



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS,
ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL**

POSGRADO

MAESTRÍA EN QUÍMICA COHORTE MARZO 2019

Tema:

“EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD OXIDATIVA DEL ACEITE DE CHÍA (*Salvia hispanica* L.) OBTENIDO POR PRENSADO A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE α -TOCOFEROL COMO ANTIOXIDANTE”

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado académico de Magister en Química mención Química Física

Modalidad de titulación proyecto de desarrollo

Autora: Licenciada, Irma Janeth Guayta Guaita

Director: Lic. Jorge Alexander Briceño Carrasquel, Dr.

Ambato - Ecuador

2021

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

A la Unidad de Titulación/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 Ing. Elsa Pilar Urrutia, Mg. e integrado por los señores: Lic. Noroska Gabriela Salazar Mogollón Dra. & el Quím. Lander Vinicio Pérez Aldás, Mg. Designados por la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, para receptar el Trabajo de Titulación con el tema: “Evaluación de la estabilidad oxidativa del aceite de chía (*Salvia hispanica* L.) obtenido por prensado a diferentes concentraciones de α -tocoferol como antioxidante”, elaborado y presentado por la Lic. Irma Janeth Guayta Guaita, 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.



Firmado digitalmente por:
**ELSA PILAR
URRUTIA**

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



Firmado digitalmente por:
**NOROSKA GABRIELA
SALAZAR MOGOLLÓN**

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

**LANDER
VINICIO
PEREZ ALDAS**

Firmado digitalmente por LANDER
VINICIO PEREZ ALDAS
Número de reconocimiento (RFC):
c=EC, o=SECURITY DATA S.A. S.,
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE
INFORMACION,
serialNumber=110820161417,
cn=LANDER VINICIO PEREZ ALDAS
Fecha: 2021.10.27 14:21:45 -0500'

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: “Evaluación de la estabilidad oxidativa del aceite de chía (*Salvia hispanica* L.) obtenido por prensado a diferentes concentraciones de α -tocoferol como antioxidante”, le corresponde exclusivamente a la Lic. Irma Janeth Guayta Guaita, autora bajo la dirección del Lic. Jorge Alexander Briceño Carrasquel Dr., director del trabajo de investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Lic. Irma Janeth Guayta Guaita

AUTORA



Lic. Jorge Alexander Briceño Carrasquel, Dr.

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.



Lic. Irma Janeth Guayta Guaita

0501967103

INDICE GENERAL

Contenido

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
INDICE GENERAL	v
INDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE FIGURAS	xi
DEDICATORIA	xiii
RESUMEN EJECUTIVO	xiv
EXECUTIVE SUMMARY	xv
CAPÍTULO I.....	17
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	17
1.1 Introducción.....	17
1.2 Justificación	20
1.3 Objetivos:	21
1.3.1 General.....	21
1.3.2 Específicos:.....	21
1.4 Hipótesis	21
1.4.1 Hipótesis Nula	21
1.4.2 Hipótesis Alternativa	22
1.5 Descripción de variables.....	22
1.5.1 Variables Independientes.....	22
1.5.2 Variable dependiente	22
CAPÍTULO II.....	23
ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	23
2.1 Origen de la chía.....	23
2.2 Descripción de la chía.....	23
2.3 Semilla de chía	25

2.3.1 Composición de las semillas de chía	26
2.3.1.1 Lípidos	27
2.3.1.2 Proteínas	28
2.3.1.3 Fibra.....	29
2.3.1.4 Vitaminas y minerales	29
2.4 Importancia alimenticia de la chía.....	30
2.4.1 La chía como alimento moderno	30
2.5 Aceite de chía	31
2.5.1 Características del aceite de chía	31
2.5.2 Contenidos de ácidos grasos poliinsaturados en el aceite de chía.....	31
2.5.3 Característica físico – química del aceite de chía.....	32
2.5.4 Aplicaciones del aceite de chía.....	33
2.6 Métodos de extracción del aceite de chía	34
2.6.1. Extracción de aceite de semillas por prensado:	35
2.7 Antioxidantes.....	35
2.7.1 Características e importancia de los antioxidantes	35
2.8 La vitamina E (Alfa Tocoferol)	36
2.9 Evaluación Oxidativa	36
CAPITULO III	40
METODOLOGÍA.....	40
3.1 Materias primas	40
3.2 Equipos	40
3.3 Reactivos	40
3.4 Materiales	41
3.5 Procedimiento.....	41
3.5.1 Extracción del aceite de chía	41
3.5.1.1 Rendimiento de la extracción de aceite de chía.....	42
3.5.2 Análisis fisicoquímico del aceite de chía	42

3.5.2.1 pH	42
3.5.2.2 Humedad.....	42
3.5.2.3 Índice de Acidez (expresado en ácido oleico)	42
3.5.2.4 Índice de Peróxido	43
3.5.3 Calidad nutricional del aceite de chía.....	43
3.5.3.1 Perfil de ácidos grasos del aceite	43
3.6 Determinación de la estabilidad oxidativa del aceite de chía	53
3.7 Almacenamiento del aceite de chía: a temperatura ambiente.....	55
3.8 Análisis estadístico	56
CAPÍTULO IV	57
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
4.1 Rendimiento de la extracción de aceite de chía.....	57
4.2 Análisis de parámetros fisicoquímicos	59
4.3 Identificación y cuantificación de ácidos grasos del aceite de Chía.....	61
4.3 Estabilidad oxidativa del aceite de chía y determinación del mejor tratamiento	71
4.4 Verificación de la hipótesis	76
CAPÍTULO V	77
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
5.1 Conclusiones.....	77
5.2. Recomendaciones	79
BIBLIOGRAFÍA	80
ANEXOS	85
Anexo 1: Tablas de resultados obtenidos del equipo OXITEST.....	85
Anexo 2: Tablas de análisis estadísticos de la vida útil del aceite de chía.	88
Anexo 3. Perfil de ácidos grasos del aceite de chía durante el almacenamiento.....	91
Anexo 4. Análisis fisicoquímico del aceite de chía.....	93
Anexo 5. Tablas de análisis estadísticos de los ácidos grasos con el tiempo de conservación	93
Anexo 6. Fotografía del proceso de extracción de aceite de chía.....	96

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de la semilla de chía	24
Tabla 2. Valor nutricional de las semillas de chía.....	27
Tabla 3. Perfil de Aminoácidos de la semilla de Chía (G por 100 g de proteína bruta). 28	
Tabla 4. Datos obtenidos del factor de calibración del Fame Mix C8 – C2.....	49
Tabla 5. Pesos moleculares de ésteres metílicos de los ácidos grasos y pesos Moleculares de sus respectivos ácidos grasos	50
Tabla 6. Datos obtenidos del porcentaje de ácido palmítico	53
Tabla 7. Tratamientos de conservación del aceite de chía con alfa-tocoferol (Vitamina E)	53
Tabla 8. Datos obtenidos del rendimiento de extracción del aceite de chía.....	57
Tabla 9. Análisis Fisicoquímico del aceite de chía	59
Tabla 10. Cromatograma del estándar FAME MIX C8-22 y los cinco esteres de ácidos grasos identificados por el detector de masas presentes en el aceite de chía	62
Tabla 11. Cromatograma del aceite de chía y los esteres de ácidos grasos identificados por el detector de masas.....	63
Tabla 12. Espectro de masas de los esteres de ácidos grasos identificados	64
Tabla 13. Cromatograma del aceite de chía control (15 meses de almacenamiento) y esteres de ácidos grasos identificados por el detector de masas.....	65
Tabla 14. Cromatograma del aceite de chía con 0,05% de alfa tocoferol a los 15 meses de almacenamiento y metil ésteres de ácidos grasos identificados por el detector de masas	66
Tabla 15. Datos obtenidos de los diferentes ácidos grasos de los aceites de chía con y sin almacenamiento	67

Tabla 16. Período de Inducción (IP) del mejor tratamiento (T2) a diferentes temperaturas.....	72
Tabla 17. Valores de IP del aceite de chía obtenido del equipo Oxitest, ecuación temperatura vs Ln (IP) y vida útil del aceite la chía.	85
Tabla 18. Vida útil del aceite de chía en meses determinado por el equipo Oxitest	88
Tabla 19. Análisis de varianza para vida útil (meses) - suma de cuadrados tipo III	88
Tabla 20. Grupos homogéneos según la prueba de Tukey	88
Tabla 21. Perfil de ácidos grasos del aceite de chía extraídos por prensado y almacenados durante 15 meses.....	90
Tabla 22. Ácidos grasos al tiempo cero del aceite de chía control. expresado en % área de pico	91
Tabla 23. Ácidos grasos al tiempo cero del aceite de chía con 0,05% alfa tocoferol (vitamina E). Expresado en % área de pico.....	91
Tabla 24. Ácidos grasos al tiempo 15 meses del aceite de chía control. Expresado en % área de pico.....	92
Tabla 25. Ácidos grasos al tiempo 15 meses del aceite de chía con 0,05% alfa tocoferol (vitamina E). Expresado en % área de pico.....	92
Tabla 26. Análisis fisicoquímico del aceite de chía tratamiento control (TC) sin vitamina E durante 0 (a) y 15 (d) meses de almacenamiento. tratamiento 2 con vitamina E 0,05% (T9)	93
Tabla 27. Grupos homogéneos del ácido palmítico	93
Tabla 28. Grupos homogéneos del ácido esteárico	94
Tabla 29. Grupos homogéneos del ácido oleico.....	94
Tabla 30. Grupos homogéneos de ácido linoleico.....	94
Tabla 31. Grupos homogéneos de ácido linolénico.....	94

Tabla 32. Grupos homogéneos de ácidos grasos saturados.....	95
Tabla 33. Grupos homogéneos de ácidos grasos monoinsaturados	95
Tabla 34. Grupos homogéneos de ácidos grasos polinsaturados.....	95
Tabla 35. Grupos homogéneos de la relación: ácidos grasos saturados/ácidos grasos insaturados.....	95

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cultivo y semilla de chía.....	24
Figura 2. Estructuras químicas de los ácidos grasos de las semillas de chía.....	33
Figura 3. Biblioteca NIST14. L. Identificación de ácidos grasos.....	45
Figura 4. Cromatógrafo de gases Agilent Technologies 7890B GC System con detector de masas Agilent Technologies 5977A MSD.	46
Figura 5. Cromatograma FAME MIX C8 – C22. Visualización del tiempo de retención y % área de cada uno de los analitos de la mezcla.	47
Figura 6. Reporte obtenido por la Biblioteca NIST14.L del FAME MIX C8 – C22.....	48
Figura 7. Pico del ácido metil éster hexadecanoico detectado en la base de datos	51
Figura 8. Equipo para determinar la estabilidad a la oxidación de aceites OXITEST... ..	55
Figura 9. Equipo de extracción por prensado Expeller y obtención de aceite de chía	58
Figura 10. Evaluación de la conservación del aceite de chía con 0,05% de vitamina E. 72	
Figura 11. Vida útil del aceite de chía con diferentes concentraciones de alfa tocoferol o vitamina E.....	73
Figura 12. Relación de la vida útil del aceite de chía en los diferentes tratamientos	89
Figura 13. Resultado obtenido del equipo OXITEST en el análisis de vida útil del aceite de chía determinado a 90 °C.....	89
Figura 14. Extracción de aceite de chía por prensado	96

AGRADECIMIENTO

A nuestro Padre Celestial y a la Virgen Santísima por darme la vida, cuidarme, protegerme y guiarme para actuar con sabiduría en todo momento.

A mis amados padres Nelson y Lolita, gracias por darme la existencia y por ser mis guías y consejeros en el transitar de esta maravillosa experiencia llamada vida

A mi esposo Marco, a mis ángeles hermosos Mateo, Daniela y Martín y a toda mi familia por su apoyo incondicional en todo momento.... mil gracias!

A mis estimados docentes quienes con paciencia y sabiduría me ayudaron a continuar con este objetivo de vida.

A mis amigos que me permitieron conocerlos en las aulas y compartir alegrías, desalientos y triunfos, mil gracias por llevarme de la mano a culminar con este maravilloso objetivo, éxitos para tod@s.

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

A la Facultad de Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, en especial al Proyecto Canje de Deuda Ecuador – España HCU 0939-CU-P2016, y a su Directora Ing. Mónica Silva, por permitirme ser parte del mismo y desarrollar el trabajo experimental.

A la Ing. Mercedes Córdova por su valiosa ayuda en la ejecución de la segunda fase del análisis del aceite de chía.

A mis docentes calificadores Lic. Gabriela Salazar Dra. y Quím. Lander Pérez Mg. por su valioso tiempo y la amabilidad de revisar el presente trabajo de investigación.

A mi tutor de Tesis PhD. Jorge Alexander Briceño, por su guía, paciencia y apoyo; finalmente un agradecimiento muy especial al Ing. Mario Álvarez, por su valiosa ayuda, asesoramiento y por el tiempo dedicado en la ejecución del presente trabajo de investigación.

¡Mil gracias a tod@s!

DEDICATORIA

A mis adorados padres Nelson y Lolita, quienes siempre me apoyan y me motivan a seguir y alcanzar mis proyectos de vida; a mi esposo Marco, a mis preciosos y amados hijos Mateo, Daniela y Martín, por ser mi luz e inspiración de cada día; a mis queridos hermanos Nelson, Oscar, Carlos, Diego y Luis; por estar siempre conmigo y brindarme su apoyo incondicional en todo momento, Dios les bendiga siempre.

Con mucho cariño,

Irma Janeth Guayta Guaita

*“Vayas, a donde vayas,
no importa el tiempo
lleva siempre tu propia luz”
Anónimo*

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN QUÍMICA

TEMA: “EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD OXIDATIVA DEL ACEITE DE CHÍA (*Salvia hispanica* L.) OBTENIDO POR PRENSADO A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE α -TOCOFEROL COMO ANTIOXIDANTE”

AUTORA: Licenciada, Irma Janeth Guayta Guaita

DIRECTOR: Lic. Jorge Alexander Briceño Carrasquel, Dr.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Proyecto de Desarrollo

FECHA: 26 de agosto del 2021

RESUMEN EJECUTIVO

El aceite de chía posee un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, entre ellos el ácido linoleico (omega 6) y ácido linolénico (omega 3); característica altamente valorada para la prevención de las enfermedades cardiovasculares; la presencia de éstos ácidos grasos provocan una gran reactividad química, por lo que es propenso a transformaciones oxidativas e isomerización; la rancidez oxidativa es una de las reacciones más importantes de los ácidos grasos, dando lugar a la pérdida de su valor nutricional y vida útil del aceite. Para ello se propuso evaluar la estabilidad oxidativa del aceite de chía obtenido por prensado en frío a diferentes concentraciones de α – tocoferol; para determinar la estabilidad oxidativa del aceite de chía, se prepararon 5 muestras, TC 0 % de Vitamina E y los T1, T2, T3, T4 con 0,025 %, 0,05 %, 0,075 % y 0,10 % de antioxidante respectivamente; demostrando en el presente estudio que el T2 con 0,05 % de antioxidante, fue el mejor tratamiento para prolongar la vida útil del aceite de chía, obteniéndose un estimado de 264,395 días para su conservación y comercialización; posteriormente, el aceite fue almacenado a temperatura ambiente (15°C) durante 15 meses, transcurrido este tiempo se realizó la cuantificación de ácidos grasos del aceite con 0,05% de alfa - tocoferol, obteniendo como resultado el (17,71±0,07) % de ácido linoleico y el (65,03±0,19) % de ácido linolénico. Finalmente se realizaron los exámenes fisicoquímicos como son el porcentaje de humedad con (0,176±0,004) %, pH con (3,883±0,015) %, los índices de acidez con (0,465±0,005) % y de peróxido con (5,543±0,004) %; adquiriendo así un producto de excelente calidad y apto para el consumo humano.

Descriptores: ácidos grasos, aceite de chía, alfa – tocoferol, antioxidantes, estabilidad oxidativa, evaluación, prensado en frío, rancidez oxidativa, *Salvia hispanica* L.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO
FACULTY OF SYSTEMS, ELECTRONIC AND INDUSTRIAL ENGINEERING
MASTER'S DEGREE IN CHEMISTRY**

THEME: “EVALUATION OF THE OXIDATIVE STABILITY OF CHIA OIL (*Salvia hispanica* L.) OBTAINED BY PRESSING AT DIFFERENT CONCENTRATIONS OF α -TOCOPHEROL AS ANTIOXIDANT”.

AUTHOR: Lic. Irma Janeth Guayta Guaita

DIRECTOR: Lic. Jorge Alexander Briceño Carrasquel, Dr.

LINE OF RESEARCH: Development project

DATE: August 26, 2021

EXECUTIVE SUMMARY

Chia oil has a high content of polyunsaturated fatty acids, including linoleic acid (omega 6) and linolenic acid (omega 3); a characteristic highly valued for the prevention of cardiovascular diseases; the presence of these fatty acids causes a high chemical reactivity, so it is prone to oxidative transformations and isomerization; oxidative rancidity is one of the most important reactions of fatty acids, resulting in the loss of its nutritional value and shelf life of the oil. For this purpose, it was proposed to evaluate the oxidative stability of chia oil obtained by cold pressing at different concentrations of α -tocopherol; to determine the oxidative stability of chia oil, 5 samples were prepared, TC 0 % of Vitamin E and the T1, T2, T3, T4 with 0,025 %, 0,05 %, 0,075 % and 0,10 % of antioxidant respectively; demonstrating in the present study that T2 with 0,05% antioxidant is the best treatment to prolong the shelf life of chia oil, obtaining an estimated 264,395 days for its conservation and commercialization; Subsequently, the oil was stored at room temperature (15°C) for 15 months, after which time the fatty acids of the oil were quantified with 0,05% of alpha-tocopherol, obtaining as a result (17,71 \pm 0,07) % of linoleic acid and (65,03 \pm 0,19) % of linolenic acid and finally the physical-chemical tests were carried out, such as the percentage of humidity with (0,176 \pm 0,004) %, pH with (3,883 \pm 0,015) %, acidity indexes with (0,465 \pm 0,005) % and peroxide with (5,543 \pm 0,004) %; thus acquiring a product of excellent quality and suitable for human consumption.

Keywords: fatty acids, chia oil, alpha - tocopherol, antioxidants, oxidative stability, evaluation, cold pressing, oxidative rancidity, *Salvia hispanica* L.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

Actualmente la dieta forma parte de la preocupación de las personas y es un elemento esencial en la promoción de la salud, en la prevención de las enfermedades y por ende en la rehabilitación de los pacientes. Por esta razón los consumidores consideran importante la alimentación saludable y natural; pues aspiran a obtener alimentos que sean eficientes, seguros y apetecibles. Así, los alimentos de mejor calidad se caracterizan, por ser seguros, tener las mejores condiciones de sabor, color y textura posibles [1]. El mayor conocimiento de los trastornos metabólicos causados por los comestibles ha llevado a utilizar alimentos funcionales, principalmente los que contienen ácidos grasos poliinsaturados [2]

Las enfermedades cardiovasculares y el cáncer son una de las principales causas de muerte de la humanidad. Cada año mueren unas 200.000 personas por enfermedades cardiovasculares. Los padecimientos metabólicos pueden prevenirse mediante la ingesta regular de alimentos funcionales [2]. Por tal razón, cada vez son más las personas que se inclinan a incorporar en su dieta alimentos que le aporten nutrientes considerados funcionales y de buena calidad. En este contexto se encuentra la chía [3].

La chía (*Salvia hispanica* L.) es una especie anual nativa de Centroamérica y México, sus semillas se emplean en la alimentación, recomendada por sus contenidos de proteínas, antioxidantes, fibra dietética, vitaminas y minerales; sobre todo por su alto contenido de omega 3 presente en su aceite, en comparación con otras fuentes naturales conocidas hasta la fecha. Esta semilla oleaginosa, es rica en ácidos grasos esenciales como Omega-3 (poliinsaturados) y solo el 10 % son ácidos grasos saturados. Es así que referencialmente se señala que de los principales ácidos grasos del aceite de chía existe un contenido aproximado de 63,8% α -linolénico (ALA), 20% de linoleico (LA), 6,9% de ácido palmítico y 2,8% de esteárico [4].

Las fuentes de Omega-3 son muy escasas en el mundo, por esta razón la semilla de chía toma mayor importancia en la alimentación porque ayuda a regular los triglicéridos y el

colesterol malo, en la coagulación de la sangre, beneficia a las células de la piel, membranas, mucosas y nervios. Además de su altísimo contenido en Omega-3, la chía tiene también otros componentes muy importantes para la nutrición humana: antioxidantes, fibra, proteínas, vitaminas B1, B2, B3, y minerales tales como fósforo, calcio, potasio, magnesio, hierro, zinc y cobre [5].

Los ácidos grasos presentes en la semilla de chía pese a sus propiedades antioxidantes no están exentos del proceso de degradación oxidativa, es así como esta degradación que tienen los lípidos es uno de los factores más críticos que afectan a los parámetros de vida útil y calidad del producto. La reacción de oxidación es de vital importancia ya que produce la disminución del valor nutricional de los alimentos, favoreciendo la formación de nuevas moléculas que pueden llegar a ser perjudiciales para la salud humana [6].

De lo anteriormente expuesto surge la importancia del uso y consumo de antioxidantes bien sea de fuentes naturales como lo es la vitamina E, conocida como los tocoferoles y tocotrienoles, se caracteriza por ser una molécula antioxidante muy potente debido a la capacidad de donar un hidrogeno del grupo fenólico; esta vitamina, actúa como antioxidante protegiendo las membranas celulares, acción que ejecuta bloqueando la oxidación de éstas por los radicales libres y el daño tisular asociado a procesos patogénicos, además, según estudios epidemiológicos se ha observado que una mayor ingesta de vitamina E como parte de la intervención primaria y secundaria de las enfermedades cardiovasculares, se asocia a un menor riesgo de sufrir eventos cardíacos, enfermedades relacionadas con la edad, y el Alzheimer [7].

Es por esta razón que en la industria alimentaria se ha tomado especial interés en conocer la calidad de los aceites comestibles, así como su estabilidad oxidativa. El proceso oxidativo de los aceites, aparte de modificar sus propiedades funcionales, puede causar la formación de compuestos volátiles, los cuales producen olores y sabores indeseables, lo que limita su vida útil.

Considerando el proceso oxidativo que tienen los aceites, las industrias analizan varios factores y seleccionan los procesos de extracción basándose en las condiciones de operación que permitan obtener productos de buena calidad y costos de producción accesibles, ya que en dependencia del método se tendrá cierto rendimiento del aceite, calidad y cantidad de compuestos como ácidos grasos, fibras y antioxidantes. Entre los principales métodos de extracción del aceite de chía se encuentran el prensado o

compresión de las semillas, extracción con disolventes y extracción con fluidos supercríticos. De acuerdo con las características de la materia prima puede escogerse un método antes que otro en cuestión de beneficios [6].

El proceso de prensado consiste en una compresión de las semillas en frío, se caracteriza por ser sencillo, rápido y ecológico, ya que la torta o producto secundario puede utilizarse como materia prima para otro proceso. Brinda buena conservación de los agentes oxidantes del aceite. Sin embargo, puede presentarse bajo rendimiento en la obtención del aceite [6].

La extracción con disolventes o también conocido como método del Soxhlet se realiza con n-Hexano u otros solventes, dentro de sus ventajas está la estabilidad de la emulsión y características del aceite, pero también puede darse la pérdida de la capacidad antioxidante del aceite y requiere de procesos de separación del solvente para quitar residuos de este [6].

La extracción por fluidos supercríticos emplea CO₂ a condiciones de presión y temperatura acorde a la preferencia del usuario, se destaca por su elevada pureza y alto contenido de ácidos grasos esenciales en el extracto, además su rendimiento mejora conforme se aumenta la presión. Las limitantes son el alto costo y las altas temperaturas de operación que pueden afectar las propiedades y composición del aceite extraído [6].

Los productos terminados específicamente los aceites pasan por procesos de evaluación, dentro de ello se encuentra el tiempo de vida útil que hace referencia a la medición de la estabilidad oxidativa que permite estimar la duración del alimento ante la acción de oxidantes. De acuerdo con estudios realizados sobre el aceite de chía, este posee un perfil altamente insaturado que le otorga una ventaja nutricional, pero tiene un lado negativo en cuanto a la estabilidad del producto. Ya que posee de forma natural agentes antioxidantes, pero al exponerse a diversos factores como la temperatura, el aire y la luz se oxida alterando su calidad [5].

Dentro del metabolismo de los ácidos grasos su proceso de degradación se inicia cuando se transforma una molécula alifática de cadena larga (ácido graso) en un conjunto de moléculas de acetilo activadas (acetil CoA), que son procesadas en el ciclo del ácido cítrico. Es decir, partiendo de una molécula de ácido graso activada, esta se oxida, hidrata,

se oxida y finalmente se llega a acetil-CoA y a un ácido graso activado de nuevo, pero con dos carbonos menos [4].

En este sentido, el presente trabajo se enfocó en la evaluación de la estabilidad oxidativa del aceite de chía obtenido por el método de prensado en frío ya que este brinda condiciones adecuadas para mantener las propiedades del producto final y a un costo moderado, seguido a ello se comparó el estado inicial de sus características fisicoquímicas (pH, humedad, índice de acidez e índice de peróxidos), a su vez el perfil de ácidos grasos del aceite identificados con base a un FAME MIX C8-C22. Dentro de esto se realizó la aplicación de varias concentraciones de antioxidante, α -tocoferol, para de estas seleccionar la de mejor estabilidad; y así finalmente poder comparar cuando no fue aplicada la concentración idónea de antioxidante y cuando si fue aplicada, en el estado final del aceite de chía que fue realizado a los 15 meses de almacenamiento y no a los cuatro meses como se tenía planificado inicialmente, ya que por razones ajenas al proceso experimental se dio una extensión del tiempo de almacenamiento.

1.2 Justificación

La semilla de chía se presenta como una nueva alternativa en la agricultura tradicional ecuatoriana, porque es un cultivo que está logrando un buen mercado con gran expansión a nivel mundial [8]. La perspectiva de la chía para ser empleada en la industria alimentaria, como un alimento de excelentes beneficios en la nutrición, no ha sido difundido a cabalidad; específicamente en el caso del aceite de chía, el mismo que es un alimento de siglos de antigüedad, que ha sido redescubierto para las aplicaciones cosméticas y nutricionales [9]. Este aceite contiene principalmente ácidos grasos que representa nutricionalmente la fuente más importante de ácidos grasos poliinsaturados, particularmente de ácido graso omega 3- α -linolénico, lo que en la actualidad ha tomado una importancia relevante en la nutrición y salud, porque su consumo tiene alto poder antiinflamatorio y permite disminuir las enfermedades cardiovasculares debido a su significativo contenido de ácidos grasos poliinsaturados [10].

Actualmente, se conoce de publicaciones informativas del país que las provincias más representativas en la producción de semilla de chía fueron: Los Ríos (45 %), Bolívar (15 %) Imbabura (30 %) y otros (10 %) [11], esto se debe a las excelentes características de los suelos franco arenosos y franco arcillosos que presenta el suelo de dichas zonas para

su cultivo [12], además en lo referente a producción a nivel nacional, esta depende de la capacidad que tienen los productores de hacerlo. La chía ecuatoriana, es un producto no tradicional agrícola, poco conocido por la población ecuatoriana con grandes beneficios nutricionales, por lo que es muy demandado en el mercado extranjero.

Por lo descrito el presente trabajo sobre la evaluación de la estabilidad oxidativa del aceite de chía obtenido por prensado en frío a diferentes concentraciones de α -tocoferol (Vitamina E) como antioxidante, va enfocado a extender la vida útil del aceite almacenado durante 15 meses a temperatura ambiente.

1.3 Objetivos:

1.3.1 General

Evaluar la estabilidad oxidativa del aceite de chía (*Salvia hispanica* L.) obtenido por prensado a diferentes concentraciones de α -tocoferol (Vitamina E) como antioxidante.

1.3.2 Específicos:

- Extraer el aceite de chía utilizando una prensa extractora de aceite marca FLORAPOWER.
- Realizar los análisis de índice de acidez, índice de peróxido y ácidos grasos del aceite extraído por prensado.
- Determinar la estabilidad oxidativa del aceite de chía a diferentes concentraciones de α -tocoferol (Vitamina E) utilizando el equipo Oxitest Velp Scientific.
- Estudiar los cambios que ocurren en el contenido de ácidos grasos en el aceite de chía con α -tocoferol proveniente del mejor tratamiento de la estabilidad oxidativa y aceite de chía sin agregar alfa-tocoferol (control) bajo condiciones de almacenamiento.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis Nula

El uso del antioxidante alfa-tocoferol no afecta la estabilidad oxidativa del aceite de chía (*Salvia hispanica* L.) extraído por el método de prensado en frío.

1.4.2 Hipótesis Alternativa

El uso del antioxidante alfa-tocoferol afecta la estabilidad oxidativa del aceite de chía (*Salvia hispanica* L.) extraído por el método de prensado en frío.

1.5 Descripción de variables

1.5.1 Variables Independientes

- Temperatura de almacenamiento
- Concentración de alfa-tocoferol vitamina E

1.5.2 Variable dependiente

- Estabilidad oxidativa del aceite de chía

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

2.1 Origen de la chía

El nombre de la chía se remonta al náhuatl de los aztecas y al maya de Yucatán, lenguas ancestrales comúnmente habladas en México, que significa "aceitoso", semillas con un alto contenido de aceite y "fuerza", considerado como un alimento ancestral de alto valor energético [12]. Tiene una larga historia como alimento, su utilización y aplicación se conoció desde el año 2600 a.C.; en la etapa de la conquista mesoamericana coexistían más de 20 especies botánicas con diferentes usos, 4 de ellas se destacaban por su composición nutricional [13].

Está calificado como un alimento bioactivo; las investigaciones indican que a los componentes de las semillas de chía se les atribuye un efecto beneficioso sobre la mejora del perfil lipídico en sangre, a través de sus efectos hipotensores, hipoglucemiantes, antimicrobianos e inmunoestimuladores, confirmando sus extensas propiedades promotoras de la salud [12] particularidad que le permite ser considerado como un excelente cardioprotector evitando procesos inflamatorios del cuerpo, así como efectos anti edad, además previene el desarrollo de cáncer, evita el estreñimiento y contiene muy pocas calorías [14].

En los últimos tiempos, el cultivo se ha extendido en América Latina y Australia como alimento básico y por su aceite con características beneficiosas para la salud, atribuidas al alto contenido de omega-3 α -linolénico (ω -3 ALA) y otros ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs) [15].

2.2 Descripción de la chía

La chía es una planta nativa del Centro de México y Norte de Guatemala [16]; pertenece a la familia Lamiaceae; botánicamente, la chía fue clasificada por Carlos Lineo (1707 - 1770), quien en 1753 la llamó *Salvia hispanica* L. [17]. Es una planta de vida anual, sus flores son de color azul intenso o blancas, se producen en espigas terminales, con tamaño

entre 3-4 mm, poseen pequeñas corolas y partes de flores fusionadas que contribuyen a una alta polinización como lo señala la Figura 1 [13].



Figura 1. Cultivo y semilla de chía
Fuente: (Manzaneda, 2015).

Según el Código Internacional de Nomenclatura utilizado para diferentes organismos como plantas, hongos y algas (llamado Código Melbourne) (IAPT, 2012) la taxonomía de la chía se describe en la Tabla 1 [18].

Tabla 1. Taxonomía de la semilla de chía

Jerarquía	Descripción
Reino	Plantae
Subreino	<i>Tracheobionta</i> Planta vascular
División	Magnoliophyta- Angiosperma
Clase	Magnoliosida-
Subclase	<i>Asteridae</i>
Orden	Lamiales
Familia	Lamiaceae
Género	<i>Salvia</i>
Especie	<i>hispanica</i>

Fuente: Rendón-Villalobos et al. (2018) [18].

El desarrollo óptimo de la planta está garantizado por el clima cálido, la alta pluviosidad y las temperaturas de 15 – 30 °C, se necesita entre 130 y 136 días para alcanzar la etapa de madurez fisiológica, la altura de la planta es de entre 1,3 y 1,6 m y su raíz pivotante alcanza hasta 1,0 m de profundidad [19].

En la actualidad, se cultiva en todo el mundo, especialmente en Argentina, Perú, Paraguay, Ecuador, México, Nicaragua, Bolivia, Guatemala y Australia. En Europa, se cultiva en invernaderos. La chía no es resistente a las heladas. En la naturaleza, crece principalmente en regiones montañosas. *Salvia hispanica* L. se desarrolla adecuadamente en suelos franco arenosos y franco arcillosos con buenas condiciones de drenaje [12]. La planta también tolera la sequía, no es necesario demasiada pluviosidad para su crecimiento y desarrollo [20].

La semilla de chía requiere para su floración un clima con características específicas que en Ecuador puede ser cosechado sin problema, en el país se inició sembrando en parcelas experimentales y luego en extensiones comerciales, en los entornos del Valle Alto Interandino, Valle Bajo Interandino, la Selva Lluviosa Pluviestacional y el Bosque Seco Tropical [8].

Sin embargo, la composición química, la concentración de sus compuestos bioactivos y la cantidad de cada clase de compuestos en las semillas de chía, dependen de varios factores, como las condiciones ambientales, las prácticas agrícolas, el origen geográfico y los métodos de extracción [21]. Los métodos de extracción se ajustan a condiciones que pueden alterar la composición química del producto final, ya sea por las altas temperaturas y presiones, o el uso de solventes que pueden quedar remanentes, disminuyendo la capacidad de los agentes antioxidantes.

2.3 Semilla de chía

Las semillas de chía son generalmente pequeñas, de aproximadamente 2 mm de largo, 1-1,5 mm de ancho y más gruesas que 1,0 mm, planas y de forma ovalada, Figura 1 [22]. Su rendimiento es de 3000 kg/ha, manteniendo limpia y seca puede ser conservada durante varios años [20].

La cubierta de la semilla de chía contiene mucílago que protege todos los nutrientes de la semilla y participa en la retención de agua en los alimentos. Las proteínas de almacenamiento de semillas de chía están compuestas principalmente de globulina,

seguidas de fracciones de albúmina, prolamina y glutelina que contienen aminoácidos esenciales encriptados en sus secuencias primarias. Los ácidos rosmarínico, cafeico y gálico son los principales compuestos fenólicos. Los nutricionistas, investigadores y la industria han prestado atención por sus excepcionales beneficios. La chía es ahora reconocida como una “semilla para el siglo XXI” [23].

Por otro lado, en cuanto a la conservación, hay que destacar que cuando las semillas de chía no se muelen hasta convertirse en harina, pueden almacenarse durante mucho tiempo. Esto se debe, en primer lugar, a la cáscara que rodea el endospermo y, en segundo lugar, al elevado contenido de compuestos con un alto potencial antioxidante que protegen los ácidos grasos contra la oxidación [12].

Con base a lo anterior la presente investigación consideró la extracción del aceite de chía y la aplicación de un agente antioxidante natural como lo es la vitamina E, a fin de analizar si es posible contrarrestar el efecto natural de autooxidación del aceite de chía, el cual es otorgado por uno de sus beneficios a la salud como lo es su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados pero a la vez es un efecto negativo para la estabilidad oxidativa del producto que reduce su tiempo de vida útil.

La semilla de chía es considerada como un producto sustentable y ecológico, por el elevado contenido en aceites esenciales (Omega 3 y Omega 6) que actúan como un potente repelente de insectos, evitando la necesidad de utilizar productos químicos para proteger los cultivos [24].

2.3.1 Composición de las semillas de chía

Las semillas de chía contienen entre un 16 y un 26% de proteínas, entre un 31 y un 34% de grasas, entre un 37 y un 45% de hidratos de carbono en total y entre un 23 y un 35% de fibra dietética total (Tabla 2). Además, son una fuente de minerales (calcio, fósforo, potasio y magnesio), vitaminas (tiamina, riboflavina, niacina, ácido fólico, ácido ascórbico y vitamina A) y compuestos antioxidantes. El valor energético de las semillas de chía es de 459-495 kcal/100 g [17].

Tabla 2. Valor nutricional de las semillas de chía

Nutrientes	Valores			
	USDA		Jin et al.	
Energía	486,0	kcal	562	kcal
Proteína	16,5	g/100 g	24,2	g/100 g
Lípidos totales	30,7		40,2	
Cenizas	4,8		4,77	
Carbohidratos	42,1		26,9	
Fibra dietaria	34,4		30,2	
Calcio	631,0	mg/100 g	456	mg/100 g
Hierro	7,7		9,18	
Magnesio	335,0		449	
Fósforo	860,0		919	
Potasio	407,0		7226	
Sodio	16,0		0,26	
Zinc	4,6		6,47	
Cobre	0,9		1,86	
Manganeso	2,7		3,79	
Vitamina C	1,6		-	
Tiamina	0,6		-	
Riboflavina	0,2		-	
Niacina	8,8		-	
Vitamina E	0,5		-	
Folatos	49,0	mg/100 g	-	

Fuente: Kulczynski et al. (2019).

2.3.1.1 Lípidos

Los lípidos son sustancias bioactivas que el cuerpo humano necesita para acumular energía, formar elementos estructurales de las membranas celulares y regular las funciones fisiológicas, el organismo no puede sintetizar ácidos grasos poliinsaturados; por lo tanto, es necesario proporcionar el suministro necesario de lípidos en la alimentación [17].

Las semillas de chía contienen entre en el 60 % de ácido omega 3 -linolénico (18:3, ALA) y el 20 % es ácido omega-6 linoleico (18:2, LA) [25]. De todas las fuentes alimentarias conocidas, la chía contiene la mayor concentración de estos ácidos grasos [9].

En cuanto al contenido de ácidos grasos saturados (ácido palmítico y esteárico), las semillas de chía contienen en menor porcentaje, característica que le permite ser

considerado al aceite de chía como una opción preferida y atractiva para una alimentación saludable [26].

2.3.1.2 Proteínas

El contenido proteico de las semillas de chía (entre el 16 % y el 26 %) se compone principalmente de prolaminas, glutelinas, globulinas y albúminas. La concentración de nitrógeno en las semillas de chía es de 3607 a 3620 mg por 100 g [25].

Los análisis de la composición de aminoácidos (Tabla 3) confirmaron la presencia de 10 aminoácidos exógenos, entre los cuales los mayores contenidos fueron para la arginina, leucina, fenilalanina, valina y lisina.

Las proteínas de las semillas de chía también son ricas en aminoácidos endógenos, principalmente ácidos glutámico y aspártico, alanina, serina y glicina [12].

Tabla 3. Perfil de Aminoácidos de la semilla de Chía (G por 100 g de proteína bruta)

Aminoácido	Semillas de chía			Globulina	Aislado de Proteína	Harina de Semilla de chía
	Ref. 3	Ref.1	Ref.12	Ref. 11	Ref. 11	Ref.12
Alanina	-	1,05	4,31	3,94	2,68	3,94 – 3,96
Arginina	2,14	2,14	8,90	9,42	4,23	8,06 – 11,1
Aspartato	-	-	7,64	7,29	4,73	6,05 – 6,13
Glutamato	-	3,50	12,4	24,30	7,08	12,0 – 12,3
Glicina	-	0,95	4,22	7,36	2,28	3,24 – 3,49
Histidina ^a	0,53	0,53	2,57	4,00	1,37	2,10 – 2,24
Isoleucina ^a	-	0,80	3,21	3,01	2,42	3,41 – 3,66
Leucina ^a	1,37	1,37	5,89	4,44	4,15	5,44 – 5,55
Lisina ^a	0,97	0,97	4,44	1,54	2,99	3,70 – 3,71
Metionina y cistina ^a	-	-	-	5,75	2,78	-
Fenilalanina y tirosina ^a	-	-	-	10,93	3,88	-
Prolina	-	0,77	4,40	10,64	1,99	3,05 – 3,29
Serina	-	1,05	4,86	6,93	2,62	3,91
Treonina ^a	0,71	0,71	3,43	6,23	1,80	2,82
Valina ^a	0,95	0,95	5,10	3,59	2,85	4,55 – 4,80
Fenilalanina	1,01	1,016	4,73	-	-	3,87 – 4,01
Metionina	0,59	0,59	0,36	-	-	1,77 – 2,50
Asparagina	-	1,69	-	-	-	-
Cistina	-	0,45	1,47	-	-	1,55
Tirosina	-	0,56	2,75	-	-	1,55
Triptófano	-	0,44	-	-	-	-
^a Amoniácidos esenciales						

Fuente: Melo et al. (2019).

2.3.1.3 Fibra

El contenido de fibra dietética de las semillas de chía oscila entre el 23 % el 41 %, y su fracción insoluble corresponde a cerca del 85 %; sólo el 15 % se atribuye a la parte soluble, que, a diferencia de la insoluble, puede ser fermentada en el intestino grueso. La fibra dietética incluye la celulosa, la hemicelulosa, la lignina, la pectina, las gomas, los mucílagos y otros polisacáridos y oligosacáridos procedentes de las plantas [25].

La ingesta elevada de fibra se ha correlacionado con la disminución del riesgo de enfermedades coronarias y cardíacas, la diabetes de tipo II y el cáncer; también disminuye el hambre y proporciona una sensación de saciedad, lo que puede ayudar a perder peso [12].

La fibra dietética ha adquirido importancia como componente de la dieta diaria porque se relaciona con efectos beneficiosos para la salud, como la disminución de la colesterolemia, los cambios en las respuestas glucémicas e insulinémicas y la función intestinal, y la actividad antioxidante. Además, debido a la ausencia de gluten, estas semillas son apropiadas para los pacientes celíacos [25]

2.3.1.4 Vitaminas y minerales

Las vitaminas y los minerales son esenciales para la síntesis, la regulación del crecimiento, la diferenciación de las células y los tejidos y la protección contra el estrés oxidativo [25]. Las semillas de chía son una fuente de vitaminas del grupo B, vitamina B1 (tiamina) (0,6 mg/100 g), la vitamina B2 (riboflavina) (0,2 mg/100 g), la niacina (8,8 mg/100 g) y ácido fólico [12].

En cuanto a los minerales, representan una fuente elevada de macrominerales como el calcio (456-631 mg/100g), el potasio (407-726 mg/100g), el magnesio (335-449 mg/100g) y el fósforo (860-919 mg/100g). El contenido de Ca y K puede ser útil para controlar la hipertensión arterial, y el Mg puede mejorar la capacidad antioxidante [12].

Con relación a los micro minerales, las semillas de chía contienen suficiente selenio (55 μgd^{-1}) y hierro (8 para los hombres y 18 μgd^{-1} para las mujeres), casi suficiente zinc para los hombres (11 μgd^{-1}) y suficiente zinc para las mujeres (8 μgd^{-1}). También aportan suficiente cobre (900 μgd^{-1}). Las semillas de chía también cumplen con la ingesta necesaria de manganeso (2,3 para los hombres y 1,8 μgd^{-1} para las mujeres) [25].

2.4 Importancia alimenticia de la chía

2.4.1 La chía como alimento moderno

En la actualidad, con el fin de garantizar una ingesta adecuada de nutrientes para complementar la dieta normal, está aumentando el consumo de semillas como *Salvia hispanica L.* Por este motivo, se están llevando a cabo investigaciones sobre la composición y los posibles efectos de las semillas de chía sobre la salud. Debido a la capacidad de las semillas de chía de absorber agua y formar geles, pueden utilizarse en la tecnología alimentaria como sustituto de emulsionantes y estabilizadores [12]. Además, la reciente aprobación de las semillas de chía como nuevo alimento por parte del Parlamento Europeo, permitió generalizar su disponibilidad, accediendo su consumo e incorporación en una amplia gama de alimentos [25].

Un consumo de 7,3 g de semillas de chía al día proporciona el 100 % de la ingesta recomendada de ácidos grasos omega-3, que ayudan a prevenir enfermedades crónicas relacionadas con la dieta [21]. La chía puede considerarse como un “alimento funcional” porque, además de contribuir a la nutrición humana, ofrece un enorme potencial para la industria de la salud, la alimentación, productos farmacéuticos y nutracéuticos [27].

Un alimento funcional comprende aquel cuyas características saludables, derivadas de las características nutricionales y funcionales, sean avaladas por la FDA (Food and Drug Administration) es así que la chía fue considerada como tal y, del mismo modo, la Comisión Europea autorizó las semillas de chía como nuevo ingrediente alimentario (2009/827/CE) [22].

Los usos autorizados de las semillas de chía incluyen las siguientes categorías de alimentos: productos de panadería, productos horneados, cereales para el desayuno, mezclas de frutas, frutos secos y semillas, zumos de frutas y bebidas de mezcla de frutas y verduras, semillas de chía preenvasadas como tales, pastas de frutas para untar, yogur, comidas esterilizadas listas para el consumo a base de granos de cereales, pseudocereales y/o legumbres [28].

Se recomienda la dosis de 5 gramos diarios, para las personas que conservan un buen estado de salud y físico, en el caso de las personas que padecen de enfermedades cardiovasculares o de la presión se sugiere el consumo diario de 25 gramos. Los usos culinarios de las semillas de chía varían desde las semillas enteras hasta la harina de

semillas, el mucílago de semillas y el aceite de semillas. Debido a sus aspectos nutricionales, las semillas de chía son una tendencia actual en la dieta humana y se consumen cada vez más en todo el mundo [25].

En resumen, las semillas de chía (*Salvia hispanica L.*) son una valiosa materia prima cuyas propiedades tecnológicas y beneficiosas para la salud pueden ser ampliamente utilizadas en la industria alimentaria [12].

2.5 Aceite de chía

2.5.1 Características del aceite de chía

En la actualidad, existe una creciente demanda de aceites y grasas especiales que, además de tener propiedades físicas específicas, contienen compuestos bioactivos que ofrecen beneficios para la salud, mejoran la estabilidad oxidativa de los productos alimenticios o tienen una Composición de Ácidos Grasos (FAC) clínicamente comprobada [29].

Los aceites de las semillas de chía presentan actividades farmacológicas de amplio espectro y representan un gran interés para la conservación de alimentos como potenciales productos naturales [20]. El interés por el consumo de aceite de semillas de chía también está aumentando debido a la presencia de buenas cantidades (por encima del 90 %) de ácidos grasos poliinsaturados, ya que son beneficiosos para la nutrición y la salud humana [30].

2.5.2 Contenidos de ácidos grasos poliinsaturados en el aceite de chía

Las semillas de chía contienen alrededor de un 32 % a 39 % de aceite. El aceite de semilla de chía está compuesto principalmente por ácidos grasos omega-3 (61 % a 70 %). A pesar de ser nutricionalmente favorable, una mayor cantidad de ácidos grasos poliinsaturados da lugar a una menor estabilidad oxidativa [29].

Las investigaciones han demostrado que el aceite extraído de las semillas de chía también contiene varios compuestos fenólicos como tocoferoles, fitoesteroles y carotenoides con su correspondiente actividad antioxidante que desempeñan un papel muy importante en el deterioro del aceite debido a la oxidación de los lípidos [21].

Gracias a su alto contenido de omega 3 (alfa-linolénico) y omega 6 (ácido linoleico), el aceite de chía ayuda en la reducción de los niveles de colesterol LDL o lipoproteínas de baja densidad y en consecuencia contribuye a evitar las placas de ateroma, conservar las arterias limpias favoreciendo el flujo sanguíneo y el mantenimiento de los niveles normales de presión arterial [31]. Muchos estudios han informado de que el ácido α -linolénico posee potentes propiedades antiinflamatorias, antioxidantes, antiarrítmicas, antitrombóticas, neuro protectoras, anticancerígenas, antidepresivas e inmunomoduladoras [32].

Los primeros estudios sobre los efectos funcionales de los **PUFA** se comunicaron a finales de década de 1960 y descubrieron que podían controlar el nivel de colesterol en la sangre. Con el paso de los años los ácidos grasos poliinsaturados (**PUFA**), así como los prebióticos, los probióticos, los antioxidantes, han sido estudiados por su funcionalidad en la prevención de enfermedades [33].

2.5.3 Característica físico – química del aceite de chía

Las características físicas y químicas de los aceites y grasas pueden ser atribuidas parcialmente a las características propias de los ácidos grasos. Uno de los principales parámetros que afectan dichas características es el grado de insaturación de los ácidos grasos y la distribución de los 10-12 principales ácidos grasos en las tres diferentes posiciones de la molécula del glicerol [34].

Los análisis químicos indicaron que el ácido linoleico y el ácido linolénico son los principales componentes del aceite de chía (82 % de la composición total del aceite) [35]. Los ácidos grasos omega-3 tienen tres átomos de carbono entre el último grupo metilo de doble enlace, mientras que los omega-6 tienen seis átomos de carbono entre el grupo metilo y el último doble enlace. Los ácidos grasos omega-3 se componen de tres ácidos grasos esenciales: el ácido alfa-linolénico, el ácido eicosapentaenoico y el ácido docosahexaenoico, mientras que el omega-6 se compone de ácido linoleico y ácido araquidónico [9].

Los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) contienen dos o más pares de átomos de carbono con dobles enlaces. La palabra omega-3 (también denotado como omega-3 o n-3) es un descriptor estructural, para una familia de ácidos grasos poliinsaturados, el cual

demuestra al carbono que contiene el grupo metilo terminal como el carbono-1 y el doble enlace ubicado en el carbono-3, de la cadena carbonada del ácido graso [34].

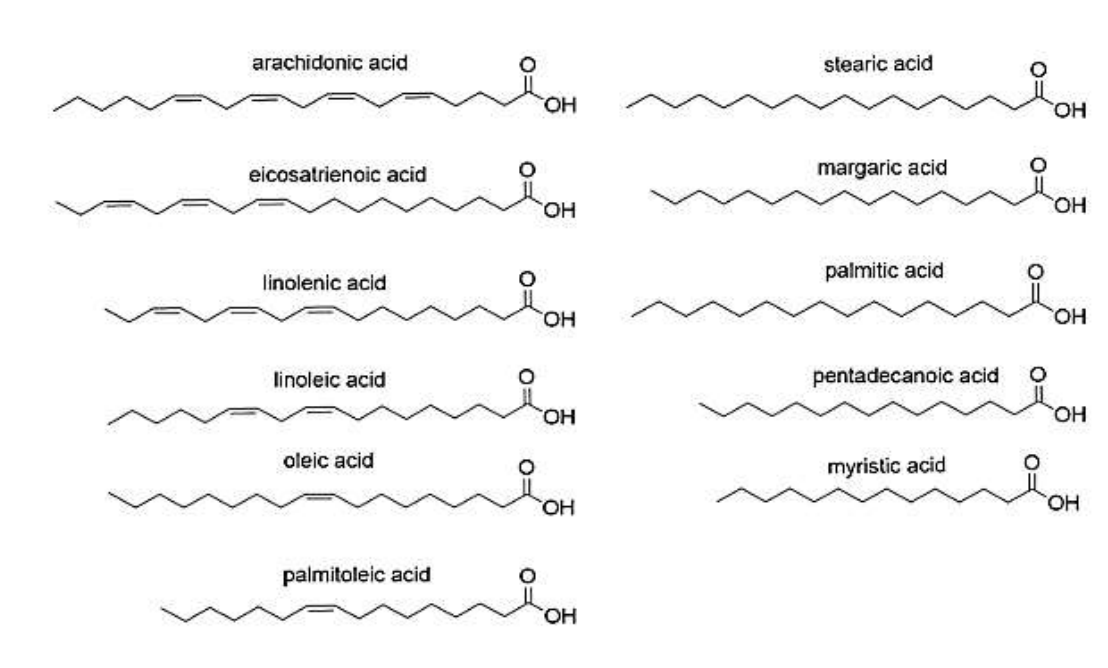


Figura 2. Estructuras químicas de los ácidos grasos de las semillas de chía
Fuente: De Falco et al. (2017).

2.5.4 Aplicaciones del aceite de chía

Se recomienda incluir en la ingesta diaria de 2,22 g/día de ácidos grasos omega-3, como recomienda la Intl. Society for the Study of Fatty Acid and Lipids (ISSFAL), es necesario consumir aproximadamente una cucharada al día con la finalidad de conservar la salud en óptimas condiciones [29].

La adición de aceites ricos en ácidos grasos poliinsaturados **PUFA** omega 3 las formulaciones puede ser una herramienta eficaz para elaborar productos cárnicos con un perfil lipídico más saludable, ya que los estudios han demostrado que el consumo de estos ácidos grasos puede reducir los factores de riesgo de enfermedades cardiovasculares. En este contexto, el aceite de chía puede considerarse como una buena alternativa ya que contiene alrededor de un 70 % de ácido α -linolénico (C18:3 ω 3) [3].

Heck et al. (2017) informaron de que la micro encapsulación mediante la técnica de gelificación iónica externa puede ser eficaz para incorporar aceites ricos en **PUFA** omega 3 en productos cárnicos cocidos. Estos investigadores utilizaron micro partículas de aceite de chía y linaza como sustituto de la grasa animal en hamburguesas. Además de mejorar las proporciones **PUFA/SFA** y n-6/n-3 y reducir los índices de aterogenicidad y trombogenicidad.

2.6 Métodos de extracción del aceite de chía

La literatura reporta el uso de diferentes técnicas de extracción, como el prensado, la extracción con Soxhlet, la extracción con fluidos supercríticos y otra técnica que puede aplicarse se refiere a la extracción asistida por ultrasonidos, EAU [35]. Dentro de los métodos de extracción más comúnmente empleados se encuentran señalados a continuación:

- **Extracción con solventes:** suelen ser extracciones eficaces con alta capacidad ya que el costo de mano de obra es bajo, es un proceso automático que permite realizar a gran escala el proceso, además se da poca pérdida de aceite. Sin embargo, no es el método más propicio para cualquier tipo de semilla, su elevada temperatura puede afectar la calidad del producto final y se requiere de etapa adicional para la recuperación del solvente.
- **Extracción por fluidos supercríticos:** consiste en un proceso bajo condiciones moderadas de presión y temperatura, brinda facilidad de recuperación del disolvente supercrítico del extracto, ya que posibilita recuperar sustancias termolábiles de baja volatilidad, es considerada una extracción rápida y de alto rendimiento. Sin embargo, en cuanto a instalación puede resultar costoso, ya que necesita de medidores sofisticados, modo de operación a elevadas temperaturas que pueden alterar la calidad del aceite.
- **Extracción por prensado:** se caracteriza por ser un proceso de adecuada producción y simplicidad económica, su condición principal es la de presiones altas durante el proceso, además de no requerir de personal especialista, produce aceites de buena calidad y buen rendimiento en la extracción. Cabe tomar en cuenta que el sistema es en lotes, con un alto gasto de energía, y su rendimiento depende de factores como humedad, cocción y composición química del producto [35].

2.6.1. Extracción de aceite de semillas por prensado:

Actualmente, bajo consideraciones de protección ambiental, este proceso está cobrando nuevamente interés; usualmente la prensa utilizada es la de tornillo helicoidal, empleando una presión de trituración a las semillas. Otro ejemplo de prensa es la que aplica presión directamente sobre las semillas ubicadas en un barril con orificios a los costados lo cual permite la extracción y el escurrimiento del aceite de sus semillas, [22]; posteriormente el aceite obtenido debe ser purificado mediante el uso de separadores, filtros y decantadores [34]. La torta debe ser fraccionada mediante pulverizadores para la posterior utilización de la harina ya sea en la extracción con solventes o para procesarla como tal.

Diferentes estudios en la literatura indican que el aceite de semilla de chía obtenido por prensado contiene todos los ácidos grasos esenciales (**AGE**), principalmente omega-3 **ALA** y omega-6 ácido linoleico **LA**. Además, componentes como los fenólicos, los tocoferoles y fitoesteroles, que son importantes fuentes naturales de actividades antioxidantes, antiinflamatorias y anticancerígenas [15].

La técnica de prensado en frío se caracteriza porque conserva en excelentes condiciones el contenido de las propiedades nutricionales y de antioxidantes como la quercetina y la miricetina, a diferencia de la extracción con disolventes y la extracción con fluidos supercríticos cuyos residuos de solventes y altas condiciones de temperatura, respectivamente son factores que pueden alterar la composición del extracto [22].

2.7 Antioxidantes

2.7.1 Características e importancia de los antioxidantes

Los antioxidantes (A:H) son compuestos o sistemas que retrasan la auto - oxidación mediante la inhibición o al interrumpir la propagación de radicales libres, por ejemplo: el barrido de las especies que empiezan con la peroxidación, así como la inhibición de iones quelantes metálicos que no son capaces de generar especies reactivas o descomponer los peróxidos lipídicos, el bloqueo del $\bullet\text{O}_2^-$ para prevenirla formación de peróxidos, la ruptura de la reacción en cadena de la auto oxidación y/o la reducción de las concentraciones de O_2 localizadas [36].

Los antioxidantes naturales o sintéticos pueden aumentar la vida útil de los productos alimentarios retrasando la oxidación de los lípidos mediante diferentes mecanismos de acción. Los antioxidantes sintéticos de la industria alimentaria, como el butilhidroxianisol

(BHA), el butilhidroxitolueno (BHT) y la tertbutilhidroquinona (TBHQ), tienen un uso muy extendido como aditivos alimentarios [37].

En cuanto a otros compuestos bioactivos, las semillas de chía son también una fuente de antioxidantes; estos compuestos contribuyen a la fuerte actividad antioxidante de la chía que protegen al organismo de los radicales libres, el envejecimiento y el cáncer [21].

2.8 La vitamina E (Alfa Tocoferol)

La vitamina E fue descubierta en 1922 por Evans y Bishop como una biomolécula dietética vital para la reproducción de los mamíferos; se refiere a dos familias de moléculas conocidas como tocoferoles y tocotrienoles, cada una de ellas compuesta por cuatro miembros (α , β , γ y δ) que difieren en la metilación de su anillo de cromanol. Teniendo en cuenta esta diferencia estructural algo menor entre los miembros de la familia, y que todas las especies se consumen habitualmente en la dieta media, es notable que el α -tocoferol sea la única de las ocho variantes que el cuerpo humano retiene activamente [38].

Una gran cantidad de literatura defiende que la vitamina E es la primera línea de defensa de las membranas celulares contra la oxidación. Por ello, es utilizada habitualmente como conservante biocompatible en las industrias cosméticos y alimentos [38].

La característica antioxidante de los tocoferoles y tocotrienoles (considerados como cromanoles) se realiza primordialmente por su capacidad para conferir sus hidrógenos fenólicos a radicales libres de lípidos. Aunque generalmente la relativa actividad antioxidante de los tocoferoles in vivo está en el orden $\alpha > \beta > \gamma > \delta$ [39].

Los valores más altos de tocoferoles pueden tener un impacto positivo en la estabilidad de almacenamiento del aceite de chía [9].

2.9 Evaluación Oxidativa

La estabilidad oxidativa permite estimar el tiempo para considerar que un aceite deja de ser consumible [40].

Las semillas de chía contienen alrededor de un 32 % a 39 % de aceite, en el que los ácidos grasos omega 3 están presentes en altas cantidades (61 % a 70 %), siendo la fuente vegetal más rica en ácidos grasos, desde el punto de vista nutricional dicha composición de ácidos

grasos es favorable, pero el mayor contenido de ácidos grasos poliinsaturados (**PUFA**) se traduce en una baja estabilidad oxidativa y una menor vida útil del aceite.

La oxidación de los lípidos tiene efectos perjudiciales tanto para la calidad como para la salud humana [37]. Los patrones de degradación clásicos básicos que se observan en los aceites incluyen la hidrólisis, la oxidación y la polimerización térmica [41]. Aunque el aceite de chía contiene naturalmente sustancias antioxidantes para prevenir la oxidación, cuando se expone a factores ambientales como la luz y el oxígeno, su calidad química podría verse alterada [37]; por lo que se recomienda la adición de tocoferoles para la conservación del aceite [25].

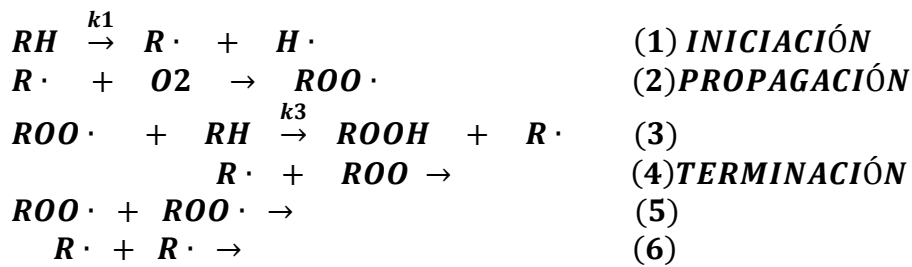
El proceso de oxidación de los lípidos inicia con pequeñas cantidades de oxígeno, por lo cual resulta difícil evitarlo; sin embargo, se puede controlar o retardar usando adecuadamente las diferentes técnicas de conservación, combinadas con el uso de antioxidantes. Es importante conocer cómo funcionan dentro del proceso de oxidación para obtener una aplicación apropiada de un antioxidante [29].

La oxidación de los ácidos grasos poliinsaturados en el aceite de semilla de chía da lugar a la generación de compuestos volátiles que son responsables de los malos sabores y pueden conducir a una mala aceptación por parte del consumidor [29].

Los aceites vegetales son susceptibles a la fotooxidación durante el almacenamiento bajo la luz, especialmente cuando hay fotosensibilizadores, como las clorofilas. Aunque el aceite de chía tiene un contenido muy bajo de clorofila (4,66 mg/kg de aceite) [37].

Dado que la oxidación es una reacción exotérmica, se han utilizado análisis térmicos para seguir el curso de la reacción mediante la monitorización continua de los efectos térmicos de la oxidación de los lípidos [42]. Las reacciones de autooxidación de los PUFA generalmente se pueden dividir en tres reacciones principales: iniciación, propagación (que incluye transferencia y ramificación en cadena), y terminación.

La reacción de iniciación (1) implica la generación de un radical, generalmente un radical alquílico (L') de un ácido graso (LH), esta reacción es muy lenta y depende del iniciador (/) empleado, a su vez la reacción puede ser catalizada por calor, luz, metales traza, y/o ciertas enzimas [39].



Mecanismo general de oxidación de los lípidos
Fuente: Santos, 2018

En la etapa inicial se producen dos tipos de reacciones; en primer lugar, las reacciones de iniciación donde actúan las barreras energéticas que impiden la interacción del oxígeno con los ácidos grasos insaturados, en este grupo las homeoproteínas, los metales y la fotoxigenación. Mientras que el segundo lugar se realiza la catálisis enzimática (lipoxigenasas). En la etapa de propagación se encuentran los radicales lipídicos formados por uno de los dos grupos de iniciación que resultan ser especies muy reactivas que sufren rápidamente reacciones entre una molécula de ácido graso (**RH**) con la abstracción del hidrógeno o por una reacción con oxígeno en su estado basal. La fase de terminación de la oxidación se da por la combinación de dos radicales [43].

Es así que, se destaca el uso de agentes antioxidantes sean estos sintéticos o de preferencia de origen natural, que interrumpan la cadena de radicales libres de las reacciones oxidativas, por lo que estos agentes deben ser añadidos lo más pronto posible en el proceso de fabricación u obtención del aceite, debido a que conforme pasa el tiempo no es posible revertir el proceso de oxidación del aceite. Múltiples productos combinan agentes antioxidantes y estiman la concentración óptima para lograr extender el tiempo de vida útil además de evaluar la estabilidad oxidativa del producto.

Frente a lo expuesto se determina que la oxidación es una reacción química donde ocurre una transferencia de electrones de una sustancia de interés a un agente antioxidante, es decir que las reacciones de oxidación producen radicales libres que dañan las células, y es en este punto donde los antioxidantes o agentes reductores (en este caso alfa-tocoferol) que son moléculas capaces de retardar o prevenir la oxidación, intervienen en las reacciones químicas quitando los intermediarios de radicales libres e inhibiendo otras reacciones de oxidación [44]. Debido a que los PUFAs determinan en gran medida la

estabilidad oxidativa del aceite, es que en los últimos años se ha implementado la adición de antioxidantes con el objetivo de extender la vida útil de los aceites vegetales [36].

Por tal motivo, ante la presencia de una corta vida útil del aceite de chía en almacenamiento a temperatura ambiente, lo que se pretende en el presente estudio es adicionar un antioxidante (alfa-tocoferol) como una alternativa para evitar la oxidación en el producto, de tal forma que se concluya una concentración adecuada de vitamina E para prolongar el tiempo de vida útil del aceite de chía.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

El trabajo experimental se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis Instrumental y fue 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 chía (*Salvia hispanica* L.), fue adquirido en la Distribuidora de Granos “DIPAGRI” ubicada en la ciudad de Saquisilí.
- El aceite de chía se obtuvo por prensado en frío a una temperatura inferior a 50°C, en el extractor Expeller marca FLORA POWER en el Laboratorio de Extracción de Aceites.
- Antioxidante natural α -tocoferol de la marca Toco Vit –E de 1000 I.U.

3.2 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.
- Cámara de extracción de gases NOVATECH – CE120BA.
- Equipo de determinación de grasa VELP SCIENTIFIC.SER 148.
- Analizador de humedad METTLER TOLEDO HX204.
- pH-metro METTLER TOLEDO SEVENT COMPACT.

3.3 Reactivos

- Mezcla (1:1) de alcohol - éter dietílico LOBACHEMIE.
- Solución 0,1 N de hidróxido de sodio NOVACHEM (NaOH).
- Solución 0,5 N de hidróxido de potasio NOVACHEM (KOH).
- Solución 0,5 N de ácido clorhídrico (HCl) ACS FISHER SCIENTIFIC.
- Solución ácido clorhídrico 37% ACS FISHER SCIENTIFIC.
- Solución saturada de yoduro de potasio (KI) EMSURE.
- Solución indicadora de fenolftaleína al 1% (C₂₀H₁₄O₄) NOVACHEM.

- Tiosulfato de sodio EMSURE.
- Fenolftaleína al 1% NOVACHEM.
- Ácido acético glacial 37% ACS FISHER SCIENTIFIC.
- Cloroformo FISHER SCIENTIFIC.
- Alcohol etílico FISHER.
- Hexano grado cromatográfico (HPLC) FISHER SCIENTIFIC.
- Metanol extra puro 99,5% LOBACHEMIE.
- Hexano grado reactivo (C₆H₁₄) ACS FISHER SCIENTIFIC.

3.4 Materiales

- Tubos con rosca.
- Vasos de precipitación de 100 y 250 mL
- Erlenmeyer de 250 mL
- Buretas de 10 mL.
- Micropipetas de 100 a 1000 µL
- Matraz de 100 mL.
- Balones aforados de 100 y 500 mL.
- Botellas de vidrio color ámbar de 1000 mL.
- Botellas de vidrio color ámbar de 60 mL.

3.5 Procedimiento

3.5.1 Extracción del aceite de chía

Previo a la extracción de aceite, a las semillas de chía (*Salvia hispanica* L.), se les realizó una inspección con el fin de eliminar todas las impurezas. Luego fueron llevadas a prensado a una temperatura inferior de 50 °C, para lo cual se empleó un equipo Expeller marca FLORA POWER, donde se colocó 50000 g de semillas de chía en la tolva, el husillo gira dentro de la camisa moliendo las semillas y transportándolas hasta el cabezal, lugar donde se estrangula ya que ejerce una presión máxima. El aceite se descargó por unas ranuras de salida del equipo. El aceite extraído fue decantado y filtrado para luego ser colocados en botellas de color ámbar, con el fin de conservar sus propiedades fisicoquímicas.

3.5.1.1 Rendimiento de la extracción de aceite de chía

El porcentaje de rendimiento, llevado a cabo en el método de extracción por prensado en frío, fue calculado con la siguiente fórmula:

$$\% RA = \left(\frac{PA}{PS} \right) * 100$$

(Ecuación 1)

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 chía

Los análisis fisicoquímicos proporcionan la información relativa de la calidad del aceite y se componen de un grupo de pruebas o estaciones de prueba predeterminadas y procesadas bajo estándares y métodos establecidos [44]. A continuación, se indica los métodos empleados:

3.5.2.1 pH

Se realizó la determinación de pH con el uso del potenciómetro METTLER TOLEDO SEVENT COMPACT, para lo cual se homogenizó el aceite de chía y en un vaso de precipitación se pesó 50 g de muestra. Luego se introdujo los electrodos potenciómetro que previamente fue calibrado con tampones de pH con valor de 4 y 7 y se procedió con la medición.

3.5.2.2 Humedad

El porcentaje de humedad se llevó a cabo con el uso del Analizador de Humedad METTER TOLEDO HX20. Se seleccionó la temperatura de secado que fue de 150 °C, se pesó 10 g de aceite de chía en el plato porta-muestra del equipo y se cerró la cámara de muestras. Finalmente se seleccionó START DRYING, para empezar con la lectura de humedad y se esperó alrededor de 15 min para obtener los resultados, el cual es expresado en % MC.

3.5.2.3 Índice de Acidez (expresado en ácido oleico)

Se realizó de acuerdo con el Método Oficial AOAC (2002) 940.28 y la Norma Técnica Ecuatoriana INEN (1973) NTE 0038. En un Erlenmeyer de 250 mL se pesó 3 g de aceite de chía, en el cual se agregó 20 mL de la solución alcohol- éter (1:1) neutralizado y 1 mL de fenolftaleína. Se agitó constantemente titulando los ácidos grasos con solución

hidróxido de sodio 0,1N hasta alcanzar una coloración rosada [43]. La acidez del aceite se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$A = M * V * N / 10 * m$$

(Ecuación 2)

Dónde:

A: Índice de acidez del aceite, expresado en porcentaje de ácido oleico.

M: masa molecular del ácido oleico (282g/mol)

V: volumen de solución de NaOH empleado en la titulación (mL)

N: Normalidad de la solución de hidróxido de sodio (0,1 N)

m: peso de la muestra de aceite (g).

3.5.2.4 Índice de Peróxido

Para la determinación del índice de peróxido se basó en el Método Oficial **AOAC (2002)** 965.33. Se disolvió el aceite de chía en ácido acético y cloroformo, luego se adicionó una solución de yoduro de potasio saturado. Por otro lado, el yodo liberado se determinó con solución valorada de tiosulfato de sodio. El índice de peróxidos (**IP**) se expresa en miliequivalentes de oxígeno por kilogramo de aceite (meq O₂/kg) para lo cual se utilizó la fórmula siguiente:

$$IP = V * M * 1000 / P$$

(Ecuación 3)

Donde:

V: volumen de solución tiosulfato de sodio valorada, convenientemente corregido para tener en cuenta el ensayo en blanco (mL).

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

P: peso en gramos de la muestra.

3.5.3 Calidad nutricional del aceite de chía

3.5.3.1 Perfil de ácidos grasos del aceite

- **Obtención de ésteres metílicos de ácidos grasos**

El método de metil-esterificación consistió en esterificar los ácidos grasos presentes en el aceite de chía en un tubo con tapa rosca de 20 mL; se pesó 0,025g de aceite en el tubo y

se adicionó 2 mL de la solución metanólica de KOH 0,5 M. Luego se introdujo los tubos en un baño María a ebullición durante 10 minutos y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Después se añadió 1 mL de solución metanólica de HCl (1:4 v/v), seguidamente se colocó los tubos en baño María a 50 °C, durante 25 minutos y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Al terminar las dos reacciones, para que ocurra el proceso de separación de fases (fase orgánica e inorgánica) se añadió 3 mL de agua destilada y 10 mL de hexano HPLC en el tubo y se agitó por 10 segundos dejándolo reposar por 24 horas, en el hexano se separan los ésteres de ácidos grasos y en el agua otras sustancias o productos de la reacción de esterificación. Transcurrido ese tiempo se tomó 1,5 mL de la fase superior del tubo que contiene hexano con ésteres de ácidos grasos o también llamados ésteres metílicos y se trasvaso al vial cromatográfico para su posterior determinación del perfil de ácidos grasos.

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

Empleando un cromatógrafo de gases (Agilent Technologies 7890B GC System), acoplado a un detector de masas Agilent Technologies 5977A MSD, se pudo determinar el perfil de ácidos grasos. Para el uso del cromatógrafo de gases se empleó una columna HP - 88 (60 metros/ 0,25 milímetros, 0,20 micras- con una rampa de calentamiento de 50 a 250/260°C) para conseguir el fraccionamiento requerido [43]. Además del gas portador que fue Helio 99,999%, con flujo dentro de la columna de 1,4 mL/min. El volumen de inyección fue de 0,5 µl con modo de inyección splitless. Para la identificación de los ácidos grasos del aceite de chía, los compuestos que son separados por el cromatógrafo de gases son transferidos al espectrómetro de masas por el gas portador (He), los cuales se disocian en fragmentos iónicos que se ven reflejados en forma de picos en un cromatograma y se analizan de manera cualitativa mediante la ayuda de una base de datos, la biblioteca NIST14.L, la cual cuenta con 350,643 espectros de masas con sus respectivos nombres, sinónimos y estructuras químicas, índices de retención de GC, #CAS, peso molecular y fórmula.

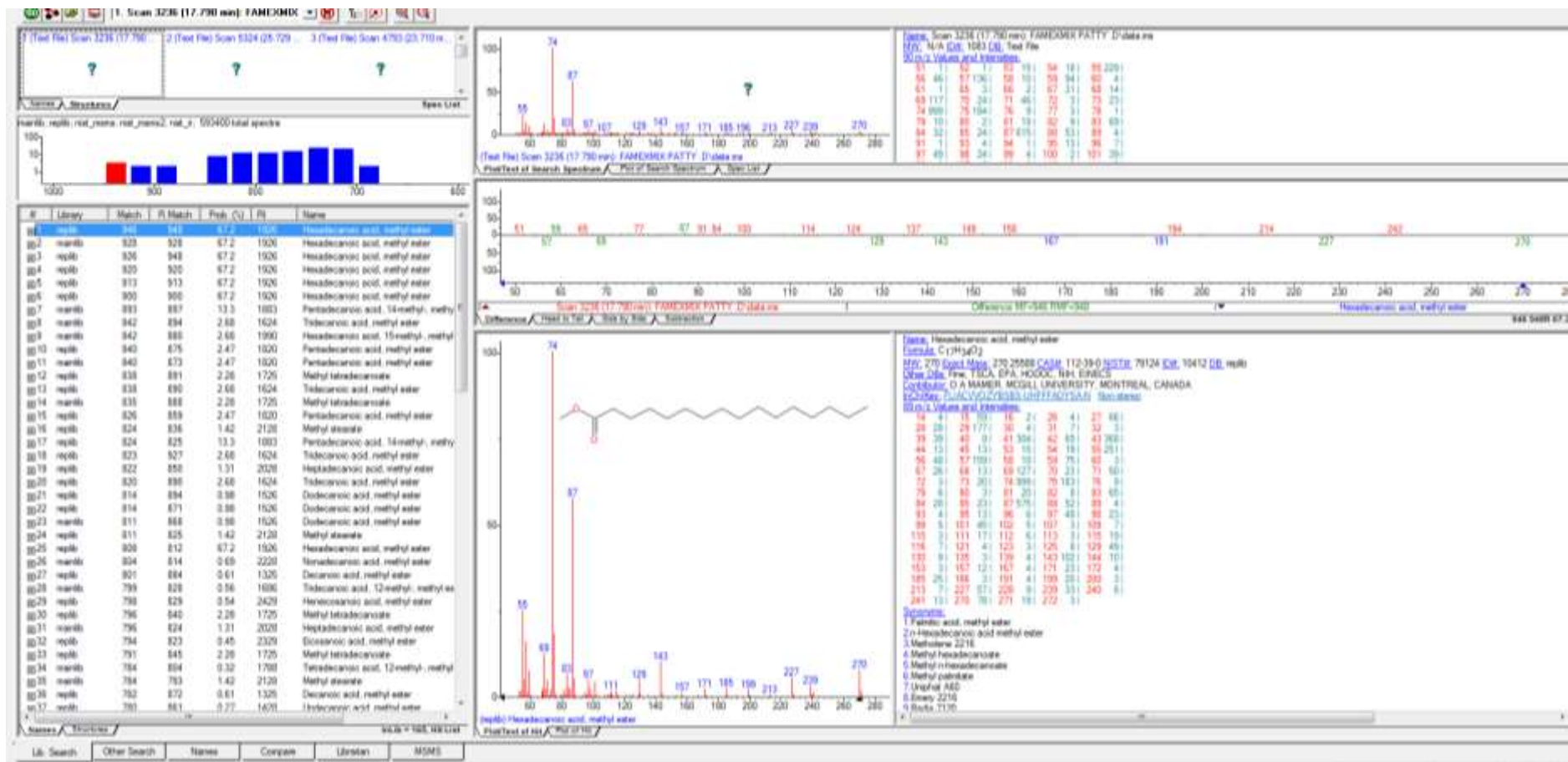


Figura 3. Biblioteca NIST14. L. Identificación de ácidos grasos
Fuente: Laboratorio de Canje, FCIAB, UTA



Figura 4. Cromatógrafo de gases Agilent Technologies 7890B GC System con detector de masas Agilent Technologies 5977A MSD.

Como lo mencionamos anteriormente, la identificación de los ácidos grasos del aceite de chía se obtuvo a través de la biblioteca NIST14. L, instalada en el computador del cromatógrafo de gases y a través de un material de referencia estándar de metil ésteres de ácidos grasos Supelco (Component Fame Mix C8-C22), la comprobación de la identificación de los compuestos que se obtuvo del detector de masas se realizó en base a los tiempos de retención de los ésteres de ácidos grasos del material de referencia y los ésteres de ácidos grasos de las muestras presentes en los aceites.

- **Cuantificación de ácidos grasos del aceite de chía**

Por último, la cuantificación de ácidos grasos presentes en las muestras de aceite se determinó en base a un patrón estándar externo, en este caso material de referencia FAME MIX C8 – C22, el cual sirve como criterio de control de calidad para la elaboración del perfil lipídico. Fue necesario identificar los analitos presentes en el patrón de referencia mediante el análisis en el cromatógrafo de gases Agilent Technologies 7890B GC System, acoplado a un detector de masa 5977A GC/MSD autosampler 7693.

El cromatograma obtenido del FAME MIX C8 – C22 (Figura 5) indicó los picos con sus respectivos tiempos de retención y porcentaje de área de cada metil éster que contiene la mezcla del patrón, a más de especificar el nombre del analito, #CAS y #Referencia identificado por la base de datos del Software GC/MSD Data Analysis (Figura 6).

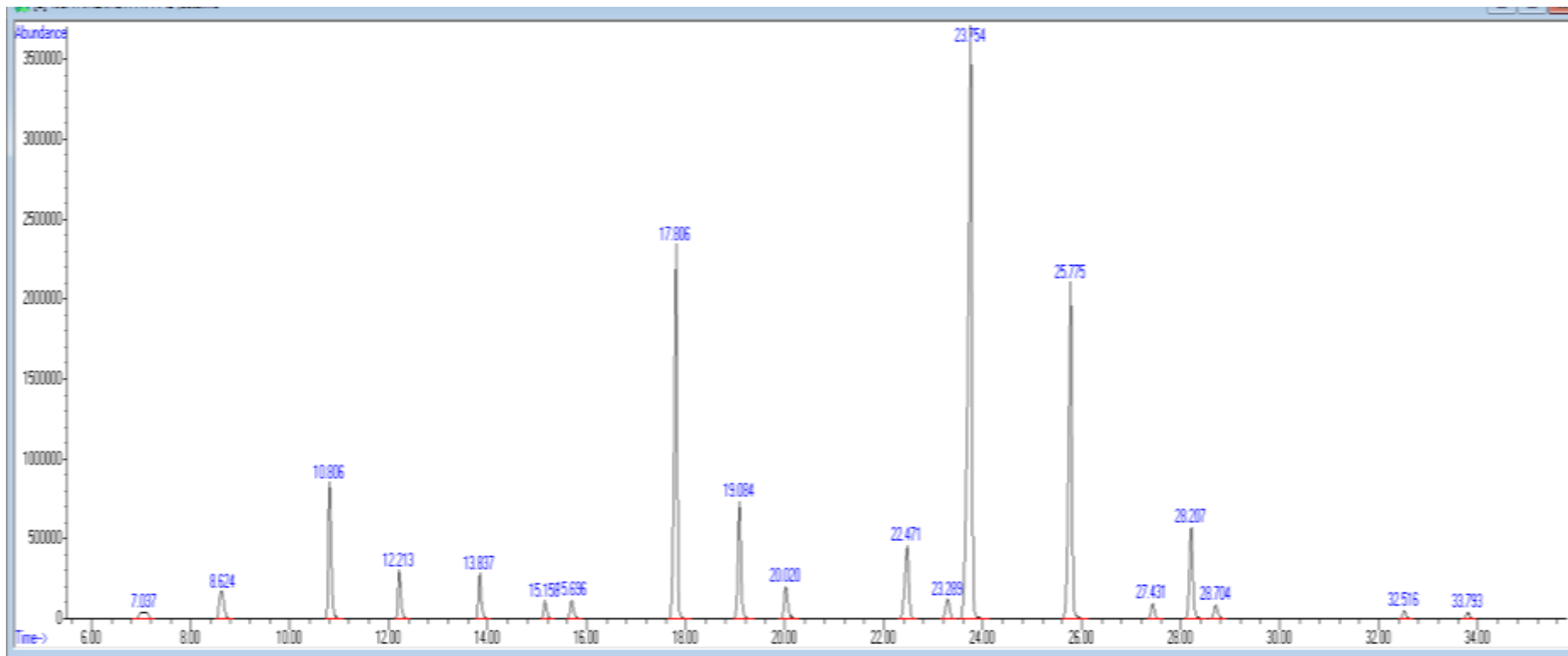


Figura 5. Cromatograma FAME MIX C8 – C22. Visualización del tiempo de retención y %área de cada uno de los analitos de la mezcla.
 Fuente: Laboratorio de Canje, FCIAB, UTA.

Library Search Report

Data Path : D:\MassHunter\GCMS\1\data\
 Data File : FAMEX11X.PATTY.D
 Acq On : 02 Jun 2021 10:03
 Operator :
 Sample :
 Misc :
 ALS Vial : 21 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: D:\MassHunter\Library\NIST14.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autoint1.e

PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	7.837	8.88	D:\MassHunter\Library\NIST14.L			
			Octanoic acid, methyl ester	31295	000111-11-5	83
			Octanoic acid, methyl ester	31294	000111-11-5	78
			Octanoic acid, methyl ester	31293	000111-11-5	78
2	8.624	1.86	D:\MassHunter\Library\NIST14.L			
			Decanoic acid, methyl ester	52763	000110-42-9	97
			Decanoic acid, methyl ester	52772	000110-42-9	94
			Decanoic acid, methyl ester	52771	000110-42-9	90

Figura 6. Reporte obtenido por la Biblioteca NIST14.L del FAME MIX C8 – C22
 Fuente: Laboratorio de Canje, FCIAB, UT

La cuantificación se realizó por medio de la integración de las áreas de los picos resultantes del análisis cromatográfico y siguiendo la metodología del Laboratorio FEA [45]. El primer paso en la cuantificación fue determinar el factor de corrección o calibración para cada compuesto, en base a los porcentajes de los esteres de ácidos grasos dados por el material de referencia (estándar) FAME MIX C8-C22 y las áreas de los esteres de ácidos grasos obtenidos del cromatógrafo al ser inyectado el estándar (Tabla 4). La ecuación para hallar el factor de calibración fue la siguiente:

$$f_i = \left(\frac{C_{iM}}{A_{iM}} \right)$$

(Ecuación 4)

Donde:

f_i : Factor de calibración para cada compuesto (éster de ácido graso)

C_{iM} : Concentración del compuesto i en la mezcla de referencia (% m/m)

A_{iM} : Porcentaje en área del compuesto i (%) en la mezcla de referencia

El porcentaje de éster metílico de cada ácido graso presente en el aceite se calcula empleando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ EAG}_i = \left(\frac{A_i * f_i}{\sum A_i * f_i} \right) * 100 \%$$

(Ecuación 5)

Donde:

EAG_i : % Éster metílico del ácido graso i en el aceite

A_i : Porcentaje en área del éster metílico del ácido graso i (%) en las muestras de aceite

f_i : Factor de calibración para cada compuesto (éster de ácido graso)

Tabla 4. Datos obtenidos del factor de calibración del Fame Mix C8 – C2

Número	Orden de elución*	Nombre del metil éster presentes en el material de referencia*	% Peso del metil éster (obtenido del certificado de análisis del material de referencia)*	Tiempo de retención del analito en el material de referencia	% Área del analito del material de referencia	Factor de calibración (calculado)
1	1	METHYL OCTANOATE	1,900	7,037	0,800	0,421
2	2	METHYL DECANOATE (CAPRATE)	3,210	8,624	1,860	0,579
3	3	METHYL LAURATE	6,390	10,806	5,570	0,872

4	4	METHYL TRIDECANOATE	3,200	12,213	2,020	0,631
5	5	METHYL MYRISTATE	3,200	13,837	1,960	0,613
6	6	MYRISTOLEIC ACID METHYL ESTER	1,900	15,158	0,800	0,421
7	7	METHYL PENTADECANOATE	1,910	15,696	0,930	0,487
8	8	METHYL PALMITATE	13,000	17,806	16,810	1,293
9	9	METHYL PALMITOLEATE (METHYL CIS 9- HEXADE)	6,390	19,084	5,270	0,825
10	10	METHYL HEPTADECANOATE	3,200	20,020	1,750	0,547
11	11	METHYL STEARATE	6,490	22,471	4,360	0,672
12	12	TRANS-9-ELAIDIC ACID METHYL ESTER	2,600	23,289	1,170	0,450
13	13	CIS-9-OLEIC ACID METHYL ESTER	19,580	23,754	33,290	1,700
14	14	METHYL LINOLEATE	13,010	25,775	16,350	1,257
15	15	METHYL ARACHIDATE	1,900	27,431	0,780	0,411
16	16	METHYL LINOLENATE	6,410	28,207	4,720	0,736
17	17	METHYL CIS-11- EICOSENOATE	1,900	28,704	0,810	0,426
18	18	METHYL BEHENATE	1,910	32,516	0,430	0,225
19	19	METHYL ERUCATE (CIS-13- DOCOSENOATE)	1,900	33,793	0,320	0,168

* Información obtenida del certificado de análisis (Sigma-Aldrich)

Tabla 5. Pesos moleculares de ésteres metílicos de los ácidos grasos y pesos Moleculares de sus respectivos ácidos grasos

Ácido graso	PMEAGi:	PMAGi:
	Peso molecular de éster metílico del ácido graso	Peso molecular del ácido graso
Ácido palmítico	270,46	256,43
Ácido esteárico	298,51	284,49
Ácido oleico	296,5	282,47
Ácido linoleico	294,48	280,45
Ácido linolénico	292,47	278,44

Luego de determinar los porcentajes de éster metílico de los ácidos grasos, es necesario pasar a porcentaje de ácidos grasos en el aceite, por lo que se empleó los pesos moleculares de los ésteres de ácidos grasos y los pesos moleculares de los respectivos ácidos grasos, Tabla 5. Además, se utilizó los datos obtenidos en el reporte proporcionado por la base de datos (% área, RT e ID) tanto del patrón (Figura 5) como de las muestras

como por ejemplo el valor de uno de ellos señalado en la Figura 7, para poderlas comparar. Además, previo a los cálculos fue necesario tener los siguientes datos: peso molecular de cada uno de los ésteres metílicos y sus respectivos ácidos grasos que conforman el patrón de referencia (g/mol).

En la determinación del porcentaje de ácidos grasos en el aceite se utiliza la fórmula siguiente:

$$\% \text{ Ácido graso en el aceite} = \left(\frac{EAG_i * \left(\frac{PMAG_i}{PMEAG_i} \right)}{\sum EAG_i * \left(\frac{PMAG_i}{PMEAG_i} \right)} \right) * 100 \%$$

(Ecuación 6)

Donde:

EAG_i: % Ester metílico del ácido graso i en el aceite

PMAG_i: Peso molecular del ácido graso i

PMEAG_i: Peso molecular de éster metílico del ácido graso i

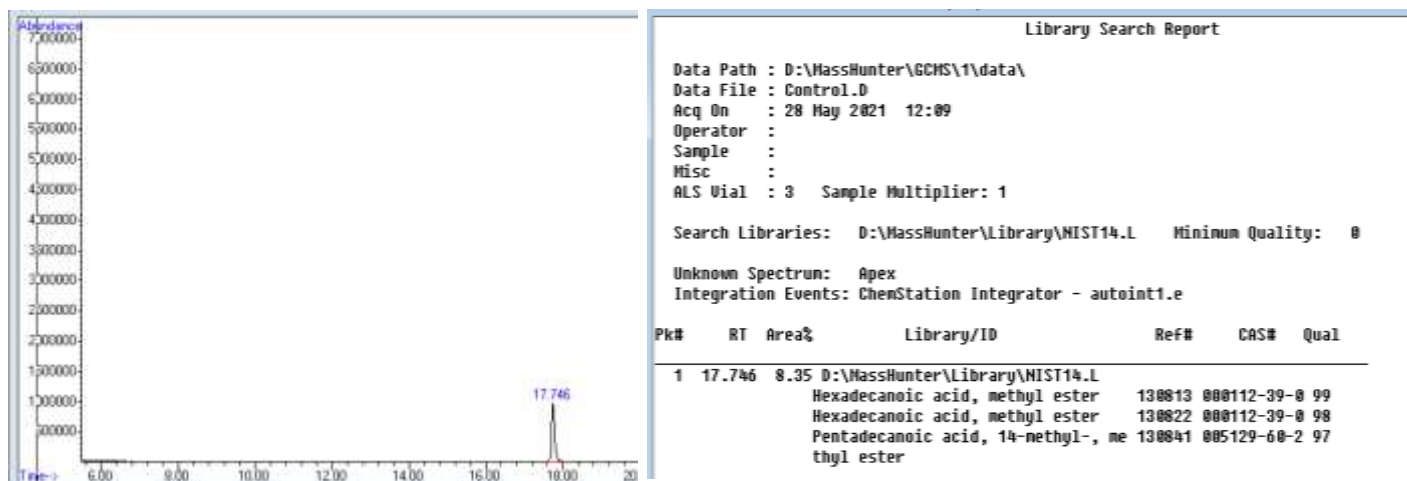


Figura 7. Pico del ácido metil éster hexadecanoico detectado en la base de datos
Fuente: Laboratorio de Canje, FCIAB, UTA.

- **Cálculo demostrativo del porcentaje de ácidos grasos (%p/p) para ácido palmítico en aceite de chía control después de 15 meses**

1. Concentración del compuesto o analito (metil éster)

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

(Ecuación 7)

$$Conc.\text{analito} = \frac{8,35}{1,293}$$

$$Conc.\text{analito} = 6,458$$

2. Proporción en masa del éster metílico

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

(Ecuación 8)

$$\% \text{ éster metílico}_{\text{masa}} = \frac{6,458 * 100}{116,427}$$

$$\% \text{ éster metílico}_{\text{masa}} = 5,547$$

3. Concentración del ácido graso

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

(Ecuación 9)

$$Conc.\text{ac.graso} = \frac{256,400\text{g/mol} * 5,547\%}{270,500\text{g/mol}}$$

$$Conc.\text{ac.graso} = 5,258$$

4. Proporción en masa del ácido graso

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

(Ecuación 10)

$$\% \text{ácido graso}_{\text{masa}} = \frac{5,258 * 100}{95,172}$$

$$\% \text{ácido graso}_{\text{masa}} = 5,524$$

Tabla 6. Datos obtenidos del porcentaje de ácido palmítico

% Área de muestra	Concentración del compuesto o analito	Proporción en masa del éster metílico (%)	Peso molecular del éster metílico (g/mol)*	Peso molecular del ácido graso (g/mol)*	Concentración del ácido graso	Proporción en masa del ácido graso (%)
8,350	6,458	5,547	270,500	256,400	5,258	5,524

Al final de los cálculos se expresaron como el valor medio en porcentaje del ácido graso \pm desviación estándar de tres inyecciones de cada muestra de aceite

3.6 Determinación de la estabilidad oxidativa del aceite de chía

Para determinar la estabilidad oxidativa, se prepararon muestras de aceite para realizar cinco tratamientos con y sin antioxidante (α -tocoferol), como se indica en la Tabla 7, que a continuación se presenta:

Tabla 7. Tratamientos de conservación del aceite de chía con alfa-tocoferol (Vitamina E)

Tratamientos	Contenido de alfa-tocoferol en porcentaje
TC	0 %
T1	0,025 %
T2	0,050 %
T3	0,075 %
T4	0,10 %

TC: tratamiento control

Fuente: Unidad Operativa de Investigación y Desarrollo (UODIDE) – Laboratorio de Análisis Instrumental.

Se empleó un diseño de Bloques al Azar con tres replicas. Al final los aceites con y sin alfa-tocoferol se utilizaron para analizar la estabilidad oxidativa del aceite de chía mediante el Equipo Oxitest Test Reactor VELP SCIENTIFIC.

Actualmente el uso de vitamina E (alfa tocoferol) en aceites comerciales no suele emplearse por su alto costo, por ello para evitar las oxidaciones de los aceites en la industria alimenticia se emplean sustancias químicas como el Butilhidroxianisol (BHA), Butilhidroxitolueno (BHT) o Terbutil dihidroquinona (TBHQ), muy cuestionadas por ser consideradas cancerígenas. Por lo que se han empezado estudios en otras fuentes naturales de aceites como lo es el aceite de chía, el mismo que a un precio comercial se podría vender y permitiría agregarle a su composición la vitamina E. Hasta el momento no se han completado estudios a nivel nacional acerca del uso de vitamina E como antioxidante en el aceite de chía.

Dentro del proceso de determinación de la estabilidad oxidativa del aceite, en primer lugar, se verificó que el equipo se encuentre completamente limpio; para lo cual se procedió a abrir las 2 cámaras de oxidación del reactor, donde se limpió tanto el soporte de muestras de titanio como los 2 espaciadores por cámara con un paño empapado en alcohol etílico al 70 %. Se colocó silicona para altas temperaturas en los empaques que se encuentran alrededor de la cámara para evitar fugas. Luego se colocaron los dos espaciadores y sobre ellos el soporte de titanio que debe contener $10 \pm 0,03$ g de muestra de aceite de chía con y sin antioxidante previamente pesado cada una sobre las dos cámaras de oxidación. Se procedió a cerrar las cámaras colocando las tapas que contienen las válvulas que controlan la presión en el equipo, una vez colocada la muestra se conectó al equipo que contiene el software VELP OXITEST OXIsoft. A continuación, se procedió con el ingreso de datos, como son: peso de las muestras de aceite de chía, temperatura de oxidación (80, 90 y 100 °C) y el tiempo probable de duración del proceso de oxidación en (horas: minutos)

Una vez ingresados los datos se esperó a que la temperatura llegara al punto establecido, en este caso 100 °C, para presurizar. A continuación, en el equipo se visualizó un mensaje que se debía cerrar las válvulas, una vez cerradas las válvulas se procedió a abrir las llaves del tanque de Oxígeno y llave de paso regulando la presión a 6 bares. Al llegar a la presión indicada, se cerró las llaves del tanque de oxígeno para que así transcurriera el tiempo requerido y finalmente registraran los datos [43]. Al final del análisis se obtiene el periodo de inducción **IP** cuando la oxidación del aceite llegue a 10 de índice de peróxido.



Figura 8. Equipo para determinar la estabilidad a la oxidación de aceites OXITEST.

Con los valores obtenidos del periodo de inducción **IP** (Tiempo en el que el aceite inicia el periodo de oxidación (Anexo 1. Tabla 17), expresado en horas se efectuó una extrapolación matemática utilizando la siguiente ecuación de la recta:

$$y = mx + c \quad (\text{Ecuación 11})$$

Dónde:

y = temperatura a la cual se somete el aceite a oxidación en el Reactor OXITEST, que puede ser 80, 90 y 100 °C.

m = pendiente de la recta.

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

3.7 Almacenamiento del aceite de chía: a temperatura ambiente

Se preparó dos tratamientos con y sin antioxidante (alfa-tocoferol) por triplicado, los tratamientos fueron los siguientes:

Tratamiento TC: 0% alfa-tocoferol (control).

Tratamiento 2: Mejor tratamiento de la estabilidad oxidativa determinado por Oxitest. Con 0,05% de alfa – tocoferol

Los aceites de los dos tratamientos fueron envasados en botellas de cristal ámbar de 60 mL de volumen, en un total de 6 frascos y fueron almacenados durante 15 meses a 15 °C,

temperatura ambiente en el laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad. Luego del almacenamiento se procedió a realizar el análisis de acidez, índice de peróxido y perfil de ácidos grasos.

La caracterización físico química y de ácidos grasos de los tratamientos control (TC) y mejor tratamiento de estabilidad oxidativa (T2) del aceite de chía almacenado a temperatura ambiente (15 °C) no se realizó en el tiempo planificado (4 meses) sino a los 15 meses de almacenamiento, debido a la Pandemia Mundial (Covid-19); objetivo planteado que se ejecutó, previa autorización de la coordinación de Posgrados, período que nos permitió obtener un resultado más robusto y de mejor extrapolación del aceite de chía con y sin antioxidante. Cambiado mediante resolución FISEI-MQ-06-DAA del 27 de marzo de 2021.

3.8 Análisis estadístico

El análisis estadístico se llevó a cabo mediante el software Excel (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA) y el programa estadístico Statgraphics Centurion XVII (Statpoint Technologies Inc. Warrenton, VI, USA). Las comparaciones entre tratamientos se analizaron en base a la varianza (ANOVA). Cuando los análisis resultaron con diferencia significativa, las medias fueron comparadas mediante la prueba de rangos múltiples de Tukey o de Duncan con un nivel de confianza del 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 chía

Es importante conocer el rendimiento de extracción del aceite de chía, de tal manera de obtener las mejores condiciones de operación, desde la obtención y selección de materia prima, equipos, condiciones de extracción, calidad del aceite, condiciones ambientales hasta el método operacional, sea prensado en frío, prensado caliente o extracción con solventes.

En la tabla 8, se indican las cantidades de semilla de chía que se empleó en tres extracciones de aceite, obteniéndose un valor promedio de $(24,42 \pm 2,18)$ % de rendimiento de aceite, es decir que se obtuvo 24,42 g de aceite por cada 100 g de semilla de chía.

Tabla 8. Datos obtenidos del rendimiento de extracción del aceite de chía.

Muestra	Peso semilla (g)	Peso aceite extraído (g)	Porcentaje de aceite extraído (%)
Semillas de	16000	3900	24,37
Chía	16200	4000	24,69
	17680	4250	24,03
	PROMEDIO		24,42 ± 2,18

Fuente: Unidad Operativa de Investigación y Desarrollo (UODIDE) – Laboratorio de Análisis Instrumental.

El resultado obtenido en este estudio es casi similar a la investigación que reporta un valor de entre el 26 y 34 % de aceite extraído por prensado en frío [10]; existiendo un porcentaje entre el 30 al 33 % de concentración de grasa en las semillas de chía [9]. El rendimiento de aceite depende de la eficiencia y de los parámetros utilizados durante la extracción, incluyendo el tipo de disolvente, la temperatura y el tiempo de extracción, así como el tamaño de las semillas y su contenido de humedad; también la naturaleza de las semillas, que se ve afectada por factores genéticos y ambientales [46]. Por otro lado, se menciona que el aceite de las semillas de chía oscila entre el 25 y el 50% y contiene altas concentraciones de ácidos grasos poliinsaturados [21]. La diferencia de contenido de

aceite podría estar relacionada con la variedad en las condiciones climáticas, prácticas agronómicas, regímenes de fertilización, prácticas de riego [26]; así como la técnica de extracción del aceite, el origen de la semilla y las características del suelo de cultivo [10].

Sin embargo, en otro estudio se reporta un porcentaje de 16,06 % del contenido total de lípidos presentes en el aceite extraído por prensado en frío de las semillas cultivadas en el Ecuador [26], este resultado es menor con relación al obtenido en la presente investigación.

Las características sensoriales que determinan la calidad del aceite son principalmente el color, textura, forma, apariencia, viscosidad, olor y sabor [47]. En la Figura 9, se muestra la prensa Expeller con la que se extrajo el aceite de chía, además del producto clarificado, después del prensado. Las características físicas que se observan en el aceite de chía es un color amarillo brillante y una contextura líquida viscosa.

Equipo de Prensado Expeller



Aceite de chía



Figura 9. Equipo de extracción por prensado Expeller y obtención de aceite de chía

Los aceites extraídos de las semillas de chía, originarios de Cuba y Ecuador presentan apariencia oleosa de color amarillo claro, olor ligeramente aromático y en el caso de Ecuador un tono verde ligero [48]. Las características que mayor aceptabilidad tuvieron sobre el aceite de chía fueron la apariencia, sabor, color y consistencia. Es así como el producto final que se obtuvo en esta investigación se considera aceptable con base a sus características físicas para un aceptable consumo de la población [49].

4.2 Análisis de parámetros fisicoquímicos

Las propiedades fisicoquímicas de las grasas y aceites son de alta prioridad, pues demuestran las cualidades del aceite de chía [50]; como es el caso del porcentaje de humedad, que determina la calidad del aceite; pues un alto contenido de humedad aumenta la propensión a la descomposición hidrolítica del aceite, lo que provoca un mayor contenido de ácidos grasos libres y un sabor rancio [47], también es importante resaltar que el índice de acidez de un aceite mientras más bajo se mantenga existe menor probabilidad de que los ácidos grasos libres sufran un deterioro oxidativo que cuando están unidos al glicerol formando los triglicéridos [37].

Tabla 9. Análisis Fisicoquímico del aceite de chía

Parámetro fisicoquímico	Tratamiento control		Tratamiento α tocoferol 0,05%	
	t = 0 meses	t = 15 meses	t = 0 meses	t = 15 meses
Humedad (%)	0,116± 0,015	0,860±0,006	0,067±0,003	0,176±0,004
pH	4,560±0,036	3,070±0,070	4,200±0,050	3,883±0,015
Índice acidez (% ácido oleico)	0,308± 0,056	0,509±0,007	0,279±0,004	0,465±0,005
Índice de Peróxido (meq/kg)	3,460 ±0,159	10,267±0,115	2,042±0,010	5,543±0,004

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

En la Tabla 9, se presentan las características fisicoquímicas del aceite de chía extraído y luego de ser almacenados por 15 meses. Los valores después de su extracción fueron 0,308 de índice acidez (% ácido oleico) y 3,46 de índice de peróxido (meq O₂/Kg aceite), al no haber una norma para aceite de chía fue necesario comparar con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 29:2012, de aceite de oliva, que establece como valores máximos de 0,5 % de acidez y 10 de índice de peróxido. Lo que indica que el aceite de chía obtenido es de buena calidad tanto de acidez como de índice de peróxido.

Luego de 15 meses de almacenamiento del aceite de chía sin α tocoferol, presenta un valor de 0,509±0,007 de índice de acidez y de 10,267±0,115 de índice de peróxido, valores presentados a temperatura ambiente los cuales sobrepasa lo establecido en la Norma Ecuatoriana NTE INEN 29:2012, lo que significa que este aceite está en mal

estado y no es adecuado para su consumo. Lo contrario ocurre con el aceite de chía con 0,05% de α tocoferol, almacenado durante 15 meses, sus valores del índice de acidez de $0,465 \pm 0,005$ e índice de peróxido con un valor de $5,543 \pm 0,004$, mismos que están dentro de la Norma Técnica, lo que significa que el aceite se encontraba todavía en buen estado. Estimando que el α tocoferol o vitamina E ayudó en su conservación. Además, es posible indicar que los valores del índice de acidez e índice de peróxido del aceite con vitamina E luego de los 15 meses, fueron más altos a los que presentó el aceite de chía recién extraído y que no fue almacenado, ya que el factor tiempo tuvo su efecto natural sobre el aceite llevándolo gradualmente a su degradación.

Los resultados fisicoquímicos presentados en este estudio son análogos al índice de acidez de 3,0 mg KOH/g e índice de peróxido 2,3 meq O₂/Kg del aceite de chía obtenido por prensado en frío en el estudio del autor [11] sobre el Diseño de una planta para la extracción de aceite vegetal comestible de las semillas de chía (*Salvia hispanica L*) mediante prensado en el año 2015. En otra investigación realizada en el año 2020 sobre el aceite de chía obtenido por el método de prensado en frío [15] exponen un valor muy similar de índice de peróxido $3,65 \pm 0,29$ meqO₂/kg obtenido del aceite de chía extraído por prensado en frío; comparando los valores registrados de la investigación realizada en el año 2017, sobre la Evaluación de la estabilidad oxidativa de productos a través del método de Oxitest y análisis sensorial [51] ellos señalan un valor de índice de peróxido de 2,56 meqO₂/ Kg y un índice de acidez que se muestra mucho menor al del presente estudio con un valor de $0,13 \pm 0,0031$, en otra investigación señalan un índice de peróxido de 1,35 meqO₂/kg en muestras de aceite de chía extraído por prensado en frío [37].

Según el CAA (Código Alimentario Argentino) especifica que el índice de peróxido posterior a un tiempo de almacenamiento para el aceite de girasol virgen no refinado determina un límite de 15 meqO₂/Kg. El Códex es más general al determinar el valor del índice de peróxido en aceites vírgenes prensados en frío un máximo de 15 (meqO₂/Kg); mientras que para otras grasas y aceites 10 (meqO₂/Kg); con estos antecedentes Bodoira, (2017) [37] en su investigación demuestra que luego de 165 días de almacenamiento los grados de acidez (GA) corresponden a 0,22 teniendo como factor el control de exposición a luz; evidenciando que el aceite de chía es estable frente a la degradación hidrolítica de los glicéridos, aún en condiciones de exposición a la luz; con relación al índice de peróxido registra un valor de 15 (meqO₂/Kg) a los 108 días de almacenamiento expuesto a la luz y de 142 días conservado en la oscuridad las dos muestras sin combinar con

ningún antioxidante; mientras que la combinación del aceite de chía con diferentes tipos de antioxidantes demuestra que el tratamiento con mejor resultado fue el de TBHQ (2,5-diterbutil hidroquinona) con 216 días en conservación y con PA (palmitato de ascorbilo) con 190 días de almacenamiento, presentaron un índice de peróxido de 2 (meqO₂/Kg), mientras que la combinación de los antioxidantes PA (palmitato de ascorbilo) + TOC (Tocoferoles) con 207 días de almacenamiento demostró un índice de peróxido de 1 (meqO₂/Kg), se menciona también que la utilización de únicamente el antioxidante Tocoferol (TOC) con 126 días de almacenamiento, así como con el antioxidante ER (extracto de romero) con 144 días de almacenamiento demuestran un valor de índice de peróxido alto con el valor de 15 (meqO₂/Kg).

4.3 Identificación y cuantificación de ácidos grasos del aceite de Chía

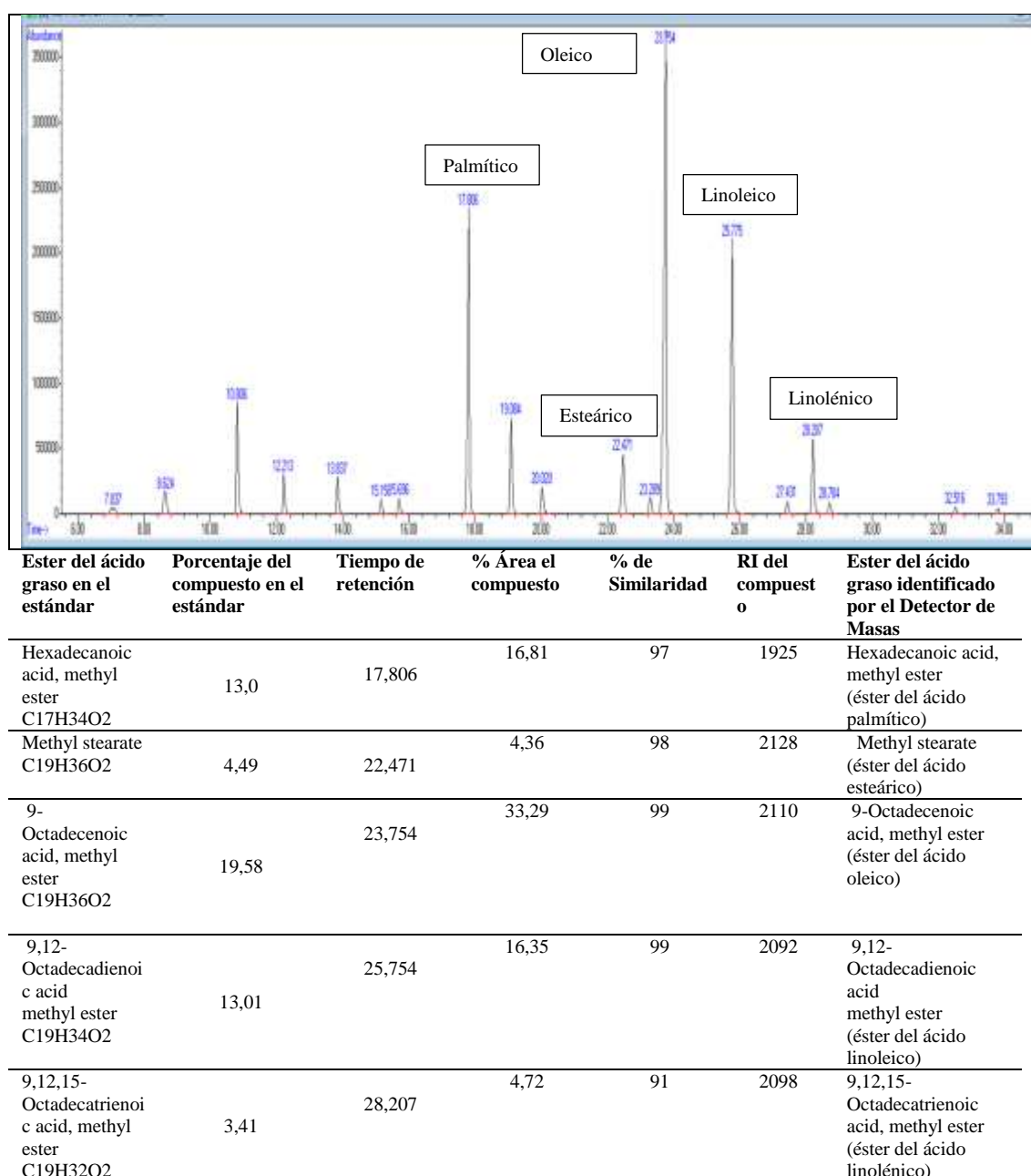
Las semillas de chía contienen entre el 25 – 40 % de aceite, el mismo que es rico en ácido alfa - linolénico (ALA) y ácido linoleico (LA) que son ácidos grasos esenciales (AGE) que constituyen más del 80 % de la composición de los ácidos grasos presentes, lo que convierte al aceite de chía en uno de los aceites más saludables. La importancia de su consumo radica en que reduce sustancialmente los triglicéridos (TG) y las lipoproteínas de baja densidad (LDL) en suero y aumenta las lipoproteínas de alta densidad (HDL) [47].

El aceite de chía es considerado la mayor fuente vegetal de ácidos grasos de la serie omega -3 conocida hasta el momento (más de un 60 % de α -Linolénico). Teniendo en cuenta que, el requerimiento diario de ácido α -Linolénico para individuos normales es un 0,5 % de las calorías totales (2000 Kcal), puede estimarse que el consumo de no más de 5 g de semillas de chía por día cumple con el requerimiento diario de este ácido graso esencial. El valor nutricional del aceite chía lo convierte en un ingrediente ideal para incorporar en diferentes productos alimenticios como en panificación, barras energéticas, suplementos dietarios, preparaciones culinarias; incluso la torta resultante de la extracción del aceite de chía se utiliza como complemento en la dieta de aves de corral y rumiantes con el fin de aumentar en sus productos (leche, carne y huevos) y el contenido de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) [52].

Los ácidos grasos de los aceites no son volátiles, para su identificación y cuantificación fue necesario primeramente transformarlo en compuestos volátiles por medio de la esterificación, empleando la técnica indicada en la metodología. La mezcla de esteres de ácidos grasos de cada muestra de aceite fue inyectado al cromatógrafo para su análisis.

Los resultados de los análisis se indica en la Tabla 10 Cromatograma del estándar FAME MIX C8-C22, Tabla 11 Cromatograma del aceite de chía y los ester de ácidos grasos identificados por el detector de masas aceite de chía, Tabla 12 Espectro de masas de los ester de ácidos grasos identificados, Tabla 13 Cromatograma del aceite de chía control (15 meses de almacenamiento) y ester de ácidos grasos identificados por el detector de masas y la Tabla 14 Cromatograma del aceite de chía con 0,05% de alfa tocoferol a los 15 meses de almacenamiento y metil éster de ácidos grasos identificados por el detector de masas.

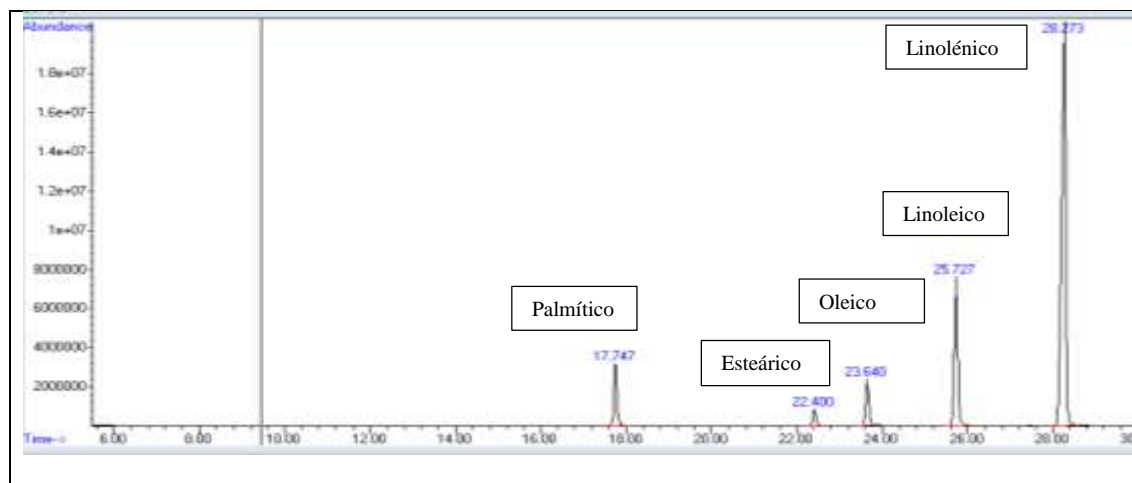
Tabla 10. Cromatograma del estándar FAME MIX C8-22 y los cinco ester de ácidos grasos identificados por el detector de masas presentes en el aceite de chía



En la Tabla 10 se presenta el cromatograma del estándar FAME MIX C8-22, en él se observa los 19 picos de los compuestos separados. A su vez en la elaboración de la tabla se presentan los cinco ésteres de los ácidos grasos identificados en los aceites de chía y el porcentaje del éster presente en el estándar.

El resultado del cromatógrafo brinda la información sobre el tiempo de retención del compuesto, el porcentaje de área del metil éster, el porcentaje de similaridad, el RI del compuesto y el metil éster del ácido graso identificado por el detector de masas. Para la identificación de los metil ésteres de ácidos grasos de las muestras de aceite, se empleó el tiempo de retención de los metil ésteres del estándar y se comparó con el tiempo de retención de los ésteres separados en las muestras de aceite. Adicionalmente, el detector de masas identificó a cinco ésteres de ácidos grasos en el estándar y en los aceites con vitamina E y sin vitamina E.

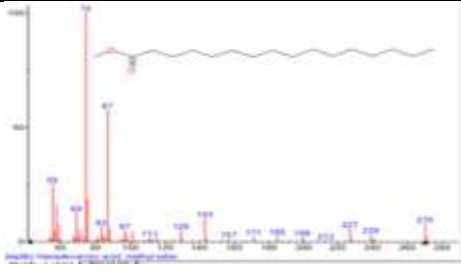
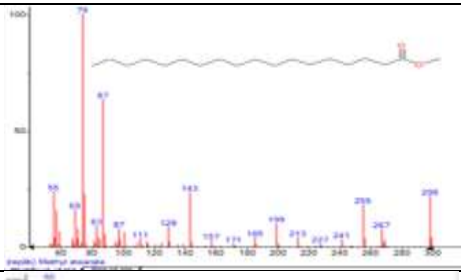
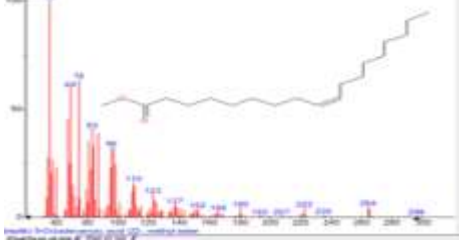
Tabla 11. Cromatograma del aceite de chía y los ésteres de ácidos grasos identificados por el detector de masas



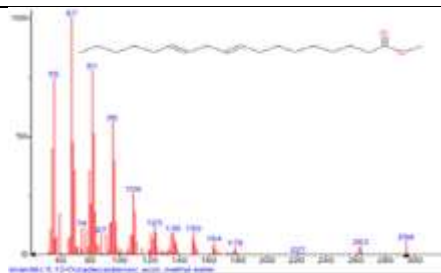
Pico	Tiempo de retención del aceite chía	Tiempo de retención del estándar	% Área del compuesto	% de Similaridad	Ester del ácido graso identificado por el Detector de Masas
1	17,747	17,806	7,35	99	Hexadecanoic acid, methyl ester (éster del ácido palmítico)
2	22,400	22,471	2,06	99	Methyl stearate (éster del ácido esteárico)
3	23,680	23,754	5,97	99	9-Octadecenoic acid, methyl ester (éster del ácido oleico)
4	25,715	25,754	19,12	99	9,12-Octadecadienoic acid methyl ester (éster del ácido linoleico)
5	28,186	28,207	66,07	99	9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester (éster del ácido linolénico)

En la Tabla 11 se observan los resultados señalados por el cromatógrafo de gases del análisis del aceite de chía, dentro del cual se obtuvo el tiempo de retención de cada pico del aceite de chía y se presenta el tiempo de retención del estándar obtenido de la Tabla 10. En base a la comparación de los tiempos de retención se puede determinar que éster está presente en la muestra de aceite de chía esterificado. Adicionalmente, se indica el porcentaje del área de cada éster, el porcentaje de similaridad y el nombre del éster reconocido por el detector de masas, que fueron los mismos identificados por los tiempos de retención del aceite y del estándar. En el cromatograma a lado de cada pico se colocaron los nombres comunes con los que se le conoce a cada ácido graso. Los resultados indican que el aceite de chía obtenido por prensado tiene los siguientes ácidos grasos: Palmítico, esteárico, oleico, linoleico y linolénico.

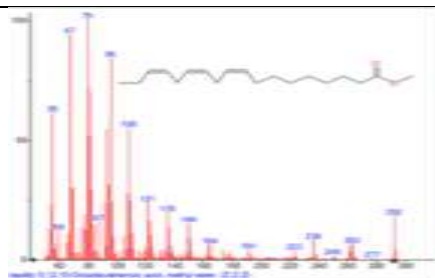
Tabla 12. Espectro de masas de los esteres de ácidos grasos identificados

Ester de ácido graso	Espectro de masas
Hexadecanoic acid, methyl ester	
Methyl stearate	
9-Octadecenoic acid, methyl ester	

9,12-Octadecadienoic acid methyl ester

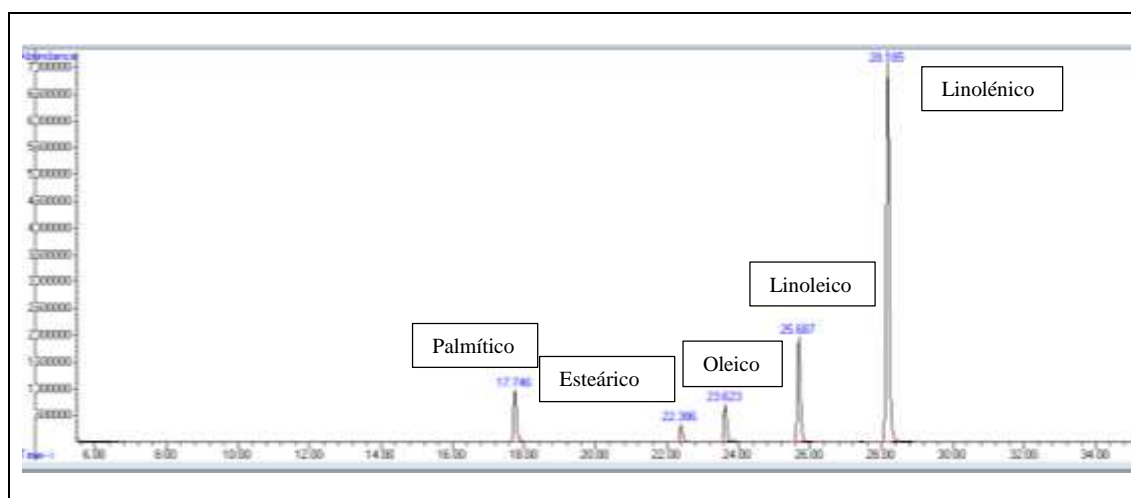


9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester



En la Tabla 12 se presenta los espectros de masas de cada éster de ácido graso identificado en el estándar y en las muestras de aceites.

Tabla 13. Cromatograma del aceite de chía control (15 meses de almacenamiento) y ésteres de ácidos grasos identificados por el detector de masas



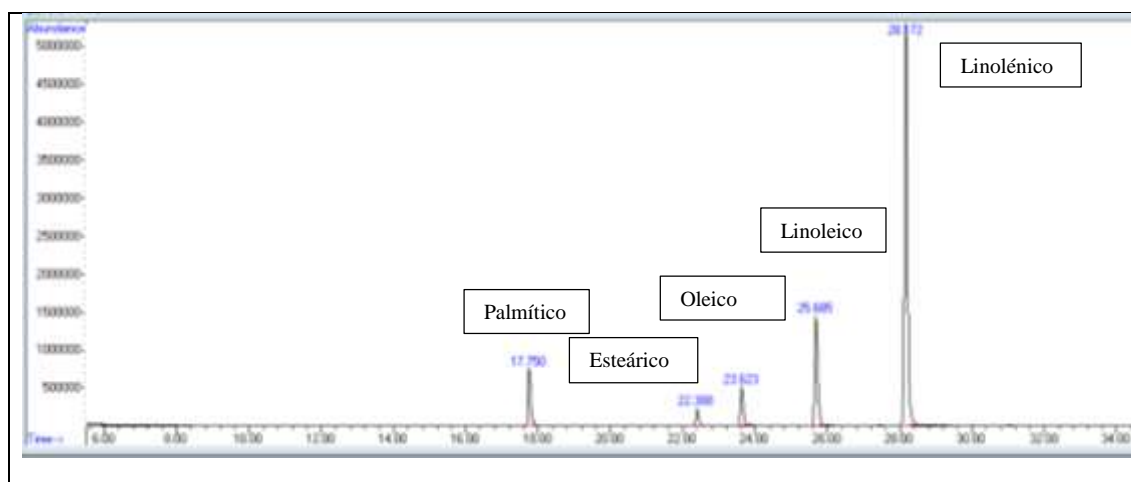
Pico	Tiempo de retención	Tiempo de retención del estándar	% Área del compuesto	% de Similaridad	Ester del ácido graso identificado por el Detector de Masas
1	17,746	17,806	8,33	99	Hexadecanoic acid, methyl ester (éster del ácido palmítico)
2	22,386	22,471	2,78	99	Methyl stearate (éster del ácido esteárico)
3	23,623	23,754	6,25	99	9-Octadecenoic acid, methyl ester (éster del ácido oleico)
4	25,687	25,754	17,88	99	9,12-Octadecadienoic acid methyl ester (éster del ácido linoleico)

5	28,185	28,207	64,57	99	9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester (éster del ácido linolénico)
---	--------	--------	-------	----	--

En la Tabla 13 se observa los resultados del análisis cromatográfico del aceite de chía que fue almacenado hasta los 15 meses, se identificaron los mismos cinco metil ésteres de ácidos grasos del aceite de chía sin almacenamiento, siendo sus tiempos de retención similares al tiempo de retención del estándar y que fueron identificados por el detector de masas. También, se presenta el porcentaje de área de cada compuesto y que resultaron diferentes a las áreas de los ésteres de ácidos grasos del aceite de chía sin almacenamiento, lo que significa que dichas concentraciones en los aceites van a ser diferentes.

En la Tabla 14 se observa los resultados del análisis cromatográfico del aceite de chía con 0,05% de α tocoferol o vitamina E que fue almacenado hasta los 15 meses, similar a las muestras de aceite anteriores se identificaron los mismos cinco metil ésteres de ácidos grasos del aceite de chía sin almacenamiento, tanto al comparar con los tiempos de retención del estándar, así como los que fueron identificados por el detector de masas. El porcentaje de área de cada compuesto fue diferente a las áreas de los metil ésteres de ácidos grasos del aceite de chía con y sin almacenamiento, presentados en las tablas anteriores.

Tabla 14. Cromatograma del aceite de chía con 0,05% de alfa tocoferol a los 15 meses de almacenamiento y metil ésteres de ácidos grasos identificados por el detector de masas



Pico	Tiempo de retención	Tiempo de retención del estándar	% Área del compuesto	% de Similaridad	Ester del ácido graso identificado por el Detector de Masas
1	17,750	17,806	8,60	99	Hexadecanoic acid, methyl ester (éster del ácido palmítico)

2	22,388	22,471	2,58	99	Methyl stearate (éster del ácido esteárico)
3	23,623	23,754	6,08	99	9-Octadecenoic acid, methyl ester (éster del ácido oleico)
4	25,685	25,754	17,70	99	9,12-Octadecadienoic acid methyl ester (éster del ácido linoleico)
5	28,172	28,207	65,10	99	9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester (éster del ácido linolénico)

Una vez determinados los ácidos grasos de los aceites de chía, se procedió a su cuantificación, para lo cual se determinó primeramente el factor de corrección empleando la ecuación 4, indicada en la metodología. Los datos que se utilizaron fueron los porcentajes de los ésteres de ácidos grasos presentes en el estándar y los porcentajes de las áreas de cada éster dada por el cromatógrafo (Tabla 10).

Tabla 15. Datos obtenidos de los diferentes ácidos grasos de los aceites de chía con y sin almacenamiento

Letras diferentes en las filas indica diferencia significativa ($p < 0,05$)

Número del compuesto	Nombre común	Abreviatura	Aceite de chía Tiempo de almacenamiento: 0 meses	Aceite de chía 0,05% vitamina E Tiempo almacenamiento: 15 meses	Aceite de chía (sin vitamina E) Tiempo de almacenamiento: 15 meses
1	Ácido palmítico	C16:0	7,23±0,14 a	8,60±0,10 b	8,34±0,03 b
2	Ácido esteárico	C18:0	2,22±0,16 a	2,56±0,06 b	2,80±0,02 b
3	Ácido oleico	C18:1n9c	5,61±0,25 b	6,10±0,01 a	6,26±0,03 a
4	Ácido linoleico	C18:2n6c	19,39±0,17 a	17,71±0,07 b	17,88±0,06 b
5	Ácido linolénico	C18:3n3	65,55±0,09 a	65,03±0,19 b	64,72±0,07 c
Ácidos grasos saturados			9,45±0,30 a	11,16±0,12 b	11,14±0,05 b
Ácidos grasos monoinsaturados			5,61±0,25 b	6,10±0,01 a	6,26±0,03 a
Ácidos grasos poliinsaturados			84,95±0,08 a	82,74±0,12 b	82,60±0,05 b
Relación: ácidos grasos saturados/ácidos grasos insaturados			0,10±0,00 a	0,13±0,00 b	0,13±0,00 b

Luego de determinar los factores de corrección se procedió con el porcentaje de éster metílico de cada ácido graso presente en las muestras de aceite, empleando la ecuación 5. Estos porcentajes de éster metílico de los ácidos grasos fueron necesarios para determinar el porcentaje de ácidos grasos en el aceite, por lo que se empleó la ecuación 6 así como también los valores de los pesos moleculares de los ésteres de ácidos grasos y los pesos moleculares de los respectivos ácidos grasos indicados en la Tabla 4. Los resultados de cada muestra y sus réplicas se indican en la Tabla 17 del Anexo 1 y su resumen en la Tabla 15.

De igual manera en la tabla 15, se indican los datos obtenidos de los ácidos grasos presentes en el aceite de chía sin y con vitamina E. Se identificaron, gracias a los tiempos de retención y a los cromatogramas del equipo espectrómetro acoplado al detector de masas, 5 ácidos grasos: ácido palmítico, ácido esteárico, ácido oleico, ácido linoleico y ácido linolénico, en el que sobresale en mayor proporción el ácido linolénico, por lo que el aceite de chía es rico en ácidos grasos omega 3.

Al comparar entre los ácidos grasos del aceite de chía recién extraído, los aceites de chía con una concentración de 0,05 % de vitamina E (concentración que fue determinada mediante el equipo Oxitest Velp Scientific conforme a lo indicado en el objetivo 3 de la presente investigación que busca determinar la estabilidad oxidativa del aceite a diferentes concentraciones de α tocoferol o vitamina E, el detalle de esta determinación se indica más adelante); y el aceite de chía sin vitamina E después de haber sido almacenados, se determinó que existen cambios en la composición de los ácidos grasos entre los aceites almacenados y el aceite sin almacenar.

Ahora si se compara el aceite de chía añadido un 0,05% de alfa tocoferol y el aceite de chía sin alfa tocoferol ambos almacenados, en la mayor parte del contenido de ácidos grasos no se presentaron diferencias significativas a un 95 % de confianza, con excepción en el ácido oleico que fue menor su contenido en el aceite de chía sin vitamina E. Con respecto al ácido linolénico que es el ácido graso más importante del aceite de chía, el valor más alto lo tiene el aceite de chía recién extraído con un valor de 65,55 % de ácido linolénico, seguido por 65,03 % de ácido linolénico en el aceite con alfa tocoferol y almacenado durante 15 meses y por último el aceite de chía sin alfa tocoferol y almacenado por 15 meses con un valor de 64,72 % de linolénico.

El aceite de chía recién extraído sin ser sometido a almacenamiento tiene de ácidos grasos saturados (ácido palmítico y ácido esteárico) en un $9,45\% \pm 0,30$; ácidos grasos monoinsaturados (ácido oleico) un $5,61\% \pm 0,25$ y de ácidos grasos poliinsaturados (ácido linoleico y ácido linolénico) un $84,95\% \pm 0,08$.

Con relación de los ácidos grasos saturados/ácidos grasos insaturados, se tiene valores que va desde 0,10 en el aceite de chía recién extraído a valores de 0,13 tanto en el aceite de chía con y sin vitamina E que fueron almacenados.

De acuerdo con los autores de una investigación en el año 2018 acerca de las semillas de chía en Ecuador estas poseen valores aproximados de $(8,545 \pm 0,212)$ %, para ácido palmítico, ácido esteárico $(3,375 \pm 0,0071)$ %, ácido oleico $(10,240 \pm 0,014)$ %, ácido linoleico (omega 6) con $(18,69 \pm 0,0283)$ % y ácido linolénico (omega 3) con $(54,08 \pm 0,0141)$ % del contenido total de ácidos grasos del aceite de chía [26]. Frente a lo expuesto, los datos obtenidos en la presente investigación son similares a los reportados en diversas investigaciones que han sido mencionadas bibliográficamente. Es así que en la presente investigación se obtuvo el $(7,23 \pm 0,14)$ % de ácido palmítico, $(2,22 \pm 0,16)$ % de ácido esteárico, $(5,61 \pm 0,25)$ % de ácido oleico, $(19,39 \pm 0,17)$ % de ácido linoleico y $(65,55 \pm 0,09)$ % de ácido linolénico.

En otra investigación sobre el aceite de chía y la optimización de la concentración de omega 3, los autores señalan que la presencia de ácido linoleico (omega 6) al tener un valor de 19,708 % y ácido linolénico (omega 3) 62,760 %, demuestran un total de ácidos grasos poliinsaturados de 82,46 % (ácido linolénico y ácido linoleico) [10], mientras que la presencia de ácidos grasos saturados, ácido palmítico 7,226 % y 2,911 % de ácido esteárico, presentan un promedio del 10,137 % y por otra parte presentan un 7,395% de ácido oleico que es un ácido graso monoinsaturado.

Por lo tanto, los datos obtenidos en la parte experimental se encuentran dentro del rango establecido por ambos autores.

En otra investigación realizada en el año 2017 acerca de la composición de ácidos grasos en el aceite de chía, demuestran que el ácido linolénico (61,8 %) es el de mayor porcentaje seguido del linoleico (20,1 %), palmítico (7,46 %) y oleico (7,18 %), los autores [37]. señalan que sus valores que están dentro de los establecidos por el CAA; la variación de ácidos grasos luego de 165 días de almacenamiento registró un valor de linolénico (66,39

%,), ácido linoleico (19,14%), del palmítico (6,54 %) y del ácido oleico (6,54 %), el tiempo de conservación fue a temperatura ambiente (15 °C) y expuesto a la luz en frascos de color ámbar [37].

Acorde a una investigación en el año 2019 sobre la optimización nutricional de un producto al cual se le añadió aceite de chía extraído, en dicho estudio se puede observar altas concentraciones de ácidos grasos insaturados (>80%) en el aceite de chía; siendo el ácido graso de mayor abundancia, el linolénico-omega 3 ($73,93 \pm 0,028$) %, mientras que el ácido oleico tiene 3,66 % y ácido linoleico (omega 6) con 15,86 % [53]. De ello los autores señalan que en particular la concentración de ácidos grasos insaturados es alta en el aceite de chía con un porcentaje del 89 %; con respecto a los ácidos grasos saturados con un total de 6,53 % presentes en el aceite de chía.

Con base a lo señalado por la investigación acerca de la influencia de los antioxidantes en la estabilidad oxidativa del aceite de chía realizada en el año 2017, la composición en ácidos grasos del aceite de chía está constituida principalmente de 7,1 % de ácidos grasos monoinsaturados (ácido oleico) y un 82 % por ácidos grasos poliinsaturados, 18,74 % (ácido linoleico) y 63,23 % (ácido linolénico) [36]. Además, según los autores en su investigación del año 2020, encontraron un 10,9 % de ácidos grasos saturados entre ácido graso palmítico (7,33 %) y ácido esteárico (3,57 %) y señalaron que la diferencia en los valores de los ácidos grasos podría estar relacionada al tipo de cultivo de las semillas o al método de extracción.

De forma que para unos autores [54] el perfil de ácidos grasos de la chía corresponde a la presencia del ácido alfa linolénico (ALA) con 56,98 % es el más abundante, seguido del ácido linoleico (LA) 21,51 %, el ácido oleico 9,17 % y el ácido esteárico 4,33 %, mientras tanto la cantidad de ácidos grasos insaturados es de 78,49 %, casi ocho veces superior a la de los ácidos grasos saturados con 11,28 % y la relación entre los ácidos grasos omega 3 y omega 6 es de 2,65.

De lo antes mencionado los autores [55] corroboran que las semillas de chía al presentar un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, (PUFA) su concentración podría llegar a ser del ($54,08 \pm 0,014$) % contenido total de ácidos grasos, ya que esta semilla representa una fuente vegetal válida de ácidos grasos omega-3 y omega-6, que junto con

otras semillas oleaginosas pueden ser una fuente alternativa de ácidos grasos esenciales para las personas que no comen pescado.

Es así que los lípidos son alimentos esenciales en una dieta saludable, al desempeñar numerosas funciones biológicas, por lo tanto, una dieta pobre en grasas podría provocar un mal funcionamiento del organismo, en este caso los aceites vegetales ricos en ácidos grasos poliinsaturados son fuente de vitaminas, antioxidantes naturales y ácidos grasos esenciales sin los cuales el organismo estaría predispuesto a sufrir enfermedades autoinmunes, inflamatorias, cardiovasculares, depresión y trastornos neurológicos [56].

Los ácidos grasos linoleico (omega 6) y linolénico (omega 3) desempeñan papeles clave en el proceso del metabolismo humano; la deficiencia de omega 6 puede dificultar el crecimiento de los niños y provocar la acumulación de grasa en el hígado, una dieta pobre en omega 3 puede comprometer el desarrollo del cerebro y la retina, además que puede causar arritmias cardíacas en pacientes con cardiopatías isquémicas, varios estudios sugieren que el consumo de estos dos ácidos grasos debería tener una proporción de ácido linolénico a linoleico de 5:1 [57].

Los contenidos de ALA y LA en los aceites de semilla de chía producidos en Estados Unidos, Argentina, Chile, México e Italia varían del 63 % al 69,0 % y del 15,3 % al 46,3 % respectivamente. Además, la composición del contenido de ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) como el ácido oleico (OA) y los ácidos grasos saturados (SFA) como el ácido palmítico (PA) y el ácido esteárico (SA) varían entre los rangos de 2,9 % -16,2 %, 6,5 %-7,5 % y 0,3 – 3,0 % respectivamente. Las diferencias observadas en la composición de los ácidos grasos sugieren una fuerte influencia de la ubicación geográfica, las condiciones climáticas, las prácticas de cultivo y la variedad de la planta en el perfil de los ácidos grasos del aceite de chía [47].

4.3 Estabilidad oxidativa del aceite de chía y determinación del mejor tratamiento

Para determinar la vida útil del aceite de chía, se realizó la extrapolación matemática del período de inducción IP Tabla 17, obtenido del equipo Oxitest, Con estos datos se determinó la vida útil del aceite de chía control y con alfa tocoferol al 0,05 % (T2), a 15 °C, que es la temperatura ambiente promedio de la ciudad de Ambato.

Tabla 16. Período de Inducción (IP) del mejor tratamiento (T2) a diferentes temperaturas

Tratamiento 2 (T2)	Temperatura	IP (h:m)	IP(h)	Ln(IP)
Aceite de chía	80	9:51	9,850	2,286
con 0,05% de	90	4:10	4,017	1,390
alfa tocoferol	100	1:22	1,367	0,312

IP: Período de inducción.

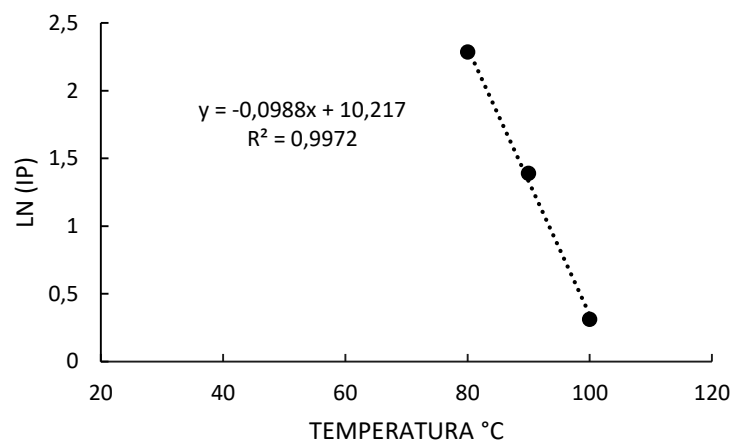


Figura 10. Evaluación de la conservación del aceite de chía con 0,05% de vitamina E.

Ecuación:

$$y = mx + c \quad (\text{Ecuación 11})$$

Dónde:

$y = \text{Ln IP (h:m:s)}$

$m =$ pendiente de la recta.

$x = T \text{ } ^\circ\text{C}$ (15)

$c =$ es la ordenada en el origen.

Aceite de chía control sin alfa – tocoferol

$$Y = -0,0968x + 9,9744$$

$$x = (-0,0968 * 15) + 9,9744637$$

$$x = 8,5224$$

EXP. 8,5224 = 5026,101938 horas = 209,4209141 días = 6,980697137 meses

Aceite de chía con 0,05% de alfa tocoferol

$$y = -0,0975x + 10,218$$

$$x = (-0,0975 * 15) + 10,218$$

$$x = 8,7555$$

EXP. 8,7555 = 6345,492517 horas = 264,3955215 días = 8,8138405 meses

En la Tabla 17 del Anexo 1 se reportan los resultados del tiempo de conservación de los cinco tratamientos, los mismos que presentan diferencias estadísticamente significativas. La extrapolación matemática de los resultados del período de inducción (IP) proporcionado por el equipo Oxitest, permitieron hallar la estabilidad oxidativa del aceite de chía a 15 °C de almacenamiento; el tiempo de conservación del aceite control sin alfa - tocoferol es menor, mientras que con la presencia de alfa - tocoferol en el aceite de chía aumenta su tiempo de conservación que es de 264,39 días que corresponde a 8,813 meses de vida útil.

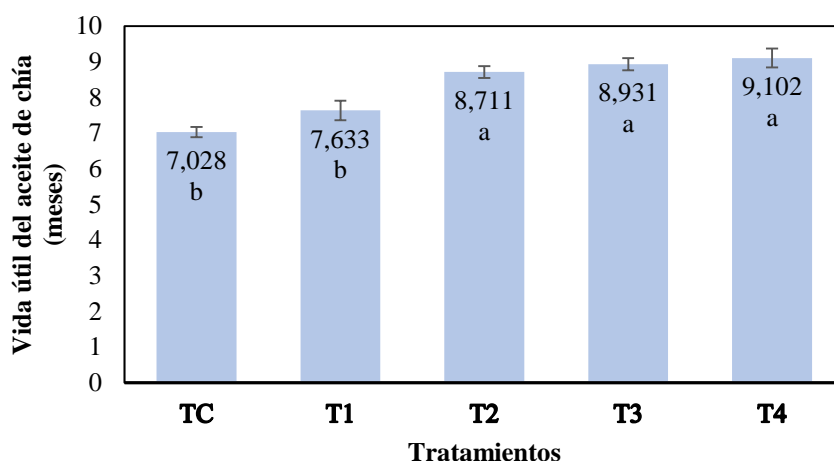


Figura 11. Vida útil del aceite de chía con diferentes concentraciones de alfa tocoferol o vitamina E

Nota: Letras diferentes en cada tratamiento representa diferencia significativa ($p < 0,05$).

En la Figura 11 se presenta la vida útil del aceite de chía en los diferentes tratamientos y su análisis estadísticos se presenta en el Anexo 1 y 2, se establece que en el análisis de varianza existe diferencia altamente significativa ($p < 0,01$) en los tratamientos. Por otro lado, en el análisis de Tukey presenta dos grupos homogéneos, siendo el mejor grupo los tratamientos T2, T3 y T4, seguido por el grupo 2, formado por los Tratamientos TC

(Tratamiento control) y T1 (Tratamiento con 0,025% de alfa – tocoferol). En el primer grupo los tratamientos no tienen diferencias significativas con un 95 % de confianza, por lo que se puede escoger dentro de ellos la cantidad de vitamina E que se puede emplear para aumentar la vida útil del aceite. El contenido de alfa-tocoferol para cada uno de los tratamientos se indica en la Tabla 7.

La estabilidad oxidativa es uno de los principales parámetros de calidad de las grasas y aceites comestibles. Se ha informado que las grasas y aceites contienen una cantidad sustancial de ácidos grasos insaturados, y es que son muy propensos al deterioro oxidativo. Por lo tanto, la medición de la estabilidad oxidativa del aceite de chía es esencial para idear formas de protegerlos de la oxidación [46].

La estabilidad oxidativa de un aceite o grasa depende de varios factores entre ellos; el grado de insaturación de los ácidos grasos, la cantidad y tipo de antioxidantes, la presencia de trazas metálicas y de luz, la disponibilidad de oxígeno y la exposición a temperaturas elevadas [37]. El aceite de chía constituye un alimento altamente susceptible a reacciones oxidativas que deterioran su calidad química y organoléptica. Este hecho hace necesario que para su conservación deba ser protegido mediante el empleo de sustancias y condiciones de almacenamiento que puedan inhibir o retardar los procesos de oxidación.

La baja estabilidad oxidativa del aceite de chía se debe a su alta concentración de ácidos grasos insaturados (80 %), se demostró que el índice de estabilidad oxidativa es de 2,4 horas; valor inferior comparado con otros aceites de origen vegetal señalados en otras investigaciones [47]. Por esta razón, hay que tener el máximo cuidado para evitar la oxidación durante el procesamiento, transporte y almacenamiento. El aceite de semilla de chía es un alimento funcional con auge en la actualidad; el consumo de este aceite es relativamente nuevo en el mercado, debido a su alto contenido de LNA entre 64,8 y 56,9 % y su buena relación omega 6 / omega 3, le hace ser un aceite bueno para la salud y rico en omega 3; sin embargo, esta relación de omega 6 y omega 3, hace que el aceite sea muy susceptible a la degradación oxidativa con la pérdida de propiedades nutricionales y formación de compuestos tóxicos, lo que lo convierte en un alimento inadecuado para el consumo humano. La estabilidad oxidativa es un importante indicador de la calidad de aceites vegetales comestibles, ya que permite estimar la vida útil y la resistencia a los cambios estructurales causados por factores intrínsecos y extrínsecos [16].

En otra investigación que se plantea la evaluación de agentes antioxidantes a través del método Rancimat, aplicando TBHQ (ter-butil-hidroquinona) en proporción de 200 mg/Kg de aceite, señalan que es un excelente aditivo antioxidante con excelente protección para el aceite de chía. Además, consideran que, en relación a las mezclas binarias con el extracto de romero, un antioxidante natural, dicho trabajo indicó que sólo con TBHQ se tiene una ligera mejora en la estabilidad oxidativa del aceite [16].

En cambio en otra investigación recalcan que los antioxidantes de fuentes naturales, como por ejemplo el extracto de romero con 4,8 % y el extracto de ajo 5,2 %, podrían ser sustituidos con éxito en lugar de los antioxidantes comúnmente utilizados, como el BHT, para proteger los aceites contra la oxidación de los lípidos, pues en su investigación determinaron que la composición de los ácidos grasos no varió significativamente durante 14 días de almacenamiento en condiciones aceleradas a 65 °C [16].

Ahora con respecto al aceite de chía, una investigación que realizó la aplicación de antioxidantes naturales y artificiales durante 165 días de almacenamiento, con una cámara de iluminación permanente (luz fluorescente, intensidad 800 Lux) y a temperatura controlada de 25 °C, reportaron que dicha combinación proporciona una mejor estabilidad al aceite de chía. La combinación que se realizó fue de PA (palmitato de ascorbilo) y TOC (tocoferol) el cual demostró una efectividad antioxidante con un factor de protección de 9,49 en una proporción de 500 ppm (250 ppm de cada uno); mientras que con TBHQ (2,5-diterbutil hidroquinona) presentó la máxima capacidad protectora cercana a 7 y a una concentración de 200 ppm [37].

De acuerdo con una investigación sobre el aceite de chía, el aceite extraído no puede ser utilizado para cocinar y freír, porque a altas temperaturas se produce una degradación grave de los grupos insaturados y la pérdida de las propiedades nutricionales del aceite [57]. Sin embargo, dentro de estos estudios señalan que la evaluación del aceite calentado a temperatura de fritura mostró que es inestable a 180 °C y por ende su consumo en estas condiciones. En vista a estos resultados es que hoy en día se ve como indispensable la evaluación de aceites vegetales con la adición de agentes antioxidantes como lo es el aceite de chía con alfa tocoferol o vitamina E, por lo que a futuro se puede extender el estudio de esta combinación con fines de uso de este aceite que posee grandes beneficios para la salud.

4.4 Verificación de la hipótesis

Una vez realizado el análisis estadístico se obtuvo como resultado la aceptación de la hipótesis alternativa, estimando así que la utilización de la concentración del antioxidante alfa-tocoferol (vitamina E) con una concentración del 0,05 % afecta significativamente en la estabilidad oxidativa del aceite de chía (*Salvia hispanica* L.) extraído por el método de prensado en frío. Por otro lado, cabe mencionar que, para observar la variabilidad de concentración de los ácidos grasos presentes en el aceite de chía, se realizó la prueba de Tukey a un nivel de confianza del 95 %. Existiendo diferencias entre las concentraciones de ácidos grasos del aceite de chía control y los ácidos grasos de los aceites almacenados por 15 meses, tanto con el aceite de chía sin alfa - tocoferol, como el que contenía el antioxidante.

La presente investigación contribuyó en la evaluación positiva y demostrativa de que es posible emplear un compuesto natural como es la vitamina E (alfa tocoferol) como antioxidante para aumentar la vida útil del aceite de chía, en lugar de antioxidantes químicos muy cuestionados por ser considerados cancerígenos, como son los que se emplean normalmente la industria de los aceites, siendo los más empleados: El hidroxianisol butilado (BHA) y el hidroxitolueno butilado (BHT).

No se tiene información sobre investigaciones de la vitamina E como antioxidante para aceite de chía, por el alto costo del alfa tocoferol o vitamina E para la industria del aceite, que normalmente utilizan compuestos químicos de precios económicos como antioxidante, los mismos que fueron mencionados en el párrafo anterior. Se considera que la vitamina E puede ser empleada en el aceite de chía y sacar a la venta a un muy buen precio como un aceite natural rico en omega 3, sin conservantes artificiales y con vitamina E. Al consumir la vitamina E esta actúa como antioxidante, ayudando a proteger las células contra los daños causados por los radicales libres que se producen en el cuerpo humano.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se evaluó la estabilidad oxidativa del aceite de chía (*Salvia hispanica* L.) extraído por el método de prensado en frío a diferentes concentraciones del antioxidante α -tocoferol (Vitamina E), para ello se emplearon cinco muestras con diferente concentración de antioxidante y sin antioxidante, encontrándose que de estos tratamientos el mejor fue el de concentración de 0,05% para un estimado de 264,395 días de conservación a condiciones de temperatura de 15°C, la misma que coincide con la media encontrada en la ciudad de Ambato, sitio focalizado donde se realizaron los ensayos y pruebas fisicoquímicas del aceite extraído.
- Se extrajo el aceite de chía utilizando el método de prensado en frío mediante una prensa extractora Expeller marca FLORAPOWER, obteniendo un rendimiento de $24,42 \pm 2,18$ %, por lo que por cada 100 g de semilla de chía se obtuvieron 24,42 g de aceite. La selección del método de extracción se realizó considerando que el prensado es considerado como una opción ecológica y accesible, al realizar la compresión de las semillas en frío brindando buena conservación de los agentes antioxidantes del aceite. Sin embargo, su rendimiento está condicionado a posibilidad de presentar bajos valores debido a que depende de factores como la humedad, el proceso de cocción y composición química del producto primario o semilla.
- Se realizaron las exámenes del aceite extraído por prensado, entre ellos los análisis fisicoquímicos reportan valores de 0,308 de índice acidez (% ácido oleico) y 3,46 de índice de peróxido (meq O₂/Kg aceite), al no disponer de una normativa para aceite de chía se realizó la comparación con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 29:2012 del aceite de oliva por su semejanza con el aceite de chía con relación a su alto contenido de ácidos grasos insaturados con grandes beneficios para la salud; tomando en consideración de que el aceite de oliva tiene el mayor número de investigaciones a nivel mundial con respecto a extracción por prensado, al preferir generalmente no emplear químicos, se convierte en un

referente adecuado como modelo de aceite vegetal saludable que tiene entre sus tipos los aceites virgen o extra virgen. Dicha normativa establece como valores máximos 0,5 % de acidez y 10 meq O₂/Kg de índice de peróxido, lo que indica que el aceite de chía extraído es de buena calidad tanto en acidez como en sus niveles de índice de peróxido.

- Se determinó la estabilidad oxidativa del aceite de chía a diferentes concentraciones de α -tocoferol (Vitamina E) utilizando el equipo Oxitest Velp Scientific, dentro de los cuales el valor de concentración más adecuado para la respuesta antioxidante fue de 0,05% de alfa tocoferol, además esto se corroboró con los análisis fisicoquímicos luego de 15 meses de almacenamiento en el caso del aceite de chía sin alfa tocoferol, el cual sobrepasó los valores señalados por la Norma Ecuatoriana NTE INEN 29:2012 con respecto a índice de acidez e índice de peróxidos, mientras que en el caso donde sí se adicionó 0,05% de alfa tocoferol se mantuvo el aceite dentro de los lineamientos de la misma Norma. Por lo tanto, el antioxidante alfa - tocoferol resulta adecuado para la conservación del aceite de chía dentro de las condiciones en que se dio la valoración.
- Se estudiaron los posibles cambios que ocurren con respecto al contenido de ácidos grasos del aceite de chía al adicionar la mejor concentración del antioxidante (alfa tocoferol) y los cambios del aceite que por el contrario no se le adicionó el antioxidante, ambos en condición de almacenamiento, siendo así que después de haber comparado ambos tratamientos se determinó que existen cambios en la composición de los ácidos grasos entre los aceites almacenados y el aceite sin almacenar, dado que el ácido oleico presentó menor concentración en el aceite de chía sin antioxidante a un 95 % de confianza; mientras que, con respecto al ácido linolénico, el ácido graso más importante del aceite de chía, este disminuyó su concentración en un 0,83 %, ya que su concentración en el aceite recién extraído fue de 65,55% y en el aceite sin antioxidante almacenado por 15 meses fue de 64,72%.

5.2. Recomendaciones

- Realizar más investigaciones relacionadas a la estabilidad oxidativa y determinación de la vida útil del aceite de chía considerando otros antioxidantes, y factores como diversas semillas focalizando otras provincias que producen la semilla de chía, diferentes grados de temperatura y tiempos de almacenamiento.
- Difundir esta información para que la población conozca este beneficio y se incentive la investigación y evaluación de esta semilla como fuente de un aceite vegetal rico en omega 3 y sus beneficios para la salud, de manera que el presente estudio sea un aporte relevante para prevenir las enfermedades cardiovasculares, el cáncer y la diabetes.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. M. Alcántara, "Alimentación Factor clave de salud y sostenibilidad," *Cariotipo Lobby Comun*, pp. 7-25, 2020.
- [2] U. e. a. R., "Effect of microcapsules of chia oil on ω -3 fatty acids, antioxidant characteristics and oxidative stability of butter," *Lipids Health Dis*, vol. 19, n° 1, 2020.
- [3] Heck R. T. et al., "Oxidative stability of burgers containing chia oil microparticles enriched with rosemary by green-extraction techniques," *Meat Sci*, vol. 146, pp. 147-153, 2018.
- [4] A. Xingú López, A. González Huerta, E. De La Cruz Torrez, D. M. Sangerman Jarquín, G. Orozco De Rosas y M. R. Arriaga, "Chía (*Salvia hispanica* L.) situación actual y tendencias futuras," *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 8, pp. 1619-1631, 2017.
- [5] F. Manzaneda, "Evaluación de la producción de dos variedades de Chia (*Salvia hispanica* L.), en dos densidades de siembra," *Apthapi*, vol. 1, n° 1, pp. 13-18, 2015.
- [6] V. Zettel y B. Hitzmann, "Applications of chía (*Salvia hispanica* L.) in food products," *Trends Food Sci. Technol*, vol. 80, pp. 43-50, 2018.
- [7] C. Ferreira, "Consumo de aceites vegetales y el comportamiento del nivel plasmático de vitamina E en población adulta: Revisión de Literatura," Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana , 2020.
- [8] R. Ayerza, "Variaciones en el contenido de proteína , lípidos y ácidos grasos de la semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) producida comercialmente en Ecuador Resumen Introducción," vol. 22, pp. 11-22, 2019.
- [9] R. e. a. Ullah, "Nutritional and therapeutic perspectives of Chia (*Salvia hispanica* L.): a review," *J. Food Sci. Technol*, vol. 53, n° 4, pp. 1750-1758, 2016.
- [10] M. Sosa, L. Magallanes, N. Grosso, M. Pramparo y M. Gayol, "Optimisation of omega-3 concentration and sensory analysis of chia oil," *Ind. Crops Prod*, vol. 154, 2020.
- [11] K. Cefla, "Diseño de una planta para la extracción de aceite vegetal comestible de las semillas de chía (*Salvia Hispanical*) mediante prensado", Tesis de Ingeniería Escuela Politécnica Nacional, 2015.
- [12] B. A. Kulczynski, J. Kobus-Cisowska, M. Taczanowski, D. Kmiecik y Gramza-Michałowska, "The chemical composition and nutritional value of chia seeds – current state of knowledge," *Dtsch. Leb*, vol. 115, n° 9, pp. 1-16, 2019.

- [13] S. A. e. al, "La Chía Mexicana (*Salvia hispanica* L.): Su Historia e Importancia Como Cultivo en el Mundo," *Nutrilite-Amway*, 2016.
- [14] C. S. Carrillo, M. Gutiérrez, M. Muro, R. Martínez y O. Torres, "La chía como súper alimento y sus beneficios en la salud de la piel," *El Resid*, vol. 12, n° 1, pp. 18-24, 2017.
- [15] A. O. Akinfenwa, A. Cheikhoussef, N. Cheikhoussef y A. A. Hussein, "Cold pressed chia (*Salvia hispanica* L.) seed oil.," *Elsevier Inc*, 2020.
- [16] H. Jung, I. Kim, S. Jung y J. Lee, "Oxidative stability of chia seed oil and flax seed oil and impact of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) and garlic (*Allium cepa* L.) extracts on the prevention of lipid oxidation," *Appl. Biol. Chem*, vol. 64, n° 1, p. 6, 2021.
- [17] K. Z. Marcinek K, "Chia seeds (*Salvia hispánica*): Health promoting properties and therapeutic applications – a review," 2017.
- [18] J. R. Rendón-Villalobos, A. Ortiz-Sánchez y E. Flores-Huicochea, "Nutritionally Enhanced Foods Incorporating Chía Seed, in Therapeutic Foods," *Elsevier Inc*, pp. 257-281, 2018.
- [19] K. Marcinek y Z. Krejpcio, "CHIA SEEDS (*SALVIA HISPANICA*): HEALTH PROMOTING PROPERTIES AND THERAPEUTIC APPLICATIONS-A REVIEW," *Rocz Panstw Zakl Hig*, vol. 68, n° 2, pp. 123-129, 2017.
- [20] M. e. a. Sharifi-Rad, "Salvia spp. plants-from farm to food applications and phytopharmacotherapy," *Trends in Food Science and Technology*, vol. 80, pp. 242-263, 2018.
- [21] B. de Falco, M. Amato y V. Lanzotti, "Chia seeds products: an overview," *Phytochem. Rev*, vol. 16, n° 4, pp. 745-760, 2017.
- [22] M. Knez Hrnčič, D. Cör y Ž. Knez, "Subcritical extraction of oil from black and white chia seeds with n-propane and comparison with conventional techniques," *J. Supercrit. Fluids*, vol. 140, pp. 182-187, 2018.
- [23] D. Orona-Tamayo, M. E. Valverde y O. Paredes-López, "Chia The New Golden Seed for the 21st Century," *Sustainable Protein Sources, Elsevier*, pp. 265-281, 2017.
- [24] K. E. Muller, "CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y CONTENIDO DE FLAVONOIDES ENTRE LAS SEMILLAS DE CHIA NEGRA (*salvia nativa*) Y CHIA BLANCA (*salvia hispánica* L.)" Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú.
- [25] D. Melo, T. B. MacHado y M. B. P. P. Oliveira, "Chia seeds: An ancient grain trending in modern human diets," *Food Funct*, vol. 10, n° 6, pp. 3068-3089, 2019.

- [26] M. Cardenas, C. Carpio, D. Morales, M. Álvarez, M. Silva y W. Carrillo, "Content of nutrients component and fatty acids in chia seeds (*Salvia hispanica* L.) cultivated in Ecuador," *Asian J. Pharm. Clin. Res.*, vol. 11, n° 2, pp. 387-390, 2018.
- [27] M. Á. Valdivia-López y A. Tecante, "Chia (*Salvia hispanica*): A Review of Native Mexican Seed and its Nutritional and Functional Properties," *Advances in Food and Nutrition Research*, vol. 75, pp. 53-75, 2015.
- [28] D. Turck y e. al, "Safety of chia seeds (*Salvia hispanica* L.) as a novel food for extended uses pursuant to Regulation (EU) 2015/2283," *EFSA J*, vol. 17, n° 4, 2019.
- [29] M. G. Bordón, S. P. Meriles, P. D. Ribotta y M. L. Martínez, "Enhancement of Composition and Oxidative Stability of Chia (*Salvia hispanica* L.) Seed Oil by Blending with Specialty Oils," *J. Food Sci*, vol. 84, n° 5, pp. 1035-1044, 2019.
- [30] K. Ghafoor, I. A. M. Ahmed, M. M. Özcan, F. Y. Al-Juhaimi, E. E. Babiker y I. U. Azmi, "An evaluation of bioactive compounds, fatty acid composition and oil quality of chia (*Salvia hispanica* L.) seed roasted at different temperatures," *Food Chem*, vol. 333, 2020. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127531.
- [31] S. d. A. Argentina, "Semillas: Pequeños alimentos con grandes nutrientes," *Nutr. y Educ. Aliment. Ficha N° 35*, pp. 1-5, 2015.
- [32] A. Z. Ahmed, K. D. Mumbrekar, S. M. Satyam, P. Shetty, M. R. D'Souza y V. K. Singh, "Chia Seed Oil Ameliorates Doxorubicin-Induced Cardiotoxicity in Female Wistar Rats: An Electrocardiographic, Biochemical and Histopathological Approach," *Cardiovasc. Toxicol*, vol. 21, n° 7, pp. 533-542, 2021. doi: 10.1007/s12012-021-09644-3.
- [33] L. G. Cardoso y e. al., "Processed cheese with inulin and microencapsulated chia oil (*Salvia hispanica*)," *Food Biosci*, vol. 37, 2020. doi: 10.1016/j.fbio.2020.100731
- [34] L. M. Julio, "Aplicación de subproductos de chía (*Salvia hispanica* L.) en emulsiones alimentarias funcionales", Tesis Doctoral Universidad Nacional de la Plata, Argentina, 2017.
- [35] B. T. F. de Mello, V. A. dos Santos Garcia y C. da Silva, "Ultrasound-Assisted Extraction of Oil from Chia (*Salvia hispânica* L.) Seeds: Optimization Extraction and Fatty Acid Profile," *J. Food Process Eng*, vol. 40, n° 1, pp. 1-8, 2017. doi: 10.1111/jfpe.12298.
- [36] E. Villanueva, G. Rodríguez, E. Aguirre y V. Castro, "Influence of antioxidants on oxidative stability of the oil Chia (*Salvia hispanica* L.) by rancimat," *Sci. Agropecu*, vol. 8, n° 1, pp. 19-27, 2017. doi: 10.17268/sci.agropecu.2017.01.02.
- [37] R. P. Y. Bodoira, M. Penci, Ribotta y M. Martínez, "Chia (*Salvia hispanica* L.) oil stability: Study of the effect of natural antioxidants," *LWT - Food Sci. Technol*, vol. 75, pp. 107-113, 2017. doi: 10.1016/j.lwt.2016.08.031.

- [38] M. DiPasquale y e. al, "The antioxidant vitamin E as a membrane raft modulator: Tocopherols do not abolish lipid domains," *Biochim. Biophys. Acta - Biomembr*, 2020. doi: 10.1016/j.bbamem.2020.183189.
- [39] A. Kamal-Eldin y L. Å. Appelqvist, "The chemistry and antioxidant properties of tocopherols and tocotrienols," *Lipids*, vol. 31, n° 7, pp. 671-701, 1996. doi: 10.1007/BF02522884.
- [40] J. Corella, K. Revelo y D. Flores, "Perfiles de Ácidos Grasos del Aceite de Sacha Inchi Extraído de Semillas Tostadas a Diferentes Temperaturas," Universidad Central del Ecuador, 2019.
- [41] M. Musa Özcan, F. Y. Al-Juhaimi, I. A. Mohamed Ahmed, M. A. Osman y M. A. Gassem, "Effect of different microwave power setting on quality of chia seed oil obtained in a cold press," *Elsevier Ltd*, 2019.
- [42] A. Guimarães-Inácio y e. al, "Evaluation of the oxidative stability of chia oil-loaded microparticles by thermal, spectroscopic and chemometric methods," *LWT - Food Sci. Technol*, vol. 87, pp. 498-506, 2018. doi: 10.1016/j.lwt.2017.09.031.
- [43] S. Santos, "Estudio de la estabilidad del aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) a diferentes condiciones de inhibición oxidativa.," Tesis de Ingeniería, Universidad Técnica de Ambato., 2018.
- [44] D. Taipicaña, "Estudio comparativo del grado de estabilidad del aceite de unguirahua (*Oenocarpus bataua*) con otros aceites en la fritura." Universidad Técnica de Ambato, Tesis de Ingeniería, Universidad Técnica de Ambato, 2015.
- [45] L. FEA, Cromatografía gás-líquido. In *Métodos Padrões DGF* (pp. 1–16)., Brasil: FEA - UNICAMP, 1991.
- [46] C. A. Pérez, L. González, A. Colón, C. Morello, V. Mujica y Martínez, "Evaluación comparativa de los rendimientos obtenidos mediante el proceso de extracción en aceites vegetales a partir de semillas oleaginosas," *An. la Univ. Metrop*, vol. 9, pp. 181-206, 2009.
- [47] Y. P. Timilsena, J. Vongsvivut, R. Adhikari y B. Adhikari, "Physicochemical and thermal characteristics of Australian chia seed oil," *Food Chem*, vol. 228, pp. 394-402, 2017. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.02.021.
- [48] W. E. J. Estrada, "Influencia de los parámetros del Rancimat en el tiempo de inducción y perfil de ácidos grasos del aceite de chíá (*Salvia hispanica* L.) cultivada en el Distrito de Andahuaylas," Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional del Santa, Perú, 2017.
- [49] R. V. Murillo, E. A. R. Leyes, C. V. L. González Canavaciolo, C. O. D. López Hernández, M. M. Rivera Amita y M. L. González Sanabia, "Características preliminares del aceite de semillas de *Salvia hispanica* L. cultivadas en Cuba," *Rev. Cuba. Plantas Med*, vol. 18, n° 1, pp. 3-9, 2013.

- [50] A. Valencia C y e. al, "Evaluación de la aceptabilidad de dos aceites vegetales con diferentes niveles de ácido alfa-linolénico en embarazadas de la Región Metropolitana de Chile," *Rev. Chil. Nutr.*, vol. 41, n° 1, pp. 85-89, 2014. doi: 10.4067/S0717-75182014000100012.
- [51] M. C. Caruso y e. al, "Evaluation of the oxidative stability of bakery products by OXITEST method and sensory analysis," *Eur. Food Res. Technol*, vol. 243, n° 7, pp. 1183-1191, 2017. doi: 10.1007/s00217-016-2831-9.
- [52] R. da. S. Marineli, É. A. Moraes, S. A. Lenquiste, A. T. Godoy, M. N. Eberlin y M. R. Maróstica, "Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil (*Salvia hispanica* L.)," *LWT - Food Sci. Technol*, vol. 59, n° 2P2, pp. 1304-1310, 2014. doi: 10.1016/j.lwt.2014.04.014
- [53] R. Bodoira, "Estabilidad y conservación de aceite de chia (*Salvia hispanica* L.) obtenido por prensado en frío," Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Córdoba, 2014.
- [54] Y. M. Salvatierra-Pajuelo, M. E. Azorza-Richarte y L. M. Paucar-Menacho, "Optimization of the nutritional, textural and sensorial characteristics of cookies enriched with chia (*Salvia Hispánica*) and oil extracted from tarwi (*Lupinus Mutabilis*)," *Sci. Agropecu*, vol. 10, n° 1, pp. 7-17, 2019. doi: 10.17268/sci.agropecu.2019.01.01.
- [55] Y. Ding y e. al, "Nutritional composition in the chia seed and its processing properties on restructured ham-like products," *J. Food Drug Anal*, vol. 26, n° 1, pp. 124-134, 2016. doi: 10.1016/j.jfda.2016.12.012.
- [56] M. C. Caruso y e. al, "Shelf-life evaluation and nutraceutical properties of chia seeds from a recent long-day flowering genotype cultivated in Mediterranean area," *LWT - Food Sci. Technol*, vol. 87, pp. 400-405, 2017. doi: 10.1016/j.lwt.2017.09.015
- [57] A. L. Souza, F. P. Martínez, S. B. Ferreira y C. R. Kaiser, "A complete evaluation of thermal and oxidative stability of chia oil: The richest natural source of α -linolenic acid," *J. Therm. Anal. Calorim*, vol. 130, n° 3, pp. 1307-1315, 2017. doi: 10.1007/s10973-017-6106-x.

ANEXOS

Anexo 1: Tablas de resultados obtenidos del equipo OXITEST.

Tabla 17. Valores de IP del aceite de chía obtenido del equipo Oxitest, ecuación temperatura vs Ln (IP) y vida útil del aceite la chía.

Tratamientos	Réplicas	Horas	Minutos	IP (Horas)	Temp.	Ln(IP)	Ecuación	r ²	Ln IP (15°C)	Ant Ln IP (15°C)	Vida útil meses
Aceite de Chía (Control)											
100°C	R1	1	17	1,283	100°C	0,249	y=-0,0968x+9,9744	0,994	8,522	5026,102	6,980
90°C	R1	3	50	3,833	90°C	1,344					
80°C	R1	8	54	8,900	80°C	2,186					
100°C	R2	1	16	1,267	100°C	0,236	y=-0,0972x+10,01	0,990	8,552	5177,098	7,197
90°C	R2	3	56	3,933	90°C	1,369					
80°C	R2	8	51	8,850	80°C	2,180					
100°C	R3	1	18	1,300	100°C	0,262	y=-0,0965x+9,9605	0,992	8,513	4979,078	6,915
90°C	R3	3	59	3,983	90°C	1,382					
80°C	R3	8	57	8,950	80°C	2,192					
Aceite de Chía 0,025% vit. E											
100°C	R1	1	22	1,367	100°C	0,312	y=-0,0976x+10,102	0,996	8,638	5642,034	7,836
90°C	R1	4	1	4,017	90°C	1,390					
80°C	R1	9	37	9,617	80°C	2,263					
100°C	R2	1	21	1,350	100°C	0,300	y=-0,0976x+10,09	0,996	8,626	5574,735	7,7426
90°C	R2	3	58	3,967	90°C	1,378					
80°C	R2	9	30	9,500	80°C	2,251					
100°C	R3	1	23	1,383	100°C	0,324	y=-0,0974x+10,031	0,997	8,57	5271,130	7,321

90°C	R3	3	58	3,967	90°C	1,378						
80°C	R3	9	35	9,583	80°C	2,260						
Aceite de Chía 0,05% vit. E												
100°C	R1	1	22	1,367	100°C	0,312	$y=-0,0975x+10,218$	0,997	8,756	6345,492	8,813	
90°C	R1	4	1	4,017	90°C	1,390						
80°C	R1	9	51	9,850	80°C	2,287						
100°C	R2	1	23	1,383	100°C	0,324	$y=-0,0985x+10,199$	0,998	8,721	6133,372	8,518	
90°C	R2	4	0	4,000	90°C	1,386						
80°C	R2	9	55	9,917	80°C	2,294						
100°C	R3	1	22	1,367	100°C	0,312	$y=-0,0987x+10,234$	0,996	8,753	6332,814	8,795	
90°C	R3	4	4	4,067	90°C	1,403						
80°C	R3	9	50	9,833	80°C	2,286						
Aceite de Chía 0,075% vit. E												
100°C	R1	1	23	1,383	100°C	0,324	$y=-0,0986x+10,231$	0,992	8,752	6323,322	8,7824	
90°C	R1	4	18	4,300	90°C	1,459						
80°C	R1	9	56	9,933	80°C	2,296						
100°C	R2	1	22	1,367	100°C	0,312	$y=-0,0991x+10,276$	0,991	8,789	6564,949	9,118	
90°C	R2	4	20	4,333	90°C	1,466						
80°C	R2	9	55	9,917	80°C	2,294						
100°C	R3	1	23	1,383	100°C	0,324	$y=-0,0987x+10,245$	0,991	8,7645	6402,860	8,893	
90°C	R3	4	23	4,383	90°C	1,478						
80°C	R3	9	57	9,950	80°C	2,298						

Aceite de Chía 0,1% vit. E											
100°C	R1	1	23	1,383	100°C	0,324	$y=-0,0992x+10,303$	0,998	8,815	6734,508	9,3535
90°C	R1	4	24	4,400	90°C	1,482					
80°C	R1	10	4	10,067	80°C	2,309					
100°C	R2	1	24	1,400	100°C	0,336	$y=-0,0983x+10,232$	0,987	8,7575	6358,196	8,831
90°C	R2	4	33	4,550	90°C	1,515					
80°C	R2	10	0	10,000	80°C	2,303					
100°C	R3	1	25	1,417	100°C	0,348	$y=-0,0996x+10,284$	0,992	8,79	6568,232	9,122
90°C	R3	4	31	4,517	90°C	1,508					
80°C	R3	10	13	10,217	80°C	2,324					

Anexo 2: Tablas de análisis estadísticos de la vida útil del aceite de chía.

Tabla 18. Vida útil del aceite de chía en meses determinado por el equipo Oxitest

Tratamiento	R1	R2	R3	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación
TC	6,980	7,190	6,915	7,028	0,144	2,045
T1	7,836	7,742	7,321	7,633	0,274	3,593
T2	8,813	8,519	8,800	8,711	0,166	1,907
T3	8,782	9,118	8,893	8,931	0,171	1,917
T4	9,353	8,830	9,122	9,102	0,262	2,880

Tabla 19. 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	9,80905	4	2,45226	50,03	0,0000
B: RÉPLICAS	0,0508465	2	0,0254233	0,52	0,6140
RESIDUOS	0,392091	8	0,0490114		
TOTAL (CORREGIDO)	10,252	14			

Tabla 20. Grupos homogéneos según la prueba de Tukey

TRATAMIENTOS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos	
TC	3	7,02833	0,127817	B	A
T1	3	7,633	0,127817	B	B
T2	3	8,71067	0,127817	A	C
T3	3	8,931	0,127817	A	C
T4	3	9,10167	0,127817	A	C

Medias y 95,0% de Fisher LSD

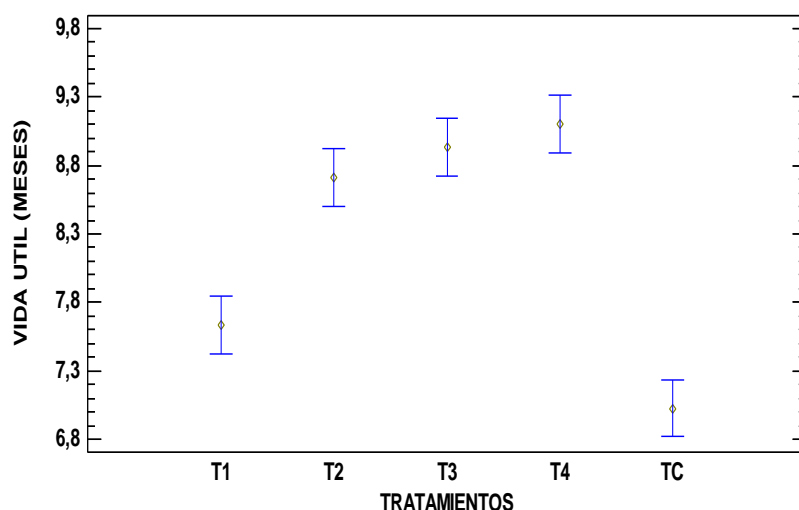


Figura 12. Relación de la vida útil del aceite de chía en los diferentes tratamientos

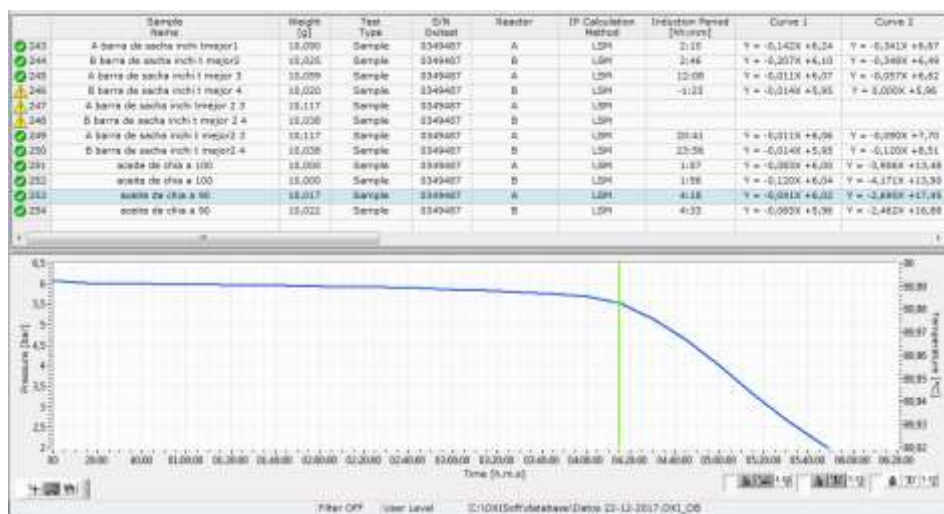


Figura 13. Resultado obtenido del equipo OXITEST en el análisis de vida útil del aceite de chía determinado a 90 °C

Tabla 21. Perfil de ácidos grasos del aceite de chía extraídos por prensado y almacenados durante 15 meses

Orden de elución	Tiempo de retención	Nombre común	Abreviatura	Aceite de chía Tiempo almacenamiento: 0 meses			Promedio	Aceite de chía 0,05% vitamina E Tiempo almacenamiento: 15 meses			Promedio	Aceite de chía sin vitamina E Tiempo almacenamiento: 15 meses			Promedio
				R1	R2	R3		R1	R2	R3		R1	R2	R3	
				1	17,868	Ácido palmítico		C16:0	7,14	7,39		7,15	7,23±0,14 a	8,69	
2	22,552	Ácido esteárico	C18:0	2,16	2,41	2,10	2,22±0,16 a	2,61	2,59	2,49	2,56±0,06 b	2,83	2,79	2,79	2,80±0,02 b
3	24,041	Ácido oleico	C18:1n9c	5,67	5,34	5,82	5,61±0,25 b	6,10	6,09	6,10	6,10±0,01 a	6,25	6,24	6,29	6,26±0,03 a
4	25,891	Ácido linoleico	C18:2n6c	19,55	19,22	19,41	19,39±0,17 a	17,78	17,70	17,65	17,71±0,07 b	17,91	17,92	17,81	17,88±0,06 b
5	28,405	Ácido linolénico	C18:3n3	65,48	65,65	65,53	65,55±0,09 a	64,82	65,12	65,16	65,03±0,19 b	64,64	64,73	64,78	64,72±0,07 c
Ácidos grasos saturados				9,3	9,8	9,25	9,45±0,30 a	11,3	11,09	11,09	11,16±0,12 b	11,2	11,11	11,11	11,14±0,05 b
Ácidos grasos monoinsaturados				5,67	5,34	5,82	5,61±0,25 b	6,1	6,09	6,1	6,10±0,01 a	6,25	6,24	6,29	6,26±0,03 a
Ácidos grasos poliinsaturados				85,03	84,87	84,94	84,95±0,08 a	82,6	82,82	82,81	82,74±0,12 b	82,55	82,65	82,59	82,60±0,05 b
Relación: ácidos grasos saturados/ácidos grasos insaturados				0,10	0,10	0,104	0,10±0,00 a	0,13	0,12	0,12	0,13±0,00 b	0,13	0,12	0,13	0,13±0,00 b

Nota: letras diferentes en los promedios de los ácidos grasos de cada tratamiento representa diferencia significativa (p < 0,05)

Anexo 3. Perfil de ácidos grasos del aceite de chía durante el almacenamiento.

Tabla 22. Ácidos grasos al tiempo cero del aceite de chía control. expresado en % área de pico

N°	Tiempo de pico retención (min)	Ácido graso		r1	r2	r3	% área de pico
1	17.868	Ácido Palmítico	C16	7,10	7,35	7,240	7,23±0,18
2	22.552	Ácido Esteárico	C18	2,37	2,06	2,23	2,22±0,22
3	24.041	Ácido Oleico	C18:1	5,25	5,97	5,62	5,61±0,51
4	25.891	Ácido Linoleico	C18:2	19,66	19,12	19,38	19,39±0,38
5	28.405	Ácido Linolénico	C18:3	65,03	66,07	65,56	65,55±0,73

Tabla 23. Ácidos grasos al tiempo cero del aceite de chía con 0,05% alfa tocoferol (vitamina E). Expresado en % área de pico

N°	Tiempo de pico retención (min)	Ácido graso		r1	r2	r3	% área de pico
1	17.868	Ácido Palmítico	C16	8,87	8,90	9,37	9,05±0,20
2	22.586	Ácido Esteárico	C18	3,70	4,02	4,22	3,98±0,23
3	23.811	Ácido Oleico	C18:1	8,41	8,25	9,23	8,63±0,69
4	25.891	Ácido Linoleico	C18:2	20,78	20,77	20,40	20,65±0,40
5	28.405	Ácido Linolénico	C18:3	58,71	56,87	56,35	57,31±1,06

Tabla 24. Ácidos grasos al tiempo 15 meses del aceite de chía control. Expresado en % área de pico

N° pico	Tiempo de retención (min)	Ácido graso					% área de pico
				r1	r2	r3	
1	17.868	Ácido Palmítico	C16	8,35	8,33	8,34	8,34±0,01
2	22.586	Ácido Esteárico	C18	2,83	2,78	2,80	2,80±0,02
3	23.811	Ácido Oleico	C18:1	6,26	6,25	6,26	6,26±0,01
4	25.891	Ácido Linoleico	C18:2	17,92	17,88	17,85	17,88±0,03
5	28.405	Ácido Linolénico	C18:3	64,68	64,57	64,91	64,72±0,17

Tabla 25. Ácidos grasos al tiempo 15 meses del aceite de chía con 0,05% alfa tocoferol (vitamina E). Expresado en % área de pico

N° pico	Tiempo de retención (min)	Ácido graso					% área de pico
				r1	r2	r3	
1	17.868	Ácido Palmítico	C16	8,67	8,60	8,52	8,60±0,07
2	22.586	Ácido Esteárico	C18	2,61	2,58	2,49	2,56±0,06
3	23.811	Ácido Oleico	C18:1	6,10	6,08	6,03	6,10±0,02
4	25.891	Ácido Linoleico	C18:2	17,79	17,70	17,60	17,71±0,09
5	28.405	Ácido Linolénico	C18:3	64,98	65,10	65,01	65,03±0,03

Anexo 4. Análisis fisicoquímico del aceite de chía

Tabla 26. Análisis fisicoquímico del aceite de chía tratamiento control (TC) sin vitamina E durante 0 (a) y 15 (d) meses de almacenamiento. tratamiento 2 con vitamina E 0,05% (T9)

PARÁMETROS	RÉPLICAS	TC		T2		TC		T2	
		A	D	A	D	A	D	A	D
PERÓXIDO	1	3,440	10,200	2,010	5,520	3,460±0,026	10,267±0,115	2,043±0,031	5,543±0,025
	2	3,450	10,400	2,050	5,570				
	3	3,490	10,200	2,070	5,540				
ACIDEZ	1	0,305	0,504	0,275	0,461	0,308±0,004	0,509±0,005	0,279±0,004	0,465±0,005
	2	0,306	0,514	0,278	0,471				
	3	0,312	0,510	0,283	0,463				
HUMEDAD	1	0,118	0,861	0,067	0,180	0,116±0,004	0,860±0,006	0,067±0,003	0,176±0,004
	2	0,119	0,854	0,070	0,175				
	3	0,112	0,865	0,065	0,172				
PH	1	4,550	3,120	4,250	3,870	4,560±0,036	3,070±0,070	4,200±0,050	3,883±0,015
	2	4,530	3,100	4,150	3,900				
	3	4,600	2,990	4,200	3,880				

Anexo 5. Tablas de análisis estadísticos de los ácidos grasos con el tiempo de conservación

Datos:

T1: Aceite de Chía tiempo conservación 0 meses

T2: Aceite de Chía con vitamina E tiempo conservación 15 meses

T3: Aceite de Chía sin vitamina E tiempo de conservación: 15 meses.

Tabla 27. Grupos homogéneos del ácido palmítico

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

TRATAMIENTOS	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
T1	3	7,22667	0,0681502	A
T3	3	8,33667	0,0681502	B
T2	3	8,59667	0,0681502	B

Tabla 28. Grupos homogéneos del ácido esteárico

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
T1	3	2,22333	0,0542627	A
T2	3	2,56333	0,0542627	B
T3	3	2,80333	0,0542627	B

Tabla 29. Grupos homogéneos del ácido oleico

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
T1	3	5,61	0,0774836	B
T2	3	6,09667	0,0774836	A
T3	3	6,26	0,0774836	A

Tabla 30. Grupos homogéneos de ácido linoleico

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
T2	3	17,71	0,0561084	B
T3	3	17,88	0,0561084	B
T1	3	19,3933	0,0561084	A

Tabla 31. Grupos homogéneos de ácido linolénico

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
T3	3	64,7167	0,048515	C
T2	3	65,0333	0,048515	B
T1	3	65,5533	0,048515	A

Tabla 32. Grupos homogéneos de ácidos grasos saturados

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
T1	3	9,45	0,118369	A
T3	3	11,14	0,118369	B
T2	3	11,16	0,118369	B

Tabla 33. Grupos homogéneos de ácidos grasos monoinsaturados

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
T1	3	5,61	0,0774836	B
T2	3	6,09667	0,0774836	A
T3	3	6,26	0,0774836	A

Tabla 34. Grupos homogéneos de ácidos grasos polinsaturados

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
T3	3	82,5967	0,0599382	B
T2	3	82,7433	0,0599382	B
T1	3	84,9467	0,0599382	A

Tabla 35. Grupos homogéneos de la relación: ácidos grasos saturados/ácidos grasos insaturados

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
T1	3	0,101333	0,00247955	A
T2	3	0,123333	0,00247955	B
T3	3	0,126667	0,00247955	B

Anexo 6. Fotografía del proceso de extracción de aceite de chía.

	
<p>Granos de chía</p>	<p>Equipo de extracción de aceite por prensado</p>
	
<p>Prensado de la chía</p>	<p>Aceite de chia extraído por prensado</p>
	
<p>Filtración del aceite de chía extraído</p>	<p>Aceite de chía clarificado</p>

Figura 14. Extracción de aceite de chía por prensado