS	0,00202222	2	0,00101111	1,08	0,3966
RESIDUOS	0,0056	6	0,000933333		
TOTAL (CORREGIDO)	0,00762222	8			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

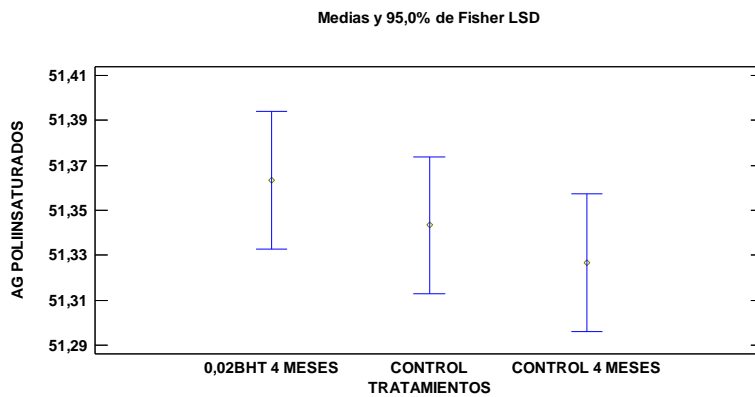


Figura 28. Relación AG POLIINSATURADOS con el mejor tratamiento de BHT

Tabla 43. Análisis de Varianza para AG MONOINSATURADOS - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTOS	0,0171556	2	0,00857778	7,28	0,0248
RESIDUOS	0,00706667	6	0,00117778		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0242222	8			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla 44. Pruebas de Múltiple Rangos para AG MONOINSATURADOS por TRATAMIENTOS

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0,02BHT 4 MESES	3	33,63	0,0198139	X
CONTROL	3	33,69	0,0198139	XX
CONTROL 4 MESES	3	33,7367	0,0198139	X

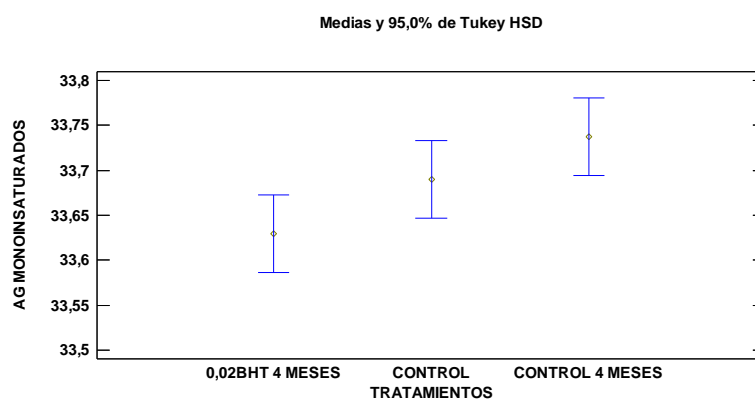


Figura 29. Relación AG MONOINSATURADOS con el mejor tratamiento de BHT

Tabla 45. Análisis de Varianza para AG SATURADOS - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
---------------	--------------------------	-----------	-----------------------	----------------	----------------

EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTOS	0,00746667	2	0,00373333	1,04	0,4094
RESIDUOS	0,0215333	6	0,00358889		
TOTAL (CORREGIDO)	0,029	8			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

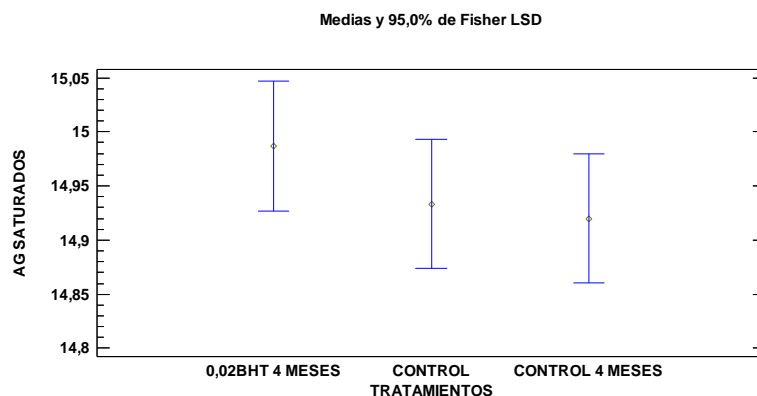


Figura 30. Relación AG SATURADOS con el mejor tratamiento de BHT

### Anexo 9: Análisis de Varianza de ACIDOS GRASOS con ALFA-TOCOFEROL

Tabla 46. Análisis de Varianza para AG SATURADOS - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTOS	0,149689	2	0,0748444	21,32	0,0019
RESIDUOS	0,0210667	6	0,00351111		
TOTAL (CORREGIDO)	0,170756	8			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Tabla 47. Pruebas de Múltiple Rangos para AG SATURADOS por TRATAMIENTOS**

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
CONTROL 4 MESES	3	14,92	0,0342107	X

CONTROL	3	14,9333	0,0342107	X
0,05 ALFA-TOCOFEROL 4 MESES	3	15,2	0,0342107	X

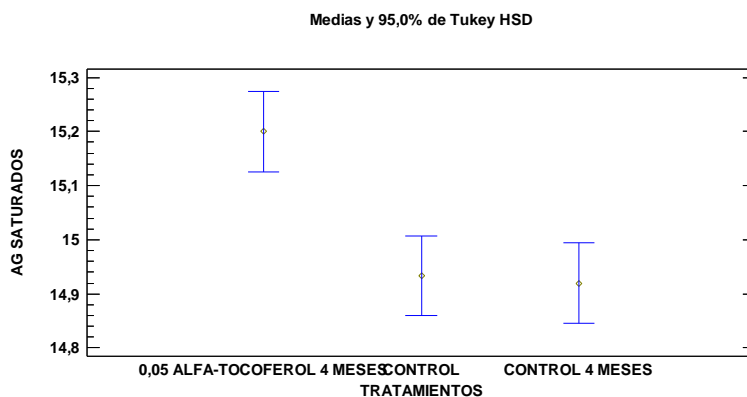


Figura 31. Relación AG SATURADOS con el mejor tratamiento de alfa - tocoferol

Tabla 48. Análisis de Varianza para AG MONOINSATURADOS - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTOS	0,00895556	2	0,00447778	3,57	0,0954
RESIDUOS	0,00753333	6	0,00125556		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0164889	8			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

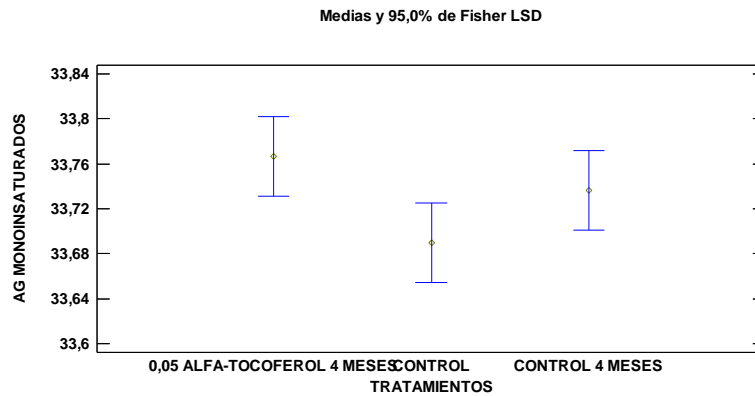


Figura 32. Relación AG MONOINSATURADOS con el mejor tratamiento de alfa - tocoferol

Tabla 49. Análisis de Varianza para AG POLIINSATURADOS - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTOS	0,229356	2	0,114678	71,67	0,0001
RESIDUOS	0,0096	6	0,0016		
TOTAL (CORREGIDO)	0,238956	8			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla 50. Pruebas de Múltiple Rangos para AG POLIINSATURADOS por TRATAMIENTOS

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0,05 ALFA-TOCOFEROL 4 MESES	3	50,9967	0,023094	X
CONTROL 4 MESES	3	51,3267	0,023094	X
CONTROL	3	51,3433	0,023094	X

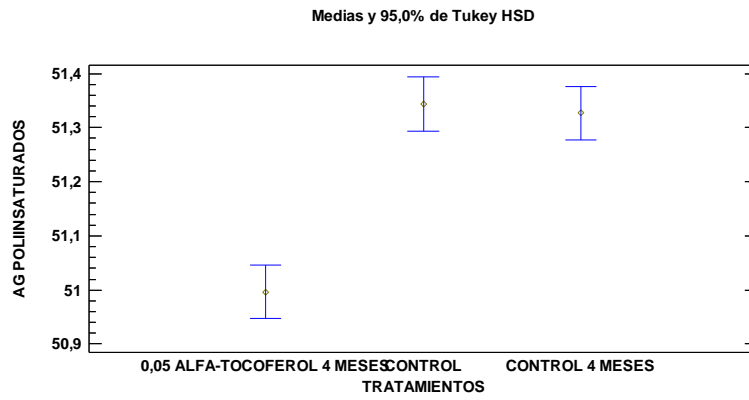


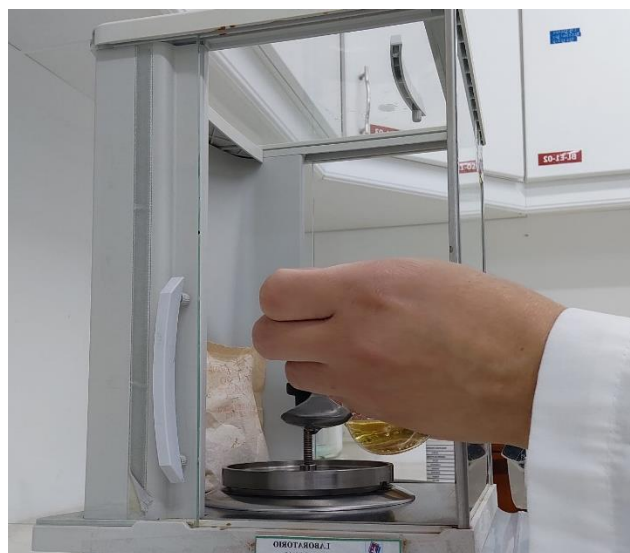
Figura 33. Relación AG POLINSATURADOS con el mejor tratamiento de alfa – tocoferol



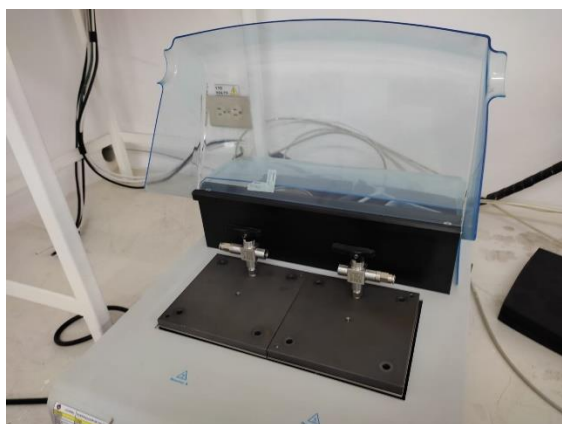
**Anexo 10.** Fotografías del análisis OXITEST a diferentes concentraciones de antioxidante en el aceite de ajonjolí.



**MUESTRA DE ACEITE DE AJONJOLÍ**



**PREPARACIÓN DE LA MUESTRA**



**OXITEST VELP SCIENTIFIC**



**RESULTADOS**