

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**Programa de Doctorado en Ingeniería en Alimentos**



**UNS**  
**ESCUELA DE**  
**POSGRADO**

---

---

**“Estabilidad oxidativa y calidad sensorial del aceite de Plukenetia Volubilis L por acción de cinco aceites esenciales provenientes de especies aromáticas de Jaén Perú”**

---

---

**Tesis para optar el grado de**  
**Doctor en Ingeniería en alimentos**

**Autora:**

**M.Sc. Cueva Ríos, María Alina**

**Asesora:**

**Dra. Aguirre Vargas, Elza Berta**  
**DNI. N° 19096335**  
**Código ORCID: 0000-0003-1659-9874**

**Línea de investigación**  
**Determinación de parámetros funcionales y moleculares**  
**predictivos de la calidad y estabilidad del producto terminado**

**Nuevo Chimbote - PERÚ**  
**2024**

## CONSTANCIA DE ASESORAMIENTO

Yo, **Elza Berta Aguirre Vargas**, mediante la presente doy conformidad de mi asesoramiento de la tesis doctoral titulada: “**Estabilidad oxidativa y calidad sensorial del aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L) por acción de cinco aceites esenciales provenientes de especies aromáticas de Jaén, Perú**” que tiene como autor a la **M.Sc. Cueva Rios, María Alina**, que ha sido elaborado de acuerdo con el Reglamento de Normas y Procedimientos para obtener el grado académico de **Doctor en Ingeniería de Alimentos** de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, junio de 2024



---

**Dra. Aguirre Vargas, Elza Berta**

Asesora

Código ORCID: 0000-0003-1659-9874

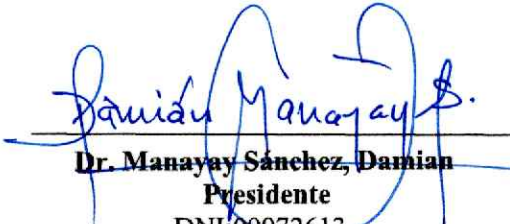
DNI N°. 19096335




### AVAL DE CONFORMIDAD DEL JURADO

“Estabilidad oxidativa y calidad sensorial del aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L) por acción de cinco aceites esenciales provenientes de especies aromáticas de Jaén, Perú” que tiene como autora a la M.Sc. Cueva Ríos, María Alina,

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:

  
Dr. Manayay Sánchez, Damian  
Presidente  
DNI: 09972613  
Código ORCID: 0000-0002-1621-7250

  
Dr. Símpalo López, Wilson Daniel  
Secretario  
DNI: 40186130  
Código ORCID 0000-0002-8397-7145

  
Dra. Aguirre Vargas, Elza Berta  
Vocal  
Código ORCID: 0000-0003-1659-9874  
DNI N°. 19096335



**UNS**  
ESCUELA DE  
POSGRADO

## ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

A los quince días del mes de junio del año 2024, siendo las 11:00 horas, en las instalaciones de la Escuela de Agroindustria de la Universidad Nacional del Santa, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral N° 301-2024-EPG-UNS de fecha 27.05.2024, conformado por los docentes: Dr. Damián Manayay Sánchez (Presidente), Dr. Wilson Daniel Símpalo López (Secretario) y Dra. Elza Berta Aguirre Vargas (Vocal); con la finalidad de evaluar la tesis titulada "**ESTABILIDAD OXIDATIVA Y CALIDAD SENSORIAL DEL ACEITE DE PLUKENETIA VOLUBILIS L POR ACCIÓN DE CINCO ACEITES ESENCIALES PROVENIENTES DE ESPECIES AROMÁTICAS DE JAÉN, PERÚ**"; presentado por la tesista **María Alina Cueva Ríos**, egresada del programa de **Doctorado en Ingeniería de Alimentos**.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 317-2024-EPG-UNS de fecha 10 de junio de 2024.

El presidente del jurado autorizó el inicio del acto académico; producido y concluido el acto de sustentación de tesis, los miembros del jurado procedieron a la evaluación respectiva, haciendo una serie de preguntas y recomendaciones al tesista, quien dio respuestas a las interrogantes y observaciones.

El jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como APROBADO, asignándole la calificación de (18) BUENO.

Siendo las 12:35 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.

  
Dr. Damián Manayay Sánchez  
Presidente

  
Dr. Wilson Daniel Símpalo López  
Secretario

  
Dra. Elza Berta Aguirre Vargas  
Vocal



## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: **María Alina Cueva Ríos**  
Título del ejercicio: **Quick Submit**  
Título de la entrega: **Estabilidad oxidativa y calidad sensorial del aceite de ...**  
Nombre del archivo: **TESIS\_FINAL\_MACR\_25-06-2024.docx**  
Tamaño del archivo: **9.04M**  
Total páginas: **224**  
Total de palabras: **35,526**  
Total de caracteres: **195,700**  
Fecha de entrega: **25-jun.-2024 12:23p. m. (UTC-0700)**  
Identificador de la entrega... **2408590513**



# Estabilidad oxidativa y calidad sensorial del aceite de (Plukenetia volubilis L) por acción de cinco aceites esenciales provenientes de especies aromáticas de Jaén, Perú

## INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repositorio.uns.edu.pe">repositorio.uns.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
2	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="https://qdoc.tips">qdoc.tips</a> Fuente de Internet	<1%
4	<a href="https://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1%
5	<a href="https://vri.unat.edu.pe">vri.unat.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
6	<a href="https://www.dspace.uce.edu.ec">www.dspace.uce.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="https://idus.us.es">idus.us.es</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="https://aprenderly.com">aprenderly.com</a> Fuente de Internet	<1%

## DEDICATORIA

*A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar presente en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.*

*A mi familia, mi esposo y mis hijos por haberme apoyado en todo momento, por la motivación constante que me ha permitido lograr concluir el presente trabajo de investigación, pero más que nada, por su amor.*

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer de manera especial a mi asesora la Dra. Elza Berta Aguirre Vargas, por brindarme su apoyo, motivación y orientación en la realización de la tesis; al Dr. Gilbert Rodríguez Paucar, al M.Sc. Eudes Villanueva López. A las autoridades, profesionales del Instituto Tecnológico Agroindustrial de la UNS, a cada una de las personas que colaboraron conmigo; a mis compañeros por su tiempo compartido en nuestro paso por la universidad, a los catedráticos del Doctorado de Ingeniería de Alimentos que marcaron cada etapa de mi formación y por impulsar el desarrollo de trabajos inéditos.



## ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR.....	ii
AVAL DEL JURADO EVALUADOR.....	iii
INDICE DE TABLAS .....	ix
INDICE DE FIGURAS .....	x
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	14
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	15
1.1. Planteamiento y fundamentación del problema .....	15
1.2. Antecedentes de la investigación.....	17
1.3. Formulación del problema de investigación.....	27
1.4. Delimitación del estudio .....	28
1.5. Justificación e importancia de la investigación.....	28
1.6. Objetivos de la investigación.....	29
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	31
2.1. Fundamentos teóricos de la investigación .....	31
2.2. Marco conceptual .....	35
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	57
3.1. Hipótesis central de la investigación .....	57
3.2. Variables e indicadores de la investigación .....	57
3.3. Métodos de la investigación.....	58
3.4. Diseño o esquema de la investigación .....	62
3.5. Población y muestra .....	66
3.6. Actividades del proceso investigativo .....	66
3.7. Técnicas e instrumentos de la investigación.....	67
3.8. Procedimiento para la recolección de datos .....	69
3.9. Técnicas de procesamiento y análisis de los datos .....	71

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	74
4.1. Rendimiento de extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor de cinco plantas aromáticas provenientes de Jaén .....	74
4.2. Características físico químicas del aceite de Sacha Inchi .....	100
4.3. Estabilidad oxidativa de aceite de Sacha Inchi con adición de aceites esenciales de matico, Limón real y hierba buena .....	107
4.4. Dosis adecuada de aceite esencial que permite mejorar la calidad sensorial del aceite de Sacha Inchi.....	128
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	143
5.1. Conclusiones.....	143
5.2. Recomendaciones.....	144
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	145
ANEXOS.....	156

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Experimento Factorial DBCA con arreglo Factorial de 4x3x5.....	59
<b>Tabla 2</b> Matriz Experimental para Evaluación de Estabilidad Oxidativa y Calidad Sensorial del Aceite de <i>Plukenetia volubilis</i> L. ....	63
<b>Tabla 3</b> Rendimiento de extracción de aceites esenciales obtenidos por arrastre de vapor .....	79
<b>Tabla 4</b> Principales compuestos de aceites esenciales .....	97
<b>Tabla 5</b> Análisis físico químico del Aceite de <i>sacha inchi</i> .....	101
<b>Tabla 6</b> Perfil de ácidos grasos del aceite de <i>SI</i> .....	102
<b>Tabla 7</b> Índices de calidad de aceite de <i>SI</i> con adición de aceites esenciales .....	104
<b>Tabla 8</b> Estabilidad oxidativa de aceite de <i>SI</i> con adición de aceites esenciales de <i>matico</i> , <i>Limón real</i> y <i>hierba buena</i> .....	109
<b>Tabla 9</b> Tukey Post-Hoc Test – Estabilidad Oxidativa a los 0, 7, 15, 30, 90 días .....	110
<b>Tabla 10</b> Test Shapiro-Wilk .....	125
<b>Tabla 11</b> Test Friedman.....	126
<b>Tabla 12</b> Test Durbin-Conover de la vida útil del aceite de <i>SI</i> con adición de aceites esenciales de plantas aromáticas a 25°C. ....	126
<b>Tabla 13</b> Atributos positivos en el aceite de <i>SI</i> .....	128
<b>Tabla 14</b> Atributos negativos en el aceite de <i>SI</i> .....	129
<b>Tabla 15</b> Atributos positivos en el aceite de <i>SI</i> con otros aceites esenciales. ....	131
<b>Tabla 16</b> Atributos negativos en el aceite de <i>SI</i> con otros aceites esenciales .....	134
<b>Tabla 17</b> Nivel de aceptabilidad del <i>SI</i> con aceites esenciales .....	137
<b>Tabla 18</b> Test Shapiro-Wilk .....	139
<b>Tabla 19</b> Test paramétrico Bonferroni entre categorías .....	140

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Molécula de ácido oleico</i> .....	36
<b>Figura 2</b> <i>Representación esquemática de la formación de un triglicérido</i> .....	37
<b>Figura 3</b> <i>Mecanismo de los tocoferoles</i> .....	42
<b>Figura 4</b> <i>Principales grupos de compuestos polifenólicos</i> .....	44
<b>Figura 5</b> <i>Esquema de la evaluación para el diseño experimental</i> .....	58
<b>Figura 6</b> <i>Esquema del proceso para la extracción de aceite esencial por arrastre de vapor</i> .....	69
<b>Figura 7</b> <i>Hojas de Limón real</i> .....	75
<b>Figura 8</b> <i>Hojas de Matico</i> .....	76
<b>Figura 9</b> <i>Hojas de Hierba buena</i> .....	76
<b>Figura 10</b> <i>Hojas de Naranja</i> .....	77
<b>Figura 11</b> <i>Hojas de Paico</i> .....	78
<b>Figura 12</b> <i>Cromatograma del (-)-Carvone en Limón Real</i> .....	80
<b>Figura 13</b> <i>Cromatograma del (-)-Carvone en Matico</i> .....	81
<b>Figura 14</b> <i>Cromatograma del (-)-Carvone en Hierba buena</i> .....	82
<b>Figura 15</b> <i>Cromatograma del (-)-B-Pinene en Limón Real</i> .....	83
<b>Figura 16</b> <i>Cromatograma del (-)-B-Pinene en Matico</i> .....	84
<b>Figura 17</b> <i>Cromatograma del (-)-B-Pinene en Hierba buena</i> .....	85
<b>Figura 18</b> <i>Cromatograma del Linalool en Limón Real</i> .....	86
<b>Figura 19</b> <i>Cromatograma del Linalool en Matico</i> .....	87
<b>Figura 20</b> <i>Cromatograma del Linalool en Hierba Buena</i> .....	88
<b>Figura 21</b> <i>Cromatograma del Eugenol en Limón Real</i> .....	89
<b>Figura 22</b> <i>Cromatograma del Eugenol en Hierba buena</i> .....	90
<b>Figura 23</b> <i>Cromatograma del <math>\alpha</math>-Pinene en Limón Real</i> .....	91
<b>Figura 24</b> <i>Cromatograma del <math>\alpha</math>-Pinene en Matico</i> .....	92
<b>Figura 25</b> <i>Cromatograma del <math>\alpha</math>-Pinene en Hierba buena</i> .....	93
<b>Figura 26</b> <i>Cromatograma del <math>\beta</math> –Citral en el Limón Real</i> .....	94
<b>Figura 27</b> <i>Cromatograma del <math>\beta</math> –Citral en el Matico</i> .....	95
<b>Figura 28</b> <i>Cromatograma del <math>\beta</math> –Citral en Hierba Buena</i> .....	96
<b>Figura 29</b> <i>Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Matico al 0.1%</i> .....	113

<b>Figura 30</b> <i>Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Matico al 0.3%</i> .....	113
<b>Figura 31</b> <i>Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Matico al 0.5%</i> .....	114
<b>Figura 32</b> <i>Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Limón Real 0.1%</i> .....	115
<b>Figura 33</b> <i>Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Limón Real 0.3%</i> .....	116
<b>Figura 34</b> <i>Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Limón Real 0.5%</i> .....	116
<b>Figura 35</b> <i>Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Hierba Buena 0.1%</i> .....	118
<b>Figura 36</b> <i>Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Hierba Buena 0.3%</i> .....	118
<b>Figura 37</b> <i>Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Hierba Buena 0.5%</i> .....	119
<b>Figura 38</b> <i>Vida útil del aceite de SI con adición de aceite de matico a 25°C.</i>	123
<b>Figura 39</b> <i>Vida útil del aceite de SI con adición de aceite de Limón real a 25°C.</i> .....	124
<b>Figura 40</b> <i>Vida útil del aceite de SI con adición de aceite de hierba buena a 25°C.</i> .....	125
<b>Figura 41</b> <i>Atributos positivos del aceite de SI</i> .....	133
<b>Figura 42</b> <i>Atributos negativos del aceite de SI</i> .....	136
<b>Figura 43</b> <i>Nivel de aceptabilidad del SI con aceites esenciales</i> .....	138

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar la estabilidad oxidativa y calidad sensorial del aceite de *Plukenetia volubilis* L. (Sacha Inchi) (SI), si mejora significativamente por acción de aceites esenciales (AE) de especies aromáticas de Jaén. Se empleó como método "Metrohm de Rancimat 743", para determinar la estabilidad oxidativa y la vida útil del aceite de SI, y como variaba este, con la adición de los AE de *Citrus Limón* (Limón real), *Piper aduncum* (matico) y *Mentha spicata* (hierba buena). Los resultados mostraron que al combinar el aceite de SI con los AE de Limón, matico y hierba buena, se observó un aumento significativo en el índice de estabilidad oxidativa en todas las concentraciones probadas (0.1%, 0.3% y 0.5%) en comparación con el control (aceite puro), además se evaluó a (90°C, 100°C y 110°C), con varios tiempos de inducción (0, 7, 15, 30, 90 días), donde se determinó que el AE de Matico a 0.5%, con 90°C y un tiempo de inducción de 0 días, mostraron mayor índice de estabilidad oxidativa en comparación de los mayores tiempos sometidos a más altas temperaturas, además estadísticamente existe diferencia significativa entre los tres AE. Además, en el análisis sensorial se determinó que si bien el SI con adición de los AE al 0.1%, 0.3% y 0.5% de concentración no tuvieron diferencia significativa  $p < 0.01$ , y el nivel de aceptabilidad en promedio fue de 4.55 de un puntaje de 10 para todas las muestras con y sin combinaciones. Se concluyó que la adición de AE afectó positivamente la estabilidad oxidativa, mejorando la vida útil a una adición de 0.5% de aceite de Matico, Limón real y Hierba buena en 205.45, 200.4 y 203.4% respectivamente; en la evaluación sensorial se comprobó que hubo una mayor aceptación a la combinación de aceite de sachá inchi con AE de limón real al 0.3%.

**Palabras clave:** *Sacha inchi*, *Citrus limon*, *Piper aduncum*, *Mentha spicata*, estabilidad oxidativa, evaluación sensorial, método Rancimat.

## ABSTRACT

The aim of this research was to determine the oxidative stability and sensory quality of *Plukenetia volubilis* L. (Sacha Inchi) (SI) oil, and whether it significantly improves through the action of essential oils (EO) from aromatic species of Jaén. The "Metrohm Rancimat 743" method was used to determine the oxidative stability and shelf life of SI oil and how it varied with the addition of EO from *Citrus limon* (lemon), *Piper aduncum* (matico), and *Mentha spicata* (spearmint). The results showed that combining SI oil with EO from lemon, matico, and spearmint resulted in a significant increase in the oxidative stability index at all tested concentrations (0.1%, 0.3%, and 0.5%) compared to the control (pure oil). Evaluations were conducted at 90°C, 100°C, and 110°C with various induction times (0, 7, 15, 30, and 90 days). It was determined that EO from matico at 0.5%, at 90°C, and an induction time of 0 days, showed the highest oxidative stability index compared to longer induction times and higher temperatures. Additionally, there was a statistically significant difference among the three EO. In the sensory analysis, it was determined that although SI with the addition of EO at 0.1%, 0.3%, and 0.5% concentrations did not show significant differences ( $p < 0.01$ ), the average acceptability level was 4.55 out of a score of 10 for all samples with and without combinations. It was concluded that the addition of EO positively affected oxidative stability, improving shelf life with the addition of 0.5% EO from matico, lemon, and spearmint by 205.45%, 200.4%, and 203.4% respectively. In the sensory evaluation, it was found that there was greater acceptance of the combination of Sacha Inchi oil with lemon EO at 0.3%.

**Key words:** *Sacha inchi*, *Citrus limon*, *Piper aduncum*, *Mentha spicata*, oxidative stability, sensory evaluation, Rancimat method.

## INTRODUCCIÓN

La oxidación de aceites y grasas es el principal factor que afecta su calidad, desde una perspectiva industrial, es crucial proteger el aceite de procesos oxidativos que puedan alterar su composición y causar efectos adversos, como el desarrollo de características organolépticas no deseadas, como aroma y sabor desagradables, o la reducción de los ácidos grasos insaturados y los antioxidantes naturales, lo cual impacta la vida útil, las propiedades sensoriales y los beneficios del aceite (Montaña, s. f.). Por lo tanto, es importante buscar fuentes de aceites de alta calidad, con mayor resistencia a la oxidación, que representen una alternativa de mejorar la estabilidad oxidativa al mezclarse con otros aceites esenciales.

El aceite de Sacha Inchi (SI) posee características nutricionales excepcionales debido a su alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, dentro de este grupo, destacan los ácidos grasos Omega-3, 6 y 9, los cuales ejercen numerosos beneficios para la salud humana (Rodríguez et al., 2015). Este aceite vegetal no solo aporta energía, sino que también desempeña un rol en la prevención de enfermedades cardiovasculares, como la aterosclerosis y la trombosis. Su consumo regular contribuye al adecuado funcionamiento y estructura de las membranas biológicas, así como a la formación de fosfolípidos con un menor grado de insaturación (Robinson y Rodríguez, 2015).

Según lo mencionado anteriormente se plantearon los siguientes objetivos:

- Determinar la estabilidad oxidativa y calidad sensorial del aceite de *Plukenetia volubilis* L. mejora significativamente por acción de aceites esenciales de especies aromáticas de Jaén.
- Precisar el rendimiento de extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor de cinco plantas aromáticas provenientes de Jaén.
- Describir las características fisicoquímicas del aceite de Sacha Inchi.
- Precisar la dosis de aceite esencial que permita incrementar la estabilidad oxidativa del aceite comestible.
- Establecer la dosis adecuada de aceite esencial que permita mejorar la calidad sensorial del aceite de Sacha Inchi.



## CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál será la estabilidad oxidativa y calidad sensorial del aceite de *Plukenetia volubilis* L. por acción de cinco aceites esenciales de plantas aromáticas de Jaén?

### 1.1. Planteamiento y fundamentación del problema

Siendo los lípidos uno de los tres principales macronutrientes para establecer una dieta balanceada para los seres humanos, juegan un papel primordial como fuente de energía y aportan ácidos grasos u omegas que no son sintetizados por el ser humano y vitaminas liposolubles, por lo que es necesario adicionar a su ingesta diaria mediante la dieta alimenticia o como suplementos vitamínicos (Martínez-Pabón y Ortega-Cuadros, 2020).

Los aceites y grasas sufren interacciones químicas debido a su condición química o por inadecuada manipulación, (oxidación, hidrólisis, hidrogenación); el proceso de oxidación limita la vida útil de este grupo de alimentos y trae como consecuencias la pérdida de nutrientes, baja calidad del producto y sobre todo formación de compuestos indeseables que afectan las características organolépticas (Martínez-Pabón y Ortega-Cuadros, 2020).

Los aceites esenciales son partes líquidas etéreas que contienen mezclas complejas de diferentes compuestos químicos biosintetizados por los vegetales que originan el aroma típico a las diversas partes de la planta (Martínez-Pabón y Ortega-Cuadros, 2020). Durante años se viene investigando el exceso de radicales libres, y cómo encontrar fuentes nativas de antioxidantes que permitan mejorar la calidad de vida y prevenir enfermedades que dañan el organismo. (Avello y Suwalsky, 2006)

El aceite de SI contiene omegas que son gran aporte nutricional y funcional, por lo que es primordial incidir en su consumo ya que es un alimento saludable. Además, de su gran estudio en la industria alimentaria y farmacéutica (Chirinos et.al. 2013) los ácidos grasos poliinsaturados contenidos en el aceite son factores de auto oxidación, que pueda dar

inestabilidad oxidativa al aceite; Frankel (1998) menciona que la autooxidación de los aceites da como resultado componentes indeseables causando pérdidas a nivel nutricional, además de ser causas principales de deterioro e incrementar la velocidad de reacción, acelerando la estabilidad oxidativa de estos productos (Rodríguez et al., 2015).

La presente investigación busca mejorar la estabilidad oxidativa del SI, con la adición de una adecuada dosis de aceite esencial (AE) de cinco especies aromáticas provenientes de Jaén.

Según el informe de la SUNAT, el aceite de SI, uno de los principales productos de exportación del Perú, experimentó un incremento del 2.7% en 2019 comparado con el año anterior, consolidándose como uno de los productos más destacados en la cartera de biocomercio peruano (Sánchez Bartra, 2017). El aceite de SI contiene un mayor porcentaje de ácidos grasos insaturados (84.87%) en comparación con el aceite de oliva (79.31%) y el aceite de pescado (62.58%) (Paucar-Menacho et al., 2015).

El SI, una planta nativa de la selva peruana, es notable por sus semillas ricas en ácidos grasos poliinsaturados como los omegas 3 y 6, ácidos grasos monoinsaturados (omega 9), compuestos fenólicos, carotenoides, tocoferoles y esteroides, estos compuestos ofrecen beneficios para la salud del consumidor al ayudar en la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles, no obstante, el aceite de Sacha Inchi es vulnerable a la oxidación debido a factores como el aire, la luz, la humedad, el calor y su propia composición química. Por esta razón, se están investigando especies aromáticas que crecen silvestres en la región de Jaén, con el fin de identificar posibles alternativas o aditivos que puedan mejorar la estabilidad oxidativa del aceite de SI.

Se cuenta con una cantidad considerable de plantas nativas por caracterizar y conocer sus propiedades funcionales que se puedan aprovechar en la industria de alimentos y específicamente como antioxidante natural para los aceites vegetales. Hay diversos métodos para evaluar la estabilidad oxidativa de los aceites, siendo el método Rancimat uno de los utilizados para determinar la vida útil de estos productos. Aún queda por probar este método con la adición de aceite esencial (Rodríguez et al., 2015).

La oxidación celular y el estrés oxidativo tienen relación con el origen de grandes patologías provocadas por la degeneración celular, deterioros genéticos que causan metamorfosis acelerando procesos de cáncer y diabetes, detrimentos cerebrales, desvarío senil, Parkinson y Alzheimer, y padecimientos autoinmunes. La adición de antioxidantes naturales ayudaría a prevenir dichas patologías impidiendo el daño oxidativo en unidades vitales como el ADN o revestimientos celulares. (Hernández & Mc Cord, 2007).

La mezcla compleja de los aceites esenciales como monoterpenos y sesquiterpenos, fenilpropanoides, y compuestos alifáticos de serie corta cumplen oficios concretos y funcionales. He de considerar que durante el procesamiento se pueden descomponer los principios volátiles, por lo que es imprescindible elegir el mejor método para la extracción, así como el tratamiento inicial del material vegetal. El estudio de la especie *Handroanthus chrysanthus* como fuente de AE es un claro ejemplo del aporte de sus propiedades terapéuticas para un mejor tratamiento y calidad de vida, gracias a su actividad antibacteriana o antioxidantes. (Cañigüeral & Vila, 2007).

En la actualidad, se reconocen numerosas especies de plantas que contienen compuestos biológicamente activos, lo cual ha aumentado el interés científico en investigar sus propiedades fitoterapéuticas, como las actividades antibacteriana y antioxidante.

## **1.2. Antecedentes de la investigación**

El aceite de SI es reconocido internacionalmente por sus propiedades saludables especialmente en la industria alimentaria, sin embargo, se conoce poco sobre la caracterización química y la trazabilidad del aceite de SI virgen (Ramos, 2014). Las ventajas y beneficios que tiene el consumo del aceite virgen de SI, están en estudios relacionados a la vida útil de este aceite, evaluados de manera acelerada mediante el método Rancimat, en algunos casos hay investigaciones sobre el efecto de mezclar aceites de origen animal con aceites vegetales, pero aún no se han realizado las evaluaciones sobre el efecto antioxidante sobre algunos alimentos y específicamente sobre el aceite de SI.

En marzo del 2021, la revista Food chemistry publica el artículo “Cambios en la estabilidad, tocoferoles, ácidos grasos y capacidad antioxidante del aceite de (*Plukenetia volubilis*) durante la fritura de papas fritas”, luego de evaluar el aceite de SI en fritura de papas a temperaturas de 170 y 180°C hasta 119 y 50 minutos de exposición respectivamente, el contenido de ácidos  $\alpha$ - linolénico fue de 53,8% y linoleico de 33,4%, tocoferoles totales de 2540,1 mg/kg; los resultados de su investigación indican que el contenido de tocoferol, la estabilidad del aceite y la capacidad antioxidante (ABTS, DPPH) disminuyeron siguiendo una cinética de orden cero; luego de haber comparado con la degradación del aceite de soya, concluyen que el aceite de SI es adecuado para freír por tiempos cortos, además de mejore el valor nutricional y el sabor de los alimentos fritos con este aceite (Rodríguez et al., 2021).

En la publicación “Composición química y evolución oxidativa del aceite de (*Plukentia volubilis* L.) de Xishuangbanna (China). Han estudiado las características fisicoquímicas, la actividad de captación de radicales y la estabilidad durante el almacenamiento de aceites de SI. El estudio fue evaluado mediante cromatografía de gases (GC\_FID), obteniendo porcentajes altos en  $\alpha$ -linolénico y linoleico 43,5 y 39,6% respectivamente. Han evaluado el contenido de tocoferoles mediante cromatografía líquida HPLC/UV\_VIS. Trabajaron con acetonitrilo para HPLC 2,2 -Azobis-3-ácido etilbenzotiazolona-6- sulfónico (ABTS), reactivo de fenol de Folin-Ciocalteu,  $\alpha,\alpha$ - difenil - $\beta$  – picrilhidrazilo (DPPH),  $\alpha$ -, $\gamma$  y  $\delta$ ; estándares de tocoferol, trifluoruro de boro: metanol, hexano, hidróxido de potasio y otros reactivos químicos, todos de grado analítico y el metano para HPLC de calidad cromatográfica (Liu et al., 2014).

En la revista Scientia Agropecuaria, se publicó “Estabilidad oxidativa y estimación de la vida útil del aceite de (*Plukenetia volubilis* L.)” Los autores indican que el contenido de ácidos grasos poliinsaturados hace que limite la vida útil del aceite de SI; consideran que el método Rancimat por ser oficial y una buena herramienta predictiva para predecir el índice de estabilidad oxidativa (OSI), trabajaron temperaturas de 80, 90 y 100°C con flujo de aire de 15 L/h, extrapolando datos concluyen que a 80, 90,

100 y 110°C obtuvieron valores de  $20,512 \pm 0,02$  h,  $4,645 \pm 0,1$  h,  $1,590 \pm 0,06$  h,  $0,493 \pm 0,01$  h respectivamente, datos correlacionados con indicadores fisicoquímicos como Índice de peróxido, p-anisidina, totos y densidad. La energía de activación encontrada fue de 137,90 kJ/mol, declarándose una alta estabilidad oxidativa para el aceite de SI, proponiendo una vida útil de 3,29, 1,79 y 0,79 años a 20, 25 y 30 °C respectivamente (Rodriguez et al., 2015).

En la publicación realizada en Acta Scientiarum “Sacha Inchi as potential source of essential fatty acids and tocopherols: multivariate study of nut and Shell”, los investigadores evaluaron la composición de ácidos grasos, tocoferoles en la nuez y en la cáscara del (*Plukenetia volubilis*) a través de un análisis de datos multivariados. La nuez tuvo 48.5% de lípidos, y la cáscara un 1,2%, ambas partes tenían en común los mismos ácidos grasos, con bajas proporciones de ácidos grasos saturados indicando efectos anti-aterogénicos, anti-trombogénicos e hipercolesterolémicos. El contenido de tocoferol es mayor que otras oleaginosas, con mayor presencia de  $\alpha$  – tocoferol y se encuentra en la cáscara. Emplearon análisis multivariado permitió diferenciar y demostrar sus componentes del aceite concluyendo que es de gran aporte nutricional en la dieta humana, por las características específicas y por el uso de la cáscara (Souza et al., 2013).

La revista Food Chemistry el año 2018, en el artículo “Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Nutritional composition, biological activity and uses”, menciona que la composición de ácidos grasos estudiados mediante cromatografía de gases (GC-FID), el aceite es altamente rico en  $\alpha$ -linolénico (43,5%) y linoleico (39,6%). Los tocoferoles analizados con cromatografía líquida y detección mediante ultravioleta-visible (HPLC/UV-VIS) fue alto (161,87 mg.100 g<sup>-1</sup>). Los ensayos de DPPH y ABTS revelaron actividad captadora de radicales alta. Al año de almacenamiento los aceites manifestaron una buena duración. Los resultados permitieron orientar al consumo del aceite de SI para la población, así como al desarrollo de nuevos productos de aceites comestibles y nutracéuticos (Wang et al., 2018).

La revista Food Science Technology publica “Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) shell: an alternative source of phenolic compounds and antioxidants”, el estudio se centró en la utilización de los subproductos de la semilla de SI, cuyo objetivo fue caracterizar familias fenólicas presentes en las cáscaras, también evaluar el mejor solvente para la extracción de los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante; del contenido de compuestos fenólicos el 93.1% fueron taninos condensados y la diferencia de compuestos son ácidos fenólicos libres y ligados, taninos hidrolizables, flavonoides y otros derivados como el ácido hidroxycinámico, del tipo cumárico y lignanos. Los solventes orgánicos que contiene acetona mejoran el rendimiento de extracción de compuestos fenólicos y antioxidantes. Con este estudio se destaca el uso de la cáscara de SI como alternativa de antioxidante en la industria de alimentos funcionales (Chirinos et al., 2016).

En la revista MDPI Journal, se publicó una investigación “Modification of the Nutritional Quality and Oxidative Stability of Lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet) and Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Oil Blends”, El estudio se enfocó en analizar las propiedades físico-químicas y la estabilidad oxidativa de mezclas de aceite de tarwi y SI en proporciones variadas, con el fin de obtener mezclas con relaciones de ácidos grasos  $\omega$ -3 a  $\omega$ -6 adecuadas desde el punto de vista nutricional y con una alta estabilidad oxidativa. Se extrajeron los aceites de las semillas de tarwi y SI mediante prensado en frío. Se prepararon mezclas de estos aceites en proporciones variadas (1:4, 1:3, 1:1, 3:1, y 4:1 w:w), y se evaluaron sus características fisicoquímicas, incluyendo la composición de ácidos grasos, el contenido de tocoferoles y carotenoides, y el valor de peróxidos, la estabilidad oxidativa se determinó usando el método Rancimat a 120°C, y se realizaron análisis termodinámicos para estudiar la reacción de oxidación y predecir la vida útil de las mezclas. Como resultados se obtuvo que todas las mezclas presentaron relaciones de ácidos grasos  $\omega$ -3 a  $\omega$ -6 nutricionalmente aceptables (entre 1:0.8 y 1:1.9) y un alto contenido total de tocoferoles (entre 1834 y 688 mg/kg) gracias al aceite de SI, y la estabilidad oxidativa de las mezclas varió entre 0.46 a 8.80 horas según el método Rancimat. La mezcla 1:1 de tarwi y SI mostró

una vida útil de 1.26 años y valores termodinámicos que indican bajas tasas de reacción de oxidación y buena estabilidad. La investigación concluyó que las mezclas balanceadas de aceites de tarwi y SI pueden lograr propiedades nutricionales óptimas y una vida útil mejorada, además el estudio demostró la viabilidad de combinar aceites vegetales para obtener mezclas con mejor calidad nutricional y estabilidad oxidativa, lo que tiene potenciales aplicaciones en la industria de alimentos y nutrición (Rodríguez et al., 2022).

La revista SAGE journals, en el área internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos publican “Los compuestos fenólicos de los tubérculos de mashua andina (*Tropaeolum tuberosum*) muestran protección contra la oxidación del aceite de soja”. La vida útil de los lípidos y alimentos que contienen aceites se pueden prolongar retardando la rancidez oxidativa, ésta se puede lograr con adición de productos sintéticos o antioxidantes naturales. Dentro de los más comunes se tiene al BHT (hidroxi butil tolueno), el BHA (Hidroxi butil anisol) y TBHQ (Ter butil hidro quinona). Naturalmente contamos con los tocoferoles, ácidos ascórbicos, carotenoides, compuestos fenólicos, aminoácidos, fosfolípidos y esteroides. Todos los antioxidantes tienen las propiedades de inhibir la reacción de oxidación, eliminando los radicales libres, los antioxidantes muestran interacciones de sinergismo (tocoferoles y ácido ascórbico), oposición ( $\alpha$ -tocoferol y ácido cafeico) y simple adición. Por la toxicidad de los antioxidante sintéticos han sido restringidos en los países como Japón, Canadá y la Unión Europea, aunado a la preferencia de los consumidores por lo natural, la industria alimentaria busca fuentes naturales para ser usados como antioxidantes, los compuestos fenólicos extraídos de plantas tienen marcada eficiencia sobre la función antioxidante con diferentes grasas y aceites (Betalleluz-Pallardel et al., 2012).

En la revista Scientia Agropecuaria, se publicó “Influencia de los parámetros Rancimat sobre la determinación del índice de estabilidad oxidativa del aceite de *Sesamum indicum* L.” el estudio se centró en el análisis de la influencia de los parámetros Rancimat sobre la determinación del índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite de

Sesamum indicum L. (sésamo), el cual se extrae mediante presión en frío y se almacena bajo atmósfera de nitrógeno y refrigeración. El objetivo principal de este estudio fue determinar el índice de estabilidad oxidativa del aceite virgen de sésamo, utilizando el test acelerado de Rancimat, se examinó cómo la variación de la temperatura y el flujo de aire afectan el OSI del aceite, proporcionando así datos cruciales para mejorar su conservación y vida útil. Los resultados mostraron que la temperatura tiene una influencia significativa en el OSI, siendo más estable a temperaturas más bajas, el flujo de aire también afectó el OSI, pero en menor medida, los tiempos de estabilidad extrapolados a 25°C para los diferentes flujos de aire fueron de 214, 242, y 222 días, con energías de activación de 97.28, 98.79, y 96.86 kJ/mol, respectivamente. El estudio concluye que tanto la temperatura como el flujo de aire influyen significativamente en la estabilidad oxidativa del aceite de sésamo, con la temperatura jugando un papel más crítico, la metodología empleada proporciona una base sólida para predecir la vida útil del aceite de sésamo bajo diferentes condiciones de almacenamiento, lo cual es esencial para su conservación y uso en la industria alimentaria (Villanueva López et al., 2013).

El Institute of Food Science Technology publicó “Antioxidantes de Mashua (*Trapoeolum tuberosum*) controlan la oxidación de lípidos en aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) y carne de cerdo molida cruda” donde se resalta que la mashua al igual que la generalidad de vegetales contiene componentes fenólicos que son solubles en acetato de etilo y que tienen una propiedad potenciadora de la estabilidad oxidativa del aceite de SI y en la carne de cerdo cruda molida, probaron la actividad antioxidante con calorimetría diferencial de barrido y con pruebas aceleradas de oxidación a 55°C por 15 días cuantificándose periódicamente los peróxidos, p-anisidina, dienos y trienos. Para la evaluación de la oxidación de la carne de cerdo controlaron la temperatura de refrigeración a 4°C por 9 días y evaluaron el valor de sustancias reactivas como el ácido tiobarbitúrico, la adición de antioxidante de Mashua de 200 a 600 ppm incrementó el periodo de inducción con respecto al aceite con 200 ppm de BHT, notándose la



eficiencia de los compuestos fenólicos de la mashua para retrasar la oxidación de los lípidos en fuentes ricas de ácidos grasos poliinsaturados- (Chirinos et al., 2016).

En la publicación de la *Trends in Food Science & Technology*, se menciona a los compuestos fenólicos endógenos como componentes menores de la gran variedad de antioxidantes naturales, éstos se encuentran en los aceites comestibles en muchos casos protegiendo de la rancidez oxidativa tanto en almacenamiento como en el proceso de fritura. Los aceites de oliva vírgenes cuentan con 36 compuestos fenólicos que pueden clasificar según su estructura química en 5 grupos: ácidos fenólicos, alcoholes fenólicos, hidroxisocromanos, flavonoides y lignanos- (Wu et al., 2019).

Un estudio publicado en la Universidad Central del Ecuador “Estabilidad oxidativa del aceite micro encapsulado de la semilla de Sacha Inchi con adición de un antioxidante sintético y natural” aborda un tema crucial en el ámbito de los alimentos funcionales y la conservación de aceites ricos en ácidos grasos poliinsaturados. El objetivo principal de este estudio fue investigar la estabilidad oxidativa del aceite micro encapsulado de SI mediante la adición de antioxidantes tanto naturales como sintéticos. La metodología empleada incluyó una evaluación inicial de las características de calidad del aceite de SI, así como de su composición lipídica, posteriormente, se realizó una microencapsulación del aceite mediante el método de secado por spray, estableciendo las condiciones óptimas para este proceso, y se examinó la influencia de los antioxidantes en la estabilidad oxidativa del aceite encapsulado, utilizando pruebas de oxidación aceleradas y determinando parámetros como el índice de peróxidos, la formación de compuestos volátiles, y la eficiencia de encapsulación. Los resultados indicaron que tanto la temperatura como la composición de la emulsión y la adición de antioxidantes impactan significativamente en la estabilidad oxidativa del aceite micro encapsulado, se encontró que los antioxidantes capaces de donar protones ofrecen una mayor protección frente a la oxidación en comparación con otros tipos de antioxidantes; los parámetros óptimos para la microencapsulación incluyeron una temperatura de entrada de 180

°C y una temperatura de salida de 132 °C, con un rendimiento y eficiencia de encapsulación satisfactorios. El estudio concluye que la adición de antioxidantes, independientemente de su origen natural o sintético, mejora significativamente la estabilidad oxidativa del aceite de SI micro encapsulado. Esto sugiere que la selección del antioxidante adecuado, basada en su mecanismo de acción, es crucial para prolongar la vida útil del aceite y conservar sus propiedades nutricionales y organolépticas (Cadena, 2021).

En la revista MDPI Journal, se publicó una investigación “Determining the Arrhenius Kinetics of Avocado Oil: Oxidative Stability under Rancimat Test Conditions”, investigó la estabilidad oxidativa del aceite de aguacate utilizando el método Rancimat, centrándose en el análisis cinético de la oxidación del aceite para evaluar su estabilidad oxidativa y predecir su vida útil. El estudio determinó que el aceite de aguacate tiene una vida útil prevista de 210 días a 25°C, basándose en la medición del tiempo de inducción de la oxidación (OIT) a varias temperaturas (100, 110, 120, 130, y 140°C) y aplicando el modelo de Arrhenius para calcular la energía de activación y el factor pre-exponencial y destacan su perfil similar al del aceite de oliva (Aktar y Adal, 2019).

En la revista MDPI Journal, se publicó una investigación “Bioactive Components and Their Activities from Different Parts of Citrus aurantifolia (Christm.) Swingle for Food Development”, abarca un amplio espectro de componentes bioactivos derivados de diferentes partes de Citrus aurantifolia y sus aplicaciones potenciales en el desarrollo de alimentos, destacando especialmente su riqueza en compuestos como flavonoides, terpenoides, fenoles, Limónoides y alcaloides. Estos compuestos otorgan a C. aurantifolia una variedad de actividades biológicas, incluidas propiedades antibacterianas, antioxidantes, anticancerígenas, insecticidas y antiinflamatorias. Además, se describió la estabilidad oxidativa de estos metabolitos secundarios y cómo la microencapsulación puede mejorar esta estabilidad, controlando la liberación, solubilización y protección de los componentes bioactivos, lo que es crucial para aplicaciones en alimentos. (Indriyani et al., 2023)

En la revista MDPI Journal, se publicó una investigación “A Deep Insight in the Antioxidant Property of Carnosic Acid: From Computational Study to Experimental Analysis”, el objetivo principal del estudio fue explorar el mecanismo de inhibición del CA contra la oxidación del OA, enfocándose en un mecanismo propuesto de transferencia de un átomo de hidrógeno (HAT) para la acción antioxidante del CA hacia el OA. Utilizaron el método Rancimat, el estudio buscó analizar la estabilidad de la oxidación térmica del OA en presencia de CA y compararlo con TBHQ, un antioxidante sintético de grado alimenticio. El método Rancimat y DSC demostraron que el CA supera al TBHQ en prolongar el período de inducción de la oxidación del OA y reducir la tasa de reacción. Concluyeron que el CA es un antioxidante excepcional que puede inhibir efectivamente la oxidación térmica del OA, potencialmente sirviendo como un sustituto para el TBHQ en alimentos (Wei et al., 2021).

En la revista MDPI Journal, se publicó una investigación “Oxidative Stability and Antioxidant Activity of Selected Cold-Pressed Oils and Oils Mixtures” tuvo como objetivo analizar la composición química y la estabilidad a la oxidación de aceites prensados en frío seleccionados y mezclas de aceites. Se evaluó la calidad inicial, la composición de ácidos grasos, los compuestos fenólicos totales, y la actividad antioxidante utilizando los métodos DPPH y ABTS. Los análisis revelaron que diferentes factores de calidad afectan la estabilidad de los aceites prensados en frío, destacándose una correlación alta entre el tiempo de inducción y los valores de peróxido y TOTOX ( $r = 0.89$ ), la composición de ácidos grasos, incluyendo el porcentaje de SFA, MUFA, PUFA, y la capacidad de eliminación de radicales cationes ABTS, no afectaron significativamente la estabilidad oxidativa de los aceites, y que el aceite de comino negro resultó ser el más resistente a los procesos de oxidación, principalmente debido a su alto contenido de compuestos fenólicos (384.66 mg GAE/100 g), mientras que el aceite de linaza y sus mezclas fueron los menos estables. El estudio concluyó que varios parámetros de calidad afectan la estabilidad de los aceites prensados en frío y los coeficientes de correlación más altos se observaron entre el

tiempo de inducción, el valor de peróxido, y el indicador TOTOX (Symoniuk et al., 2022).

En la revista MDPI Journal, se publicó una investigación “Effect of Flavoring with Rosemary, Lemon and Orange on the Quality, Composition and Biological Properties of Olive Oil: Comparative Study of Extraction Processes”, el cual se enfocó en investigar el impacto de la aromatización de algunos ingredientes aromáticos, incluidos el romero, el Limón y la naranja, en las propiedades de calidad, composición química y estabilidad oxidativa del aceite de oliva virgen extra (EVOO). Se elaboraron seis aceites aromatizados utilizando concentraciones del 5% y 35% (w/w) por dos métodos, maceración convencional y adición directa de frutas o especias aromáticas. En los resultados se determinó que la aromatización, especialmente con romero, mejoró significativamente la estabilidad oxidativa de los aceites aromatizados en comparación con el aceite no aromatizado y también evaluaron cómo la adición de ingredientes aromáticos afecta la percepción sensorial del aceite. Concluyendo que la aromatización de aceite de oliva virgen extra con romero, Limón y naranja mejora no solo la estabilidad oxidativa y la composición química del aceite, sino también sus propiedades biológicas, y que el aceite aromatizado con romero demostró ser particularmente prometedor, exhibiendo notables actividades antioxidantes, antinociceptivas y gastroprotectores (Chahdoura et al., 2023).

En la revista MDPI Journal, se publicó una investigación “Modification of the Nutritional Quality and Oxidative Stability of Lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet) and Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Oil Blends”, el cual tuvo como objetivo determinar las características fisicoquímicas, la estabilidad oxidativa, la energía de activación ( $E_a$ ), la entalpía ( $\Delta H^{++}$ ), la entropía ( $\Delta S^{++}$ ), la energía libre de Gibbs ( $\Delta G^{++}$ ), Q10, y la vida útil de diferentes mezclas de aceites de tarwi y SI, comparándolos con los aceites puros de tarwi y SI. Se evaluaron la composición de ácidos grasos, la estabilidad oxidativa mediante el método Rancimat, y el contenido total de tocoferoles. Los resultados mostraron que las mezclas de aceite tenían relaciones  $\omega$ -3: $\omega$ -6 entre 1:0.8 y 1:1.9, adecuadas desde el punto de vista nutricional, y un alto contenido de tocoferoles totales (1834–688 mg/kg)

gracias al SI, y la estabilidad oxidativa de las mezclas, medida por el índice de estabilidad oxidativa (OSI) a 120 °C, varió de 0.46 a 8.80 horas. Concluyendo que la vida útil de la mezcla de tarwi/SI en proporción 1:1 fue de 1.26 años, y sus valores de entropía, entalpía, energía de activación y energía de Gibbs sugieren bajas tasas de reacción de oxidación y buena estabilidad (Rodríguez et al., 2022).

### **1.3. Formulación del problema de investigación**

La rancidez oxidativa es el mayor causante del deterioro de los lípidos y limita la vida de almacenamiento, la resistencia a la oxidación es un rubro interesante e importante para los procesadores de aceite, ya que se considera como un criterio de calidad (Alberca Erickson & Aramburu Flor, 2015) Adicionalmente a la rancidez oxidativa, existen otros factores que influyen en la estabilidad oxidativa como la composición química y condiciones de procesamiento.

Uno de los factores preocupantes para los procesadores de aceites vegetales es la resistencia a la oxidación, ya que se considera como criterio de calidad (Alberca, 2015). La estabilidad oxidativa está influenciada por la rancidez oxidativa, la composición química y los métodos de extracción (Barrera, 1998).

El SI es nativo de la selva peruana y es una de las semillas que muestran elevado contenido de ácidos grasos poliinsaturados como los omegas 3 y 6, ácidos grasos monoinsaturados (omega 9), compuestos fenólicos, carotenoides, tocoferoles y esteroides que benefician la salud del consumidor ya que previene enfermedades crónicas no transmisibles; el aceite de SI y la susceptibilidad a la oxidación por factores como el aire, luz, humedad y calor o por su propia naturaleza química, hace que se investigue más sobre especies aromáticas que crecen de forma silvestre en el ámbito de Jaén.

Jaén tiene considerables especies vegetales de las cuales se puede extraer AE con propiedades antioxidantes, que puedan ser aprovechadas por la industria alimentaria (Mera et al., 2019), sumado al valor nutricional y funcional que aporta el SI, por su riqueza en omegas (Cadena, 2021), debemos de evitar la disminución de la vida útil de los aceites vegetales

mediante la adición de antioxidantes naturales, debido a la influencia de consumo de productos cada vez más sanos, el consumo de ácidos grasos poliinsaturados es una gran alternativa para la prevención de enfermedades y mejora las condiciones de salud de las personas, el beneficio de estos alimentos funcionales se limitada por su fácil degradación frente a condiciones medioambientales, como el oxígeno y a condiciones de empleo.

Por lo que nos planteamos el siguiente problema general:

- ¿Cuál será la estabilidad oxidativa y calidad sensorial del aceite de *Plukenetia volubilis* L. por acción de cinco aceites esenciales de plantas aromáticas de Jaén?

Problemas Específicos

- ¿Cuál es el rendimiento de aceite esencial extraído por arrastre de vapor de cinco plantas aromáticas provenientes de Jaén?
- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del aceite de Sacha Inchi?
- ¿Cómo determinar la dosis de aceite esencial que permita incrementar la estabilidad oxidativa del aceite comestible?
- ¿Cómo determinar la dosis de aceite esencial que permita mejorar la calidad sensorial del aceite de Sacha Inchi?

#### **1.4. Delimitación del estudio**

La presente investigación evaluó la capacidad antioxidante proveniente de los aceites esenciales de las cinco muestras originalmente planteadas, el poder antimicrobiano que posee el material vegetal pudiera ser considerado en otro trabajo de investigación.

#### **1.5. Justificación e importancia de la investigación**

Cada vez más el consumidor busca mejorar su alimentación a través de la ingesta de alimentos saludables, mediante una nutrición a base a vegetales y la obtención de alimentos que sean funcionales de forma natural, en ese sentido instituciones gubernamentales del Perú en el exterior recomiendan considerar la oportunidad que representa el

desarrollo de nuevos productos y uso de bioactivos funcionales para los mercados complejos y tan fragmentados (MINCETUR, 2016).

Los estándares de calidad exigidos por los consumidores, que buscan en lo posible un alimento saludable es la apariencia, el sabor y color. Teniendo en cuenta los efectos antioxidantes que poseen los aceites esenciales y los procesos de rancidez de los aceites y grasas podemos llegar a entender mejor el deterioro de estos.

En la industria de aceites y grasas, la mayor preocupación son los cambios fisicoquímicos en el proceso de recolección, almacenamiento y almacenamiento, ya sea por efectos del aire, humedad, variaciones de temperatura. Debido a la composición química del aceite de SI, este aceite pierde sus propiedades organolépticas, formando compuestos no deseados que afectan el color, sabor, olor y reducen el valor nutricional, convirtiéndose en una industria alimentaria para investigar la vida útil de los aceites (Navas, 2010).

Los recursos vegetales tales como las plantas aromáticas provenientes de Jaén, proporcionan aceites esenciales que requieren ser revalorados, para ello es necesario conocer sus características fisicoquímicas, rendimiento y principalmente su aporte en la mejora de las características sensoriales y fisicoquímicas del aceite de SI, que también se cultiva ampliamente en la selva peruana; el conocimiento de estos aspectos posibilitara que el uso de estas plantas se diversifiquen aportándoles valor agregado, se mejore su aceptabilidad sensorial y se incremente la vida útil del aceite de SI.

## **1.6. Objetivos de la investigación**

### **1.6.1. Objetivo General**

Determinar la estabilidad oxidativa y calidad sensorial del aceite de *Plukenetia volubilis* L. mejora significativamente por acción de aceites esenciales de especies aromáticas de Jaén.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

- Precisar el rendimiento de extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor de cinco plantas aromáticas provenientes de Jaén.
- Describir las características fisicoquímicas del aceite de Sacha Inchi.
- Precisar la dosis de aceite esencial que permita incrementar la estabilidad oxidativa del aceite comestible.
- Establecer la dosis adecuada de aceite esencial que permita mejorar la calidad sensorial del aceite de Sacha Inchi.



## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Fundamentos teóricos de la investigación**

#### **2.1.1. Métodos de extracción de aceites esenciales**

Martínez, 2003 menciona que los aceites esenciales son mezclas complejas de sustancias orgánicas volátiles, de origen vegetal, que en su mayoría se obtienen por destilación, sin embargo, menciona que en la norma AFNOR NF T 75-006 (febrero 1998) un AE es el obtenido a partir de material vegetal por arrastre de vapor, o bien por procedimientos mecánicos a partir del epicarpio de los citrus, o por destilación en seco (Martínez, 2003).

#### **Destilación con agua o Hidrodestilación.**

Consiste en ebullición de agua, por fuego directo, camisa de vapor o camisa de aceite, en la cual se ha sumergido el material vegetal, preferiblemente en polvo, con el objeto de que el vapor de agua extraiga en mayor porcentaje de componentes (Álvarez et al., 2012). Este método por emplear temperatura de ebullición del agua provoca que algunos componentes se degraden o se pierdan. Los aceites producidos por destilación en agua son de menor calidad por lo siguiente: algunos compuestos son sensibles a la hidrólisis, otros son capaces de polimerización, los compuestos oxigenados son parcialmente solubles en el agua de destilación, siendo imposible la exclusión completa de estos compuestos y los tiempos de destilación son largos, favoreciendo al deterioro de la calidad del aceite obtenido. (Álvarez et al., 2012).

#### **2.1.2. Actividad antioxidante**

Los estudios afirman que varias especies de origen vegetal son idóneas para producir fracciones químicas que operan como antioxidantes para inspeccionar el estrés oxidativo causado por la radiación solar, oxígeno y otros factores; y pueden valer de fuente para la obtención de nuevos antioxidantes. (Altamirano, 2015)

Los antioxidantes presentes en los vegetales se pueden distinguir en dos grupos como: los antioxidantes interiores que son biosintetizados por el sujeto, y los antioxidantes exteriores que son aquellos que son adquiridos mediante ingesta alimentaria como: vitamina C (ácido ascórbico), vitamina E (tocoferoles) y vitamina A (beta-caroteno) (Altamirano, 2015). Tocoferoles (Vitamina E) son antioxidantes de principio lipofílico que se localizan nada más en los plastos y se biosintetizan nada más que en vegetales, en algunas algas y cianobacterias. Todos los tocoferoles son moléculas anfipáticas quiere decir que poseen una parte hidrofóbica que se encuentra ligada a las películas y una región polar que subsiste en la superficie de éstas; por lo que reaccionan con los grupos acilos de los lípidos poliinsaturados, estabilizan las mucosas, secuestran y atenúan varias ROS, especialmente  $\bullet\text{O}_2$  y  $\bullet\text{OH}$ . Entre ellos la vitamina E. (Altamirano, 2015).

Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid) es un semejante de la vitamina E soluble en agua, es antioxidante como la vitamina E y se utiliza en aplicaciones anatómicas o bioquímicas para disminuir el estrés oxidativo o deterioro. La acción antioxidante no logra ser medida bruscamente, sin embargo puede determinarse por los objetos del compuesto antioxidante en un juicio de oxidación controlado ((Tovar-Pérez et al.,2017). Entre los sistemas usados para declarar la actividad antioxidante se encuentran método del radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo), tratado de palidez del catión radical ABTS (2,2-azino-bis-(3-etil benzotiazolin-6-sulfonato de amonio), ensayo ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) y la efectividad antioxidante total de plasma (FRAP) (Tovar-Pérez et al., 2017).

### **2.1.3. Caracterización de aceites esenciales**

Para la caracterización de los aceites esenciales es bueno cumplir con ciertos parámetros de precisión, ya que la composición y

calidad de un AE varía de una especie vegetal a otra, inclusive dentro del mismo género de la planta, y también dentro de la misma especie dependiendo de factores medio ambientales, agrícolas etc. (Torres, 2018). Considerar siempre parámetros de caracterización, como las organolépticas (color, olor, sabor, apariencia), las físicas (densidad, punto de congelación, índice de refracción, poder rotatorio, solubilidad en etanol, punto de inflamación, rango de destilación), los químicos (índice de acidez, índice de éster, índice de saponificación, índice de acetilo, índice de fenoles) y la determinación del índice de estabilidad oxidativa.

#### **2.1.4. Método Rancimat**

El método AOCS Cd 12b-92 permite determinar el índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite, prueba automatizada del método de oxígeno activo, éste método mide el grado de oxidación del aceite cuando se le hace burbujear aire formando ácido fórmico como producto del desdoblamiento, luego conducido al agua destilada que está en la celda y con el instrumento se monitorea la conductividad eléctrica del agua (AOCS, 2022).

#### **2.1.5. Técnicas Cromatográficas**

La cromatografía es un método para la separación de componentes afines presentes en mezclas complejas, que debido a su particularidad se aplica en las diferentes ramas de la ciencia. Se establece en el deslizamiento de una muestra con una fase móvil (líquido, gas o fluido supercrítico) a través de una fase estacionaria inmisible fijada a una columna o a una superficie sólida. Las partículas del material se dispersan, dependiendo de sus propiedades, entre la fase móvil y la estacionaria. Los compuestos que se desplazan a la fase estacionaria son fuertemente retenidos por lo que presentarán un movimiento lento con respecto al flujo de la fase móvil. Y aquellos compuestos que no son afines con la fase estacionaria y se unen de forma débil presentarán un movimiento

mucho más rápido; por lo tanto se forman zonas o fases discretas que pueden analizarse de forma cualitativa o cuantitativa (Sánchez, 2007).

### **Clasificación de las técnicas cromatográficas**

La más importante se fundamenta en dos criterios uno de ellos se basa en la forma en la cual las fases se ponen en contacto, clasificando en cromatografía de columna y cromatografía en plano, y el segundo criterio se basa en la naturaleza de la fase móvil, clasificando a la técnica en cromatografía de líquidos, cromatografía de gases y cromatografía de fluidos supercríticos (Sánchez, 2007).

**Cromatografía líquida:** La cromatografía de líquidos es la técnica analítica de separación más utilizada, debido a su sensibilidad, su fácil adaptación a las interpretaciones cuantitativas exactas, es adecuado para automatizarlo, su capacidad para separar especies no volátiles o termolábiles, amplia aplicabilidad a sustancias que son importantes en la industria y a muchos campos de la ciencia (Sánchez, 2007).

**Cromatografía de gases:** Existen 2 tipos de cromatografía; la cromatografía gas-líquido (CGL) y la cromatografía gas-sólido (CGS), la primera es la que más se utiliza en los campos de la ciencia siendo abreviada como CG, la segunda se basa en la fase estacionaria sólida en que la retención de los analitos ocurre porque hay adsorción y por lo tanto su aplicación es limitada, mientras que en la cromatografía de gas-líquido el analito se divide entre una fase móvil gaseosa y una fase líquida inmovilizada sobre la superficie de un relleno sólido inerte o en las paredes de un tubo capilar (Sánchez, 2007).

**Cromatografía en Capa Fina:** Se realiza en placas de vidrios recubiertas por capas fina, siendo esta la fase estacionaria, las partículas con semejantes a las de la cromatografía por adsorción, de reparto en fase normal y en fase inversa. Se deposita una gota de la muestra cerca de uno de los extremos de la placa y esta es arrastrada a lo largo de la placa (fase estacionaria) por una fase móvil (Sánchez, 2007).

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Lípidos**

Los lípidos son macro biomoléculas cuyas características excepcionales son la insolubilidad en agua y la solubilidad en solventes orgánicos —benceno, cloroformo, hexano, entre otros. En su estado sólido son llamados grasas y líquidos a temperatura ambiente son denominados aceites; con frecuencia, se usa el término grasas para referirse en general a los lípidos. (Cabezas-Zabala et al., 2016)

Los lípidos son moléculas orgánicas que están constituidas por carbono e hidrógeno y en menor proporción por oxígeno. También se pueden contener fósforo, azufre y nitrógeno. Debido a su estructura, son moléculas hidrófobas, pero son solubles en solventes orgánicos como bencina, benceno y cloroformo. Los lípidos cumplen diferentes funciones en los organismos vivos, entre ellas la de reserva energética (como los triglicéridos), estructural (como los fosfolípidos de las bicapas) y reguladora (como las hormonas esteroideas). (Domínguez Alba & Jiménez Gonzales, 2017).

### **2.2.2. Compuestos Mayoritarios**

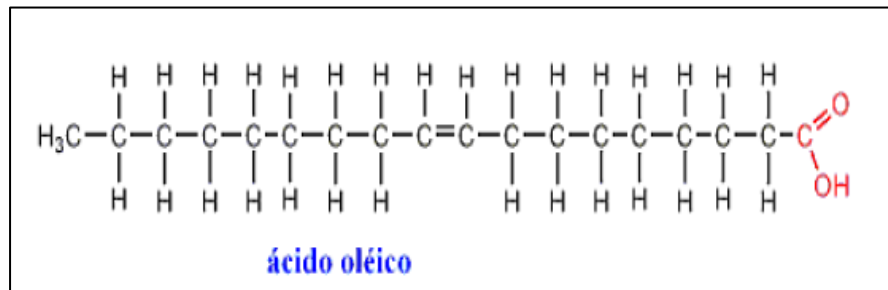
#### **Ácidos Grasos**

Con este nombre se designa a dichos elementos constituidas por una larga cadena hidrocarbonada que posee en un extremo un

grupo ácido (-COOH). La composición de ácidos grasos se diferencia de un aceite u otro dependiendo de la zona de producción del aceite de oliva. Las causas principales que afectan a la composición en ácidos grasos son: latitud, condiciones climáticas, variedad y grado de madurez de las aceitunas recogidas, siendo el más claramente destacado el tipo de cultivar o variedad. (Jiménez-Herrera, 2011)

### Figura 1

*Molécula de ácido oleico*



*Nota.* Obtenido de Jiménez-Herrera, 2011

Una de las características del aceite de oliva es su perfil de ácidos grasos, con un gran contenido en ácido oleico (C18:1) (55-84%), y la presencia de los ácidos linoleico (C18:2) (3-21%) y linolénico (C18:3) (0.1-1.5%). Los restantes ácidos grasos más abundantes son el ácido palmítico (C16:0) (6-21%), el ácido palmitoleico (C16:1) (0.3-3.5%) y el ácido esteárico (C18:0) (0.3-5.3%). Los ácidos linoleico y linolénico son ácidos grasos esenciales que el organismo debe consumir en su dieta, aunque su presencia en los aceites vegetales los hace muy susceptibles a ser oxidados. El aceite de oliva, rico en ácido oleico, es el más resistente frente a la oxidación a comparación de otros aceites de semillas más polinsaturados (Casanovas-Castro, 2012).

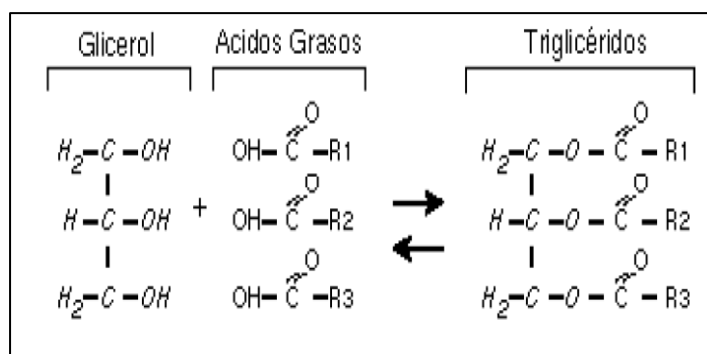
## Triglicéridos

Una de las particularidades que determinan la estructura grasa de los aceites de oliva virgen es la composición de los triglicéridos. Debido a una cuestión de configuración espacial, en la posición central del glicerol siempre se encuentran ácidos grasos con una o más insaturaciones, debido a que las moléculas que contienen insaturaciones tienen una conformación plana, mientras la conformación de las moléculas saturadas es tetraédrica. De las veinte especies de triglicéridos identificados, solo algunas están en proporciones significativas en el aceite de oliva: OOO (43.5%), POO (18.4%), OOL (6.8%), POL (5.9%) y SOO (5.1%) (O: ácido oleico, P: ácido palmítico, L: ácido linoleico, S: ácido esteárico) (Casanovas-Castro, 2012).

Los triglicéridos, son el producto de la unión de una molécula de glicerina con tres ácidos grasos. Si estos sufren una biosíntesis incompleta, dan lugar a los diglicéridos y monoglicéridos, es decir, la unión de una molécula de glicerina con dos o un ácido graso respectivamente. Estos pueden también aparecer por una hidrólisis (rotura de los enlaces) del aceite, originando los ácidos grasos libres. Ambos se encuentran en cantidades muy pequeñas, pero son considerables por su repercusión en la calidad del aceite y en lo que se conoce como acidez (Ruiz-Pineda, 2016).

### Figura 2

*Representación esquemática de la formación de un triglicérido*



Nota. Obtenido de Jiménez-Herrera, 2011

### **Mono- y Di- glicéridos**

Estos compuestos se encuentran en mínimas cantidades normalmente en el aceite de oliva, pero su presencia puede ser debida a alteraciones del aceite, manifestando baja calidad. La presencia de mono- y di-glicerol es debida principalmente a la hidrolisis de los triglicéridos (lipolisis o rancidez hidrolítica), incrementando la acidez total y produciendo deterioro del aroma originados por ciertos ácidos libres (De La Torre-Robles, 2015).

El almacenamiento alargado de los frutos en la almazara sin molturar o bien un almacenamiento incorrecto en grandes montones, que da lugar al aumento de temperatura hace que el aceite obtenido tenga una acidez mayor por la acción enzimática de las lipasas endógenas y la de los microorganismos. Se debe ser cuidadoso en las fases previas, realizando la recogida de los frutos, el transporte a la almazara y el almacenamiento con las precauciones necesarias que disminuyan el deterioro de los frutos (Jiménez et al, 2011).

### **Fosfátidos**

Los principales fosfátidos que aparecen en el aceite de oliva son la fosfatidilcolina, fosfatidietanolamina, fosfatidilinositol y fosfatidilserina. El ácido oleico es el ácido graso que predomina en la estructura de los fosfolípidos. El aceite de oliva recién producido contiene proporciones reducidas de fosfolípidos (40-135 mg/kg) (De La Torre-Robles, 2015).

## **2.2.3. Compuestos Minoritarios**

### **Esteroles y terpenos**

Los principales esterol es que se encuentran en el aceite de oliva son el  $\beta$ -sitosterol,  $\Delta^5$ -avenasterol y el campesterol, aunque en menor proporción se presencia el estigmasterol, colesterol, brasicasterol, sitostanol, etc. Las grasas animales contienen mayoritariamente colesterol, mientras que los AO, contienen



mayoritariamente  $\beta$ -sitosterol (*Lukic et al., 2013*), cuyos efectos sobre la regulación de los niveles del colesterol es significativo debido a su semejanza estructural con el colesterol, que lo desplaza de las micelas en el interior del intestino, lo que ocasiona una disminución de la absorción del colesterol procedente de la dieta y, como consecuencia, esta acción se traduce en una disminución de las concentraciones de LDL (*Moreno et al., 2015*).

El principal hidrocarburo terpénico del AO es el escualeno, precursor de los esteroides. Es precursor del colesterol y tiene actividad antioxidante. El escualeno se encuentra en los AOV y refinados (*Rigane et al., 2013*).

### **Alcoholes alifáticos**

Los alcoholes alifáticos se caracterizan por su elevada polaridad. La intensidad de la señal del ion molecular en los alcoholes, tanto de cadena lineal como ramificada, disminuye al aumentar el peso molecular; incluso llegando a no aparecer alcoholes terciarios. Esto se debe a la sencilla descomposición de la molécula a través de reacciones iniciadas en el propio hidroxilo ionizado. Los procesos de fragmentación más frecuentes suelen ser la deshidratación y la ruptura de un enlace carbono que porta el grupo hidroxilo. Los alcoholes dan señales importantes de  $m/z$  45, 59, 73 (*Sparkman et al., 2011*).

Existen alcoholes alifáticos lineales con número par de átomos de carbono (C18, C28), principalmente hexacosanol, octacosanol y tetracosanol. En los aceites de oliva extraídos con disolventes (aceite de orujo de oliva) hay más alcoholes alifáticos que en aceites de oliva virgen (*De La Torre-Robles.2015*).

### **Esteres no glicéridos**

Tal como se mencionó antes, la gran parte de los ácidos grasos presentes en el AOV se encuentran esterificados con el glicerol. Sin embargo, cantidades mínimas de éstos conforman ésteres con diferentes alcoholes (como metanol, etanol y otros alcoholes de

cadena larga), también con esteroides (como  $\beta$ -sitosterol, campesterol, estigmasterol) y con alcoholes triterpénicos. La concentración total de este grupo de compuestos se encuentra en el rango de 100-250 mg/kg (Reboredo-Rodríguez et al., 2012).

Los ésteres alquílicos de ácidos grasos (FAAEs) están compuestos por los ésteres metílicos (FAMEs) y etílicos (FAEEs), que se producen por las malas prácticas de cosecha y/o en el almacenamiento de las aceitunas antes de la obtención del aceite de oliva. Esto causa la ruptura de la drupa y permite el contacto con microorganismos (formación de etanol) y/o enzimas lipolíticas y pectolíticas (formación de metanol). La concentración total de FAMEs es el sumatorio de las concentraciones de palmitato de metilo, oleato de metilo y linoleato de metilo; y la concentración total de FAEEs es el sumatorio de palmitato de etilo, oleato de etilo y linoleato de etilo (Romero del Río, 2015).

### **Compuestos volátiles**

Los compuestos volátiles son los encargados primordiales del aroma propio de los aceites de oliva y tienen un efecto de gran valor en la determinación de la calidad del producto. De hecho, el aceite de oliva virgen es el alimento en el que la legislación es más exigente en cuanto a los controles organolépticos que ha de superar. La fracción aromática está formada por compuestos de naturaleza química diversa como alcoholes, ésteres, cetonas y aldehídos entre otros. Los compuestos responsables del aroma frutado del aceite se forman a partir de los ácidos grasos poliinsaturados linoleico y linolénico a través de una cascada de reacciones llamada ruta de la lipooxigenasa (Casanovas-Castro, 2012).

En las aceitunas se encontraron acilhidrolasa, lipoxigenasa e hidroperóxido-liasa. Los triglicéridos y fosfolípidos son hidrolizados a ácidos grasos, así los poliinsaturados son formados por la acción de la acilhidrolasa. De los ácidos linoleico y linolénico, se forman 9-hidroperóxido y 13-hidroperóxido, debido a la acción de la

lipoxigenasa. La hidroperóxido-liasa divide el 13-hidroperóxido del linoleico y linolénico para formar los aldehídos volátiles hexanal y cis-3-hexenal (Jiménez, 2011).

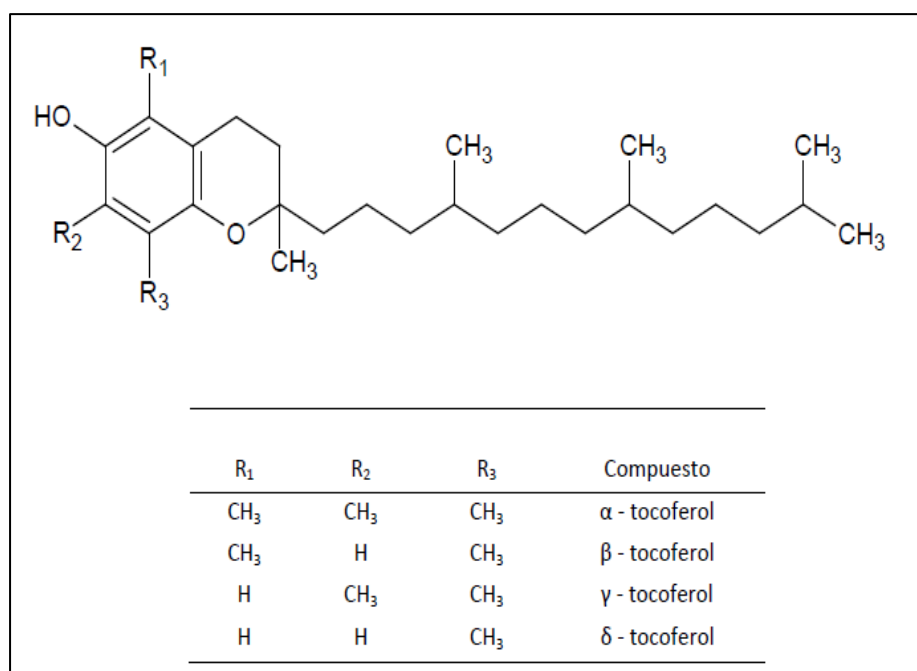
### **Tocoferoles**

Los tocoferoles son un grupo de compuestos poliprenoides los cuales en su estructura tienen un sistema cíclico (llamado cromano) y una cadena poliprenoide saturada. Los diferentes tocoferoles se determinan dependiendo de los sustituyentes que presentan en el anillo del cromano. Existen ocho compuestos en la serie de tocoferoles derivados del 6-cromanol. Esta serie está constituida por cuatro compuestos con una estructura tocol que tiene una cadena saturada isoprenoide de C16 y cuatro compuestos con una estructura tocotrienol que tiene tres enlaces dobles en la cadena C16. La estructura más abundante de tocoferol, en el aceite de oliva, es  $\alpha$ -tocoferol, representando el 95% del total de los tocoferoles.  $\alpha$ -tocoferol es el primordial homólogo de las formas de vitamina E que se encuentra en el aceite de oliva. El 5% sobrante comprende las estructuras  $\beta$ -,  $\gamma$ - y  $\delta$ -tocoferol (Figura 04). Dichos compuestos ayudan a dar estabilidad al aceite de manera significativa (Casanovas-Castro, 2012).

El contenido de tocoferoles sirve para manifestar adulteraciones del aceite de oliva con aceites de semillas ya que el aceite de oliva tiene mayor contenido de  $\alpha$ -tocoferol (Jiménez et al., 2014).

### Figura 3

#### Mecanismo de los tocoferoles



Nota. Obtenido de Casanovas-Castro, 2012

### Pigmentos

El aceite de oliva virgen tiene en su composición pigmentos naturales a los cuales se le atribuye su color. El contenido en clorofilas (color verde) se reduce mientras la aceituna va madurando, esto se debe a que se degradan a feofitinas (color marrón). Los aceites que se obtienen de aceitunas verdes presentan un color verdoso, mientras que los que son producidos de aceitunas maduras presentan un color más dorado. Esto va a depender del grado de madurez y de la variedad de la aceituna (De La Torre-Robles, 2015).

Las clorofilas y los carotenoides son los encargados del color del aceite de oliva virgen. Los pigmentos clorofílicos son responsables del color verdoso del aceite, siendo las feofitinas (productos de oxidación de las clorofilas) los constituyentes mayoritarios, mientras que los encargados de brindar el color amarillento al aceite son los carotenoides. El carotenoide más abundante es la luteína, seguida

del  $\beta$ -caroteno y las xantofilas. El contenido de pigmentos en un aceite depende en gran medida va a depender en gran parte de la variedad, grado de madurez de la aceituna, del proceso productivo de obtención del aceite y de las condiciones de almacenamiento del mismo (García-Rodríguez, 2013).

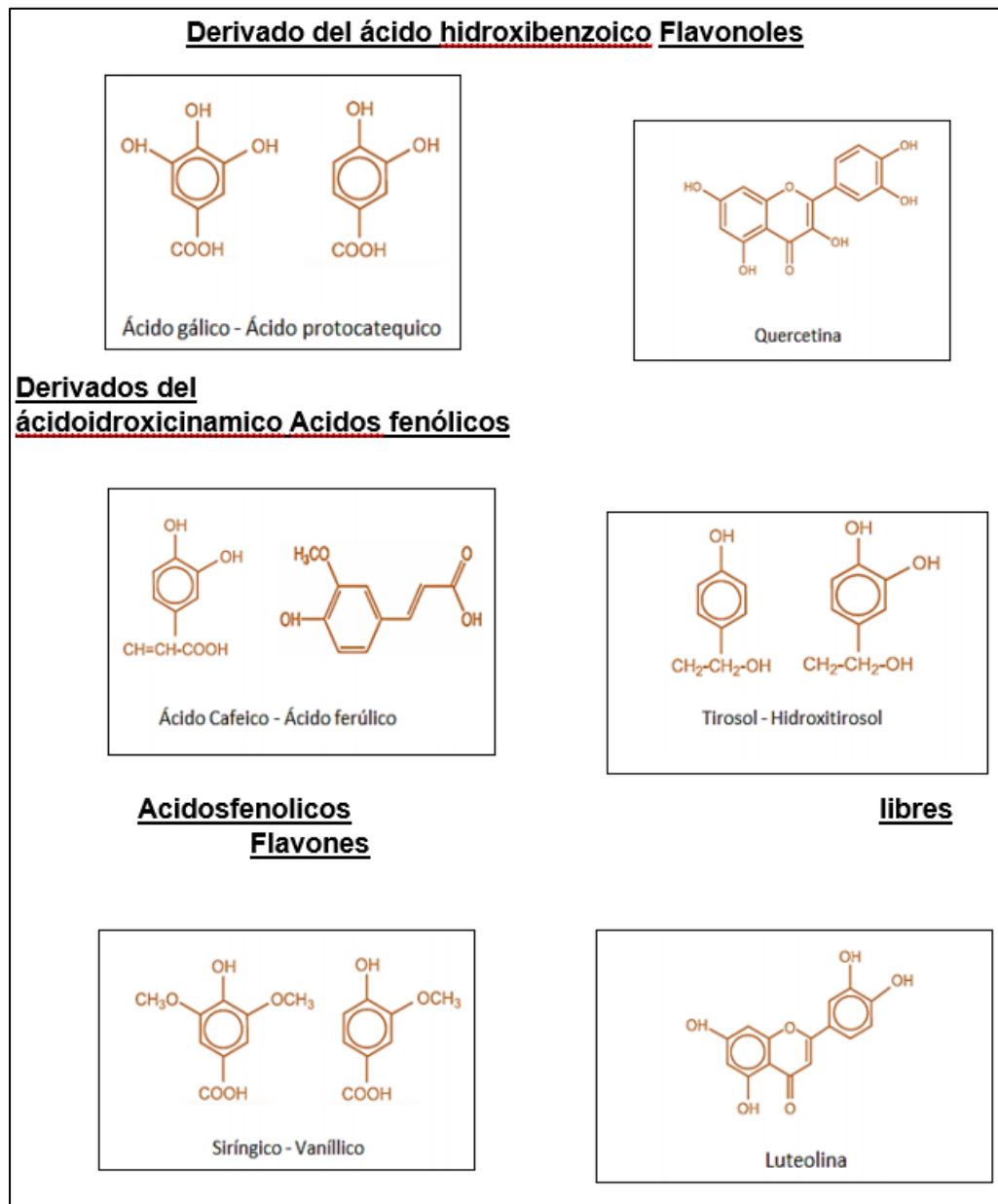
### **Fenoles**

En el aceite de oliva se han descrito más de 36 compuestos fenólicos con estructuras diferentes (*Bajoub et al., 2015*). Éstos se pueden agrupar en: ácidos fenólicos, fenoles simples, derivados de oleuropeína, flavonoides, lignanos e hidroxí-isocromonas (Boskou, 2015; Romero del Rio, 2015).

El perfil de compuestos fenólicos del aceite de oliva virgen se encuentra en gran parte vinculado con el sabor amargo y picante, típico del aceite de oliva y, además de ello, condiciona su estabilidad oxidativa (Reboredo-Rodríguez, 2012). Los fenoles forman parte de la llamada fracción polar del aceite de oliva, que se separa del aceite mediante una extracción con mezclas de metanol y agua. El contenido en polifenoles del aceite de oliva es muy variante, según estudios realizados por diversos autores suele variar entre 50 y 500 ppm (expresado en ácido cafeico), siendo de menor cantidad cuando el aceite procede de frutos muy maduros o cuando está oxidado (Mercado-Mercado et al., 2013). Principales grupos de compuestos polifenólicos se muestran en la figura 04.

## Figura 4

### Principales grupos de compuestos polifenólicos



Nota. (Mercado-Mercado et al., 2013)

#### 2.2.4. Aceite esencial

Martínez (2003) en la octava edición de la Farmacopea Francesa (1965), menciona a los aceites esenciales (esencias = aceites volátiles) como: "Los productos de composición muy compleja que contienen principios volátiles se encuentran en las plantas más comunes. o no modificados en su elaboración". Los aceites

esenciales se encuentran en todos los órganos de las plantas como hojas, flores, cortezas, troncos, raíces y frutos, incluso si todos los órganos de una misma especie contienen aceites esenciales, la composición de dicho aceite puede variar en función de su ubicación.

Ochoa et al., 2017 indica que los aceites esenciales poseen terpenos, éstos son comercialmente interesantes por su uso como aromas y fragancias en alimentación y cosmética, o por su importancia en la calidad de productos agrícolas; tienen importancia medicinal por sus propiedades anti carcinogénicas, antiulcerosas, antimalariales, antimicrobianas, etc.

Considerado a todos los de origen orgánico o inorgánico, que se encuentre de manera natural, que pueda ser aislado o tratado por el ser humano. Término que no puede ser aplicado a productos cuya estructura molecular haya sido modificada (Mata et al., 2012). La importancia de estos productos reside en la adecuada función biológica en la que son biosintetizados. Los productos naturales son estructuras biológicamente validadas a través de la coevolución con el resto de los seres vivos, está formado por todos los compuestos de la naturaleza mientras que en sentido más limitado es sólo un metabolito secundario (Gutierrez & Estévez, 2009).

### **Composición química de los aceites esenciales**

Los aceites esenciales son mezclas compuestas y con constituyentes que pertenecen a dos grupos diferenciados por comienzos biogénicos diferentes: el grupo de terpenoides, mono-sesquiterpenos, y compuestos aromáticos derivados del fenilpropano, poco frecuente. (Bruneton, J, 2001) En los aceites esenciales tanto los mono-, los sesquiterpenos y los fenilpropanos están en forma libre, han investigado los ligados a carbohidratos, ya que se considera que son los antecesores inmediatos del aceite como tal. (Martinez A., 2003) Los aceites esenciales que dependen de su método de extracción pueden ser extraídos acompañados de

ceras o esteroides que se encuentran de forma natural en el reino animal (por ejemplo, colesterol, que es el principal y el más importante), en el reino vegetal (por ejemplo, sitosterol) y en hongos y levaduras (por ejemplo, ergosterol), siendo el más abundante el sitosterol (o  $\beta$ -sitosterol), seguido por el campesterol y el estigmasterol. (Meco López et al., 2016).

### **Propiedades Organolépticas de los aceites esenciales**

El análisis sensorial consta de cuatro parámetros básicos como el color, el olor, el sabor y la textura. El color es un indicador de las reacciones químicas que tienen lugar, el olor se considera uno de los más difíciles de definir y caracterizar, ya que está dado por sustancias volátiles heterogéneas, ya sean naturales o presentes durante el procesamiento, el sabor viene dado por las papilas gustativas que identifica la lengua que puede reconocer sabores como dulce, salado, amargo y ácido, y la textura se evalúa a través de estudios reológicos que se enfocan en analizar aspectos como viscosidad, grosor, dureza o rigidez (Esquivel & Aguilar, 2007).

### **Propiedades físicas de los aceites esenciales.**

Los aceites esenciales se determinan mediante sus propiedades físicas como: densidad, viscosidad, índice de refracción y actividad óptica. Los aceites esenciales son líquidos a temperatura ambiente, volátiles a diferencia de los aceites fijos, raramente son coloreados; su densidad es menor al del agua. Cuentan con un índice de refracción alto y desvían la luz polarizada. Son liposolubles y solubles en los disolventes orgánicos comunes. Aunque son insolubles en agua pueden ser arrastrados en el vapor de ella, sin embargo son solubles como para comunicarle un olor neto (Martínez, 2003).

#### **2.2.5. Antioxidantes**

Retardan el desarrollo de aromas desagradable como producto de la rancidez, los antioxidantes, pueden inhibir o retardar la oxidación



de dos formas: inhiben captando radicales libres, en cuyo caso se denominan antioxidantes primarios o por mecanismos y los que retardan son los que no tienen relación con la captación de radicales libres conocidos como antioxidantes secundarios (Pokorný & Schmidt, 2001).

### **Antioxidantes sintéticos**

Los más empleados son los compuestos fenólicos como el hidroanisol butilado (BHA), el hidroxitolueno butilado (BHT), la butilhidroquinona terciaria (TBHQ), y los ésteres del ácido gálico, como el galato de propilo (PG), su aplicación es restringida al 0.02% del contenido de grasa o aceite del alimento. Los antioxidantes fenólicos contienen grupos alquílicos lo cual mejora la solubilidad en grasas y aceites. El antioxidante más adecuado para aceites vegetales es el TBHQ, el BHA y el BHT son estables al calor se usan mayormente en cocina y frituras. Los galatos por su comportamiento frente a los alimentos y formar productos oscuros con los iones de hierro y su sensibilidad al calentamiento se limitan para la fritura. Productos cuestionados por muchos años de acuerdo a estudios toxicológicos, por eso se recomienda su uso controlado (Pokorný & Schmidt, 2001).

### **Antioxidantes naturales**

Se encuentran en plantas, microorganismos, hongos e incluso tejido animal. La mayoría son compuestos fenólicos entre los cuales están los tocoferoles, flavonoides y los ácidos fenólicos. Los tocoferoles (toc) y los tocotrienoles (toc-3) son los más conocidos y usados, el representante principal de este grupo es el  $\alpha$ -tocoferol que tiene la capacidad antioxidante más baja en aceites comestibles, esos actúan donando un hidrógeno del grupo hidroxilo al radical peroxilo, el radical formado se estabiliza por el electrón sobre la estructura del anillo aromático. A concentraciones bajas ( $\leq 50 \mu\text{g/g}$ ), el  $\alpha$ - tocoferol es más efectivo que el  $\gamma$  – tocoferol, pero a concentraciones altas ( $\leq 100 \mu\text{g/g}$ ) es al revés.

Los flavonoides otro grupo de origen vegetal, su distribución básica es de dos anillos aromáticos unidos por una cadena alifática, se encuentran en todos los tejidos vegetales e incluyen a las flavonas, flavonoles, isoflavonas, flavononas y las chalconas, ejemplo de los flavonoides son la apigenina, crisna, luteolina, discetina, quercetina, miricedtina, morina y kemferol; las agliconas son más activas sobre la oxidación en productos y en bicapas de fosfolípidos. Los flavonoides actúan como antioxidantes captando radicales libres incluido el anión superóxido, radicales peróxido lipídicos y radicales hidroxilo, también actúan como moderadores de oxígenos singlete, por quelación de metales y por separación de la lipooxigenasa. (Triguero, 2018).

Según (Torres, 2018):

1. Los antioxidantes que rompen las cadenas por reacción con radicales peroxilo. Son compuestos reductores con enlaces O-H y enlaces N-H débiles, que actúan con los radicales peroxilo para la formación de radicales intermedios de escasa actividad. Se tiene a los fenoles, naftoles, hidroquinonas, aminofenoles, diaminas.
2. Los antioxidantes rompen las cadenas por reacción con radicales alquilo. Compuestos que aceptan los radicales alquilo. Estos son eficaces en dosis muy pequeñas de di-oxígeno y en polímeros sólidos. Se encuentran las quinonas, nitronas, radicales estables, nitroxilo y nitrocompuestos carotenoides.
3. Antioxidantes que descomponen hidroperóxido. Estos reaccionan con hidroperóxidos sin la formación de radicales libres. Se encuentran a sulfuros, fosfitos, carbamatos, algunos complejos de metales, proteínas, aminoácidos.
4. Antioxidantes que desactivan metales. Sujetando compuestos metálicos a compuestos inactivos. Se tiene a los óxidos de hidroperóxidos, diaminas, hidroxiácidos.
5. Los antioxidantes se regeneran en las reacciones de terminación de la cadena múltiple se da mayormente en los polímeros,

aminas aromáticas, radicales nitroxilo y compuestos que poseen metales de valencia variable.

6. Algunos antioxidantes pueden interactuar con los radicales  $R^*$  y  $RO_2^*$  y tener acciones combinadas. Una molécula de inhibidor puede tener dos o más grupos funcionales, cada uno de los que puede someterse a su propia reacción; se tiene al antraceno, metilenequinona, carbonatos, tiofosfatos
7. Sinergismo de antioxidantes. Cuando dos o más inhibidores recíprocamente mejoran sus efectos inhibitorios, es una acción sinérgica. Mencionan al ácido cítrico, ácido ascórbico.

### **Evaluación de la actividad antioxidante**

La acción antioxidante es evaluada por la resistencia a la oxidación de los lípidos contenidos en su estructura, la mayoría de los métodos hacen seguimiento a los pasos de oxidación de los lípidos, los cuales pueden dividirse en:

Descenso del sustrato, consumo de oxígeno

Formación de productos de oxidación a partir del sustrato oxidable.

### **Formación o decaimiento por el sondeo de radicales libres**

La acción antioxidante está en función al tiempo (velocidad de reacción), tipo de sustrato, temperatura, cantidad de antioxidante, porcentaje de otras sustancias (oxígeno peróxidos, presencia de otros antioxidantes o prooxidantes) y el coeficiente de partición del antioxidante en el sustrato (Padial, 2021)

Hay diferentes pruebas física y químicas avanzadas para el seguimiento de la oxidación lipídica entre estos se tiene: la ganancia en peso, consumo de oxígeno (headspace), análisis cromatográfico por cambios en reactantes, titulación yodométrica, colorimetría por formación de complejos de hierro, transformada FTIR, espectrometría para dienos y trienos conjugados, TBARS, medidas del índice de estabilidad oxidativa (Rancimat), resonancia electrónica de espín (EPR), Calorimetría Diferencial de Escaneo (DSC) y resonancia magnética nuclear (NMR), absorbancia del

radical oxígeno (ORAC), inactivación del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH).

### **Método del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH)**

La acción antioxidante se determinó por primera vez por Brand Willams (1995), consiste en una decoloración del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), dicho radical disminuye en presencia de antioxidantes revelando un cambio de color en la solución. (Jurado Teixeira et al., 2016). La actividad antioxidante se expresa como porcentaje de inhibición, lo cual corresponde a la cantidad de radical DPPH neutralizado por el extracto a una determinada concentración, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ INHIBICIÓN} = \%I = \left( \frac{A-A1}{A} \right) \times 100$$

Cálculo del porcentaje de inhibición del DPPH

A: Absorbancia del blanco

A1: Absorbancia del sistema (muestra)

Fuente: (Laboratorio Química Analítica, Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México et al., 2016).

### **2.2.6. Cinética del Deterioro de los Alimentos y Predicción de la Vida Útil**

Las pruebas aceleradas se han usado de forma abundante para observar la estabilidad de los aceites vegetales, con el fin de predecir con un cierto margen de incertidumbre, la estabilidad o pérdida de calidad de un alimento. Al incrementar la temperatura de almacenamiento el nivel de oxidación crece, de tal modo que la totalidad de la prueba se puede realizar en un lapso más corto. La velocidad de las reacciones que se producen permite estimar la vida útil del alimento en función de las características de calidad evaluadas. (Nolazco-Cama et al, 2015)

La cinética de deterioro de los alimentos se puede expresar matemáticamente por medio de ecuaciones de relación. Aplicando

los principios fundamentales de la cinética química, la alteración en la calidad de los alimentos puede, en general, expresarse como una función de la composición de los mismos y de los factores ambientales, (Casp *et al* (1999) citado en Villanueva *et al*, 2013):

$$\frac{dQ}{dt} = F (C_i, E_j) \quad (1)$$

Donde  $C_i$ , son factores de composición, tales como composición de algunos compuestos de reacción, enzimas, pH, actividad de agua, así como población microbiana y  $E_j$  son factores ambientales tales como temperatura, humedad relativa, presión total y parcial de diferentes gases, luz, etc. La mayoría de las reacciones estudiadas en los alimentos, se han caracterizado como de orden cero o de primer orden., (Casp *et al* (1999) citado en Villanueva *et al*, 2013):

### 2.2.7. Efecto de la Temperatura

Las reacciones químicas son acompañadas por efectos de calor y si éstos son bastante grandes, permiten originar un cambio significativo en la temperatura de la reacción, por tanto, estos efectos deben ser también tomados en cuenta. (Heldman y Lund, 1992) Generalmente la constante de velocidad de reacción acrecienta con un aumento de la temperatura. (Casp *et al* (1999) citado en Villanueva *et al*, 2013).

La temperatura, aparte de afectar fuertemente a las constantes de velocidad de las reacciones, es el único factor que, la mayoría de las veces le es impuesto externamente al alimento y no puede ser controlado por un envase apropiado (Piedrahita-Correa, 2015).

La influencia de la temperatura sobre la constante de velocidad de reacción en un proceso elemental se puede describir usando la ecuación desarrollada por Svante Arrhenius, en 1889 (Piedrahita-Correa, 2015).

$$k = k_0 e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (2)$$

Donde,  $k_0$  es el factor pre exponencial o factor de colisión (s-1),  $E_a$  es la energía de activación (kJ.mol-1), R es la constante de los

gases ideales ( $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ) y  $T$  es la temperatura absoluta (K) (Piedrahita-Correa, 2015).

Al aplicarse logaritmo a la ecuación anterior se tiene:

$$\ln k = -\frac{E_a}{R} \ln k_0 + \frac{1}{T} \quad (3)$$

Donde existe una relación lineal entre el logaritmo de la constante de velocidad y la inversa de la temperatura absoluta. La pendiente será el cociente de la energía de activación y la constante de los gases perfectos (Piedrahita-Correa, 2015).

### **2.2.8. Cinética del Deterioro de los Aceites**

Las reacciones de oxidación que se dan en los alimentos pueden ocasionar la degradación de compuestos funcionales y nutricionales, y pueden dar paso a que surjan compuestos tóxicos y propiedades sensoriales desagradables que van a hacer que los productos, en este caso el aceite deje de ser de gran interés y atracción para el consumidor. Éstas son originadas por los llamados radicales libres que originan una serie de reacciones en cascada que finaliza con la formación de compuestos volátiles y no volátiles causantes de los olores y sabores característicos de un producto rancio (Piedrahita-Correa, 2015).

El procedimiento de oxidación es conducido por reacciones de radicales que implican las estructuras de ácidos grasos insaturados. Durante una fase de inducción inicial no se forman prácticamente ningún producto secundario. Esto es seguido abruptamente por una fase de oxidación que se caracteriza por un rápido incremento en el índice de peróxidos y la formación de productos volátiles, los cuales, según la base del método, consisten en ácido fórmico (Focke et al., 2016).

#### **Radicales Libres**

Los radicales libres son estructuras de alta reacción, esto se debe a que posee un electrón desapareado en su orbital más externo. Dentro de éstas podemos describir las llamadas especies reactivas

de oxígeno (EROS) y nitrógeno (ERNS) que incorporan tanto a radicales libres como a especies no radicalarias que pueden generar con facilidad radicales libres y/o ocasionar deterioro oxidativo. Dado que presenta elevada inestabilidad, las especies reactivas causan daño oxidativo sobre proteínas, lípidos, carbohidratos y ácidos nucleicos lo que se ha relacionado con la aparición de enfermedades crónicas tales como arteriosclerosis, diabetes, cáncer y enfermedades neurodegenerativas, entre otras (Piedrahita-Correa, 2015).

### **Fuente de los radicales libres**

Se sabe que hay al menos cuatro formas principales de reacciones químicas que puede llevar a cabo la formación de un radical libre y, de esa forma, alterar una biomolécula:

1. Robo de hidrógeno. En este mecanismo, el radical libre interactúa con otra molécula que sirve como un donador de hidrógeno. Como consecuencia, el radical libre se une a un átomo de hidrógeno y se hace más estable entretanto que la donante del hidrógeno se transforma en un radical libre.
2. Adición. En donde, el radical libre es unido a una molécula con más estabilidad, lo que convierte a la molécula receptora en un radical libre.
3. Terminación. Para este caso dos radicales libres reaccionan entre sí para formar un compuesto más estable.
4. Desproporción. Consiste en que dos radicales libres idénticos reaccionan entre ellos mismos: uno actúa como donador y el otro como receptor de electrones, de este modo se forman dos moléculas más estables (Gutiérrez-Salinas et al., 2014).

### **Toxicidad de los radicales libres**

Los procesos comprometidos en las reacciones químicas de los radicales libres son especialmente del tipo oxidación o reducción de moléculas vecinas. Para estos términos la oxidación implica la pérdida de uno o más electrones por parte de un átomo o molécula,

en tanto que la reducción significa que gana electrones. De esta manera, un oxidante o agente reductor actúa como “vigilante” previniendo la oxidación de átomos o moléculas vecinas al actuar como un “donante” o “receptor” de electrones. En el momento que se da una reacción en la cual los radicales libres están involucrados se dice que existe una reacción de oxidación-reducción o redox; en donde el radical libre “pierde” o “gana” electrones de un átomo o molécula que a su vez “gana” o “pierde” electrones (Gutiérrez-Salinas et al., 2014).

Las proteínas celulares también son blancos molecular y altamente susceptibles a los RLO. Debido a la reactividad de éstos con las moléculas insaturadas o que contienen azufre, las proteínas con proporciones de gran cantidad de triptófano, tirosina, fenilalanina, histidina, metionina y cisteína pueden sufrir alteraciones promoviéndose su oxidación, y como consecuencia, formación de entrecruzamientos de cadenas peptídicas y fenómenos de agregación, que se ven favorecidos por la formación de puentes disulfuro intra e intermoleculares que evitan el desarrollo normal de sus funciones (transportadores iónicos de membranas, receptores y mensajeros celulares, enzimas que regulan el metabolismo celular, etc.). Una vez lesionadas las proteínas se instaura hidrólisis acelerada, conduciendo a lisis o degradación tisular (Guerra-López, 2009).

A nivel del DNA, los  $\text{OH}\cdot$  median el daño asociado con el estrés oxidativo generando numerosas lesiones en diversos procesos (oxidación, metilación, desaminación, despurinación, oxidación de azúcares) que causan aberraciones cromosómicas causadas por los cambios químicos de sus bases nitrogenadas y los azúcares, promoviendo el desarrollo de mutaciones y carcinogénesis o la pérdida de expresión por lesión al gen específico, lo que conlleva a desarreglo metabólico o a apoptosis celular (Guerra-López, 2009).



### **2.2.9. Oxidación de aceites**

Principalmente el motivo que causa la modificación de los alimentos grasos es la rancidez, la cual aparece a causa de procesos oxidativos tales como la termo-oxidación, fotooxidación o autooxidación, siendo este último proceso el de mayor importancia en el deterioro de estos alimentos. La oxidación lipídica es uno de los dilemas que más dañan a la calidad y perjudican las propiedades del aceite, la sufren tanto sus componentes químicos mayoritarios como minoritarios, y originan alteraciones de sus propiedades sensoriales y nutricionales (Díaz-Montaña, 2017).

La velocidad de oxidación de los lípidos depende de diferentes factores entre los que comprenden la temperatura, la presencia de inhibidores o catalizadores y la naturaleza o composición de la grasa o aceite. Estos factores son de gran importancia para definir el tipo de oxidación sufrida por el lípido. Dependiendo del tipo de oxígeno involucrado, las reacciones de degradación lipídica pueden clasificarse en reacciones de autooxidación, cuando se dan en presencia de oxígeno triplete ( $3O_2$ ) y oxidación foto-sensibilizada cuando ocurren por acción de oxígeno singlete ( $1O_2$ ). (Piedrahita-Correa, 2015)

#### **Proceso de oxidación de lípidos**

Se da durante la elaboración del aceite y el almacenamiento e incluye los procesos de autooxidación y fotooxidación. La oxidación lipídica se da a

través de la interacción de los ácidos grasos de los triacilgliceroles con oxígeno molecular dando lugar a la formación de hidroperóxidos por un mecanismo de radicales libres. La existencia de trazas de metales de transición o la exposición a la luz pueden catalizar la descomposición de los hidroperóxidos, que son los productos de oxidación primaria, produciendo compuestos volátiles y no volátiles. Ciertos de estos compuestos volátiles, principalmente aldehídos, son los encargados del defecto sensorial rancio (Garrido-Delgado et al., 2015; Kotsiou et al, 2015).

La oxidación lipídica es una de las modificaciones más importantes de los alimentos porque puede ocurrir en cualquiera de las etapas de su elaboración, procesado y conservación; y perjudica a la calidad y seguridad de los alimentos. Los efectos desfavorables para la salud que se atribuyen a los compuestos de oxidación lipídica están peculiarmente vinculados con el inicio y desarrollo de procesos crónicos y degenerativos como las enfermedades cardiovasculares y el cáncer (Márquez, 2013).

Los fenómenos de peroxidación lipídica se basan en una serie de reacciones en cadena las cuales se dividen en tres etapas principales: Iniciación, propagación y terminación. El grado de las alteraciones sufridas por los lípidos durante este proceso depende de sus características fisicoquímicas; principalmente de su grado de insaturación, y de la presencia de factores promotores de oxidación de los cuales sobresalen la exposición al oxígeno y la luz, así como también la presencia de iones metálicos y temperaturas elevadas (Roman et al., 2013).

### **Mecanismo de oxidación de lípidos: tradicional cadena de los radicales libres**

El proceso de autooxidación se inicia a través de una serie de reacciones en cadena, que tienen lugar a través de radicales libres, generando una variada gama de nuevos componentes que se distinguen en sus pesos moleculares tanto como en sus polaridades (Figura 9). El principal sustrato de la oxidación son los ácidos grasos insaturados y el oxígeno. El mecanismo consiste en cuatro fases: iniciación, propagación, ramificación y terminación. Hay varios sistemas catalíticos que estimulan la oxidación de los lípidos; estos son luz, temperatura, enzimas, metales, metaloproteínas, pigmentos y microorganismos. (Morales et al, 2013)

## CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Hipótesis central de la investigación

La estabilidad oxidativa y calidad sensorial del aceite de *Plukenetia volubilis* L. mejora significativamente por acción de aceites esenciales de especies aromáticas de Jaén.

### 3.2. Variables e indicadores de la investigación

#### 3.2.1. Variables independientes

- Material Vegetal para extraer AE, hojas de: Limón real (*Citrus Limón*), Matico (*Piper anucum*), Paico (*Chenopodium ambrosioides*), Hierba buena (*Mentha spicata*), Naranjilla (*Solanum quitoense*).
- Dosis en porcentaje de AE a adicionar al aceite vegetal comestible (0.1; 0.3; 0.5)

#### 3.2.2. Variables dependientes

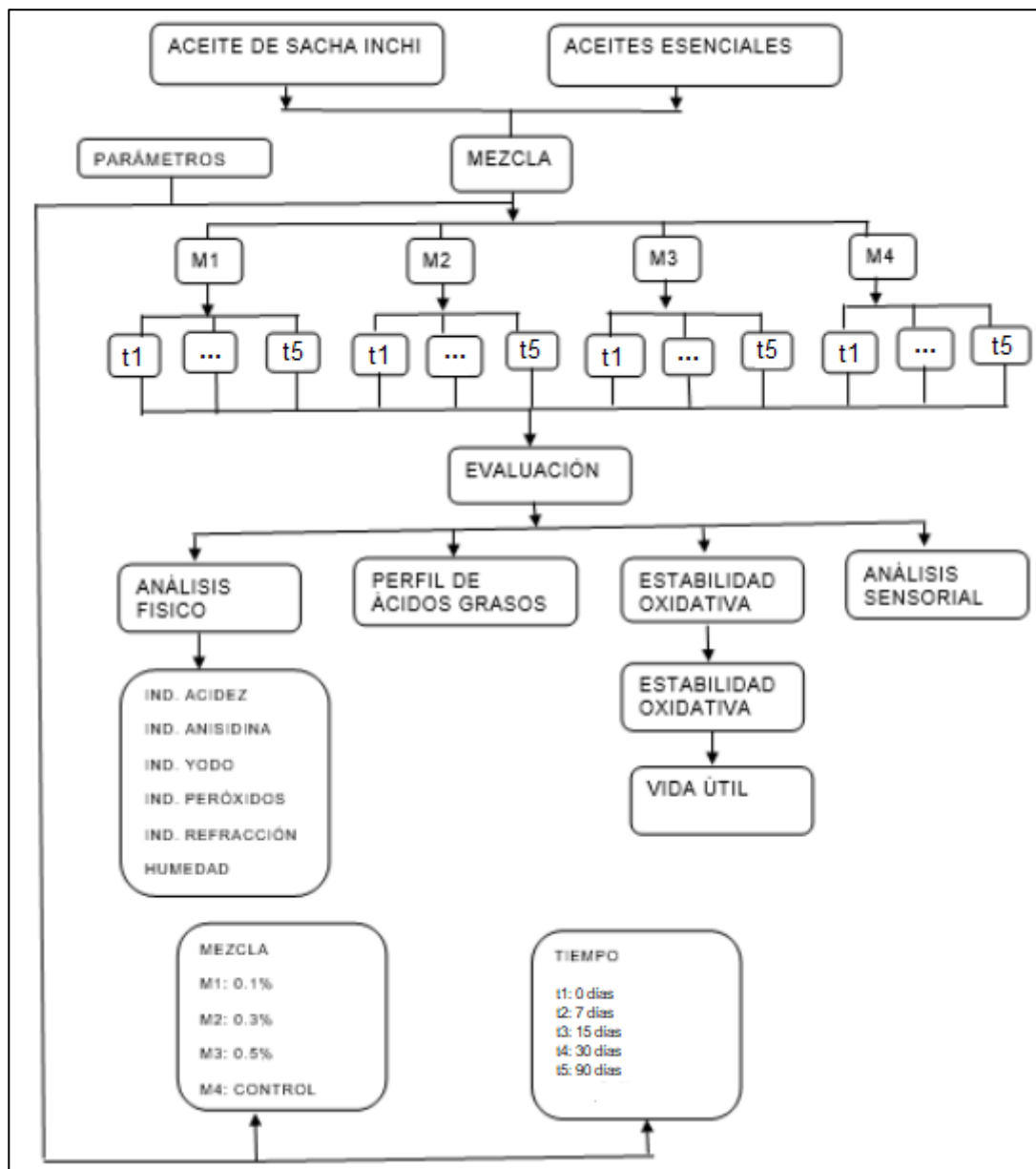
- Variación de las características fisicoquímicas del aceite de Sacha Inchi con adición de aceite esencial.
- Variación del aceite de Sacha Inchi con adición de aceite esencial en almacenamiento (simulado en pruebas rápidas).
- Índice de estabilidad oxidativa del aceite de Sacha Inchi con adición de aceite esencial.
- Calidad sensorial del aceite de Sacha Inchi con adición de aceite esencial.

### 3.3. Métodos de la investigación

#### 3.3.1. Diagrama de flujo experimental

Figura 5

Esquema de la evaluación para el diseño experimental (AGREGAR T1 AL T5)



Nota. Elaboración propia

El estudio utilizó un diseño factorial 5x3x5 donde se evaluaron cinco aceites esenciales (SI, M1, M2, M3, M4), en tres concentraciones (0.1%, 0.3%, 0.5%) y en cinco tiempos (0, 7, 15, 30, 90 días), resultando en un diseño completo de 75 tratamientos, este diseño permitió la identificación de efectos principales y la interacción entre los tipos de aceites esenciales, las concentraciones y los tiempos de almacenamiento.

**Tabla 1**

*Experimento Factorial DBCA con arreglo Factorial de 4x3x5*

		OSI				
		SI	M1	M2	M3	M4
		(Control)	(0.1,0.3,0.5%)	(0.1,0.3,0.5%)	(0.1,0.3,0.5%)	(0.1,0.3,0.5%)
Tiempo	0 días					
	7 días					
	15 días					
	30 días					
	90 días					

*Nota.* Cada celda de OSI en la tabla representa la media del índice de estabilidad oxidativa para la respectiva combinación de mezcla y tiempo.

### 3.3.2. Controles y Análisis realizados

#### **Análisis fisicoquímicos del aceite de Sacha Inchi**

##### **- Densidad**

De acuerdo con la Norma CODEX para aceites vegetales (CODEX STAN 210-1999).

##### **- Índice de refracción**

De acuerdo al método de la AOCS 28 Cc-7-25 (AOCS, 2017a).

##### **- Índice de acidez y ácidos grasos libres**

De acuerdo al método de la AOCS Cd 3d-63 (AOCS, 2017b).

- **Índice de peróxido**

De acuerdo al método de la AOAC 965.33 (AOAC, 2023).

- **Índice de yodo**

Se realizó por el método de Wijs, de conformidad con ISO 3961:2018 o NMKL 39 (2003) (ISO, 2018).

- **Índice de p-Anisidina**

De acuerdo con el método de la AOCS-Cod. 18-90 (AOCS, 2017c).

### **Determinación de capacidad actividad ( ABTS y DPPH)**

Para medir la capacidad antioxidante, el 2-2'-azino-bis (3-ácido etilbenzotiazolina-6 sulfónico) (ABTS) y el radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH). Se realizaron pruebas de capacidad de eliminación de cationes en fracciones hidrofílicas (HF) y lipofílicas (LF), Varas et al. (2020) de la siguiente manera: exactamente 2 g de aceite y 2 ml de n-hexano fueron sometidos a vórtice juntos hasta la completa disolución. Posteriormente, se añadieron 2 ml de metanol-agua 80:20 y vórtice. La mezcla se centrifugó a 987 g durante 10 min. Finalmente, la fase metanólica (ubicada en la parte inferior del tubo de centrifuga) y la fase n-hexano (que se encuentra en la parte superior del tubo) se separaron y se midieron sus volúmenes. Las pruebas ABTS y DPPH se realizaron según lo descrito por Yilmaz et al. (2015) Los resultados se informan como mmol Trolox equivalente (TE) / kg de aceite (Varas et al., 2020; Yilmaz et al., 2015).

### **Perfil de ácidos grasos**

La composición de ácidos grasos del aceite de SI se determinó de acuerdo al método de los esteres metílicos de ácidos grasos (AOAC, 2015), el cual consistió en pesar 0.025 g de aceite y hacer reaccionar con 1.5 ml de NaOH 0.5 N a temperatura de 90°C en un baño maría (FOOS, WB1024) por 5 minutos,

posteriormente se enfrió a temperatura de 30°C agregándose 2,0 ml de trifluoruro de boro calentándose a 100°C por 30 min, nuevamente se enfrió añadiéndose 1 ml de isooctano y 5 ml de solución saturada de NaCl, todo bajo agitación y cubierto constantemente con nitrógeno. La identificación de los componentes se determinó en el cromatógrafo de gases (Shimadzu, modelo GC-2010, Japón), equipado con un detector de ionización de llama (FID) y un auto muestreador Shimadzu AOC-20Si. Una columna capilar de sílice SP Rt™ -2560 (100 m x 0.25 mm con 0.20 µm film) se utilizó helio como gas portador a una velocidad de flujo de 30 ml/min y presión de 261,5 kPa. El volumen de inyección fue de 1µl. Temperatura del inyector fue programada a 225°C y el detector a 250°C. La temperatura del horno fue programada: temperatura inicial 100°C por 4 min, luego a 240°C con una velocidad de 3°C/min por 10 min.

### **Índice de estabilidad oxidativa (OSI) y vida útil**

Se realizó empleando el método de la AOCS Cd 12b-92 (2022) en el Metrohm de Rancimat 743, el cual consta de las siguientes etapas: se pesó  $3.0 \pm 0.1$  g de aceite en cada tubo de reacción. Se colocaron los electrodos (lavados rigurosamente con agua destilada, luego con alcohol 98° y rociados con nitrógeno). La celda de medida de la conductividad estaba integrada en la tapa del recipiente de medida. Al colocar la tapa sobre el recipiente, la celda se sumergió en el agua en una posición correcta. Se trabajó con un flujo de aire de 20 L/h (cte), a temperaturas de 150, 160 y 170°C y volumen de agua destilada de 60 ml.

Para la determinación de vida útil se extrapolo la relación de tiempo de inducción y temperatura, obteniendo un estimado del tiempo de almacenamiento a 20°C, 25°C y 30°C (AOCS, 2022).

$$\log(OSI) = AT + B$$

**Donde:**

**OSI:** Índice de Estabilidad Oxidativa (h)

**T:** Temperatura (°C)

**A:** Constante

**B:** Constante

### **3.4. Diseño o esquema de la investigación**

#### **3.4.1. Disposición experimental**

El estudio fue diseñado para evaluar la influencia de diferentes aceites esenciales en la estabilidad oxidativa y calidad sensorial del aceite de *Plukenetia volubilis* L. (Sacha Inchi), para ello, se estableció un diseño experimental factorial que contempló los siguientes componentes:

##### **Materias Primas:**

Aceite de SI: Utilizado como base para el estudio.

Aceites Esenciales: Seleccionados según su prevalencia y características aromáticas en la región de Jaén, Perú.

##### **Mezclas:**

M1: Aceite de SI con 0.1% de AE.

M2: Aceite de SI con 0.3% de AE.

M3: Aceite de SI con 0.5% de AE.

M4: Control, Aceite de SI sin AE.

##### **Períodos de Tiempo:**

t1: Evaluación inmediata, 0 días.

t2: Evaluación a corto plazo, 7 días.

t3: Evaluación a medio plazo, 15 días.

t4: Evaluación a largo plazo, 30 días.

t5: Evaluación a largo plazo, 90 días.

##### **Evaluaciones Realizadas:**

Análisis Físicoquímicos: Medición de índices como acidez, anisidina, yodo, peróxidos, refracción y humedad.



Perfil de Ácidos Grasos: Caracterización de la composición lipídica y su posible alteración por acción de los aceites esenciales.

Estabilidad Oxidativa: Medición de la estabilidad mediante el Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI) y la vida útil estimada del aceite.

Análisis Sensorial: Evaluación de las características sensoriales como aroma, sabor y apariencia general, a cargo de un panel de cata entrenado.

### 3.4.2. Matriz del experimento

Se tiene la matriz experimental, basada en un diseño de bloques completos al azar (DBCA), para la evaluación de la estabilidad oxidativa y calidad sensorial del aceite de *Plukenetia volubilis L.* con adiciones de diferentes aceites esenciales (AE) y tiempos de evaluación.

**Tabla 2**

*Matriz Experimental para Evaluación de Estabilidad Oxidativa y Calidad Sensorial del Aceite de Plukenetia volubilis L.*

Aceite	Arrastre de vapor	
	Dosis (%)	Tiempo (días)
AE1	0.1	0
	0.3	7
	0.5	15
		30
		90
AE2	0.1	0
	0.3	7
	0.5	15
		30
		90
AE3	0.1	0
	0.3	7
	0.5	15

		30
		90
	0.1	0
	0.3	7
<b>AE4</b>	0.5	15
		30
		90
	0.1	0
	0.3	7
<b>AE5</b>	0.5	15
		30
		90

---

*Nota.* La matriz detalla la inclusión de cinco aceites esenciales distintos (AE1, AE2, AE3, AE4, AE5) con tres concentraciones diferentes (0.1%, 0.3%, 0.5%) y evaluaciones en cinco puntos de tiempo (0, 7, 15, 30, 90 días). Las dosis faltantes en los días 30 y 90 se asumen constantes y no se repiten en la tabla para conservar claridad y evitar redundancias.

La matriz presentada debe ajustarse en caso de que existan particularidades en los tratamientos para los días 30 y 90, o si la dosis de los aceites esenciales varía para estos tiempos. Cada entrada de dosis y tiempo representa una combinación única que será evaluada en el experimento.

### **3.4.3. Diseño estadístico**

Los datos recolectados fueron analizados utilizando ANOVA de medidas repetidas en el caso de los tiempos de almacenamiento y ANOVA de dos factores para los tipos de aceites esenciales y las concentraciones, se consideró un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con un nivel de significancia del 5%.

#### **Modelo Estadístico**

El modelo estadístico para el análisis de varianza (ANOVA) tuvo la siguiente forma:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

- $Y_{ijkl}$  es la respuesta observada del  $l$ -ésimo ensayo para la  $i$ -ésima dosis del AE, la  $j$ -ésima concentración, y el  $k$ -ésimo tiempo.
- $\mu$  es la media general de todas las observaciones.
- $\alpha_i$  es el efecto del  $i$ -ésimo AE.
- $\beta_j$  es el efecto de la  $j$ -ésima concentración.
- $\gamma_k$  es el efecto del  $k$ -ésimo tiempo.
- $(\alpha\beta)_{ij}$  es el efecto de interacción entre el  $i$ -ésimo AE y la  $j$ -ésima concentración.
- $(\alpha\gamma)_{ik}$  es el efecto de interacción entre el  $i$ -ésimo AE y el  $k$ -ésimo tiempo.
- $(\beta\gamma)_{jk}$  es el efecto de interacción entre la  $j$ -ésima concentración y el  $k$ -ésimo tiempo.
- $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$  es el efecto de interacción triple entre el AE, la concentración y el tiempo.
- $\varepsilon_{ijkl}$  es el error aleatorio asociado con el  $l$ -ésimo ensayo, asumido normalmente distribuido con media cero y varianza constante.

Para los resultados de la estabilidad oxidativa, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, para evaluar la distribución de los datos y la homogeneidad de las varianzas y posteriormente la prueba no paramétrica de Friedman con el análisis post hoc Durbin-Conover para determinar la existencia de diferencias significativas entre las muestras.

De igual manera para los resultados sobre la calidad sensorial, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, para evaluar la distribución de los datos y la homogeneidad de las varianzas, y posteriormente se aplicó el análisis paramétricos Bonferroni entre categorías para determinar las diferencias significativas entre las muestras.

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

Todas las plantas aromáticas de la provincia de Jaén

#### **3.5.2. Muestra**

52 Kg de hojas de cada planta: *Citrus Limón*, *Piper aduncum*, *Chenopodium ambroisioide*, *Mentha spicata*, *Solanun quitoense*, de los distritos y centros poblados aledaños a la provincia de Jaén.

### **3.6. Actividades del proceso investigativo**

La investigación consta de dos etapas: en la etapa 1 se realizó la extracción de los aceites esenciales de las cinco especies aromáticas Limón real (*Citrus Limón*), Matico (*Piper aduncun*), Paico (*Chenopodium ambroisioides*), Hierba buena (*Mentha spicata*), Naranjilla (*Solanum quitoense*), se secó las hojas a medio ambiente bajo sombra, para luego extraer el AE mediante la técnica de arrastre de vapor, luego se procedió a la caracterización fisicoquímica, química mediante la caracterización según el método de cromatografía de gases acoplado a espectrómetro de masas; también se determinó la capacidad antioxidante mediante el método de radical DPPH; en la etapa 2 se probó tres dosis expresadas en porcentajes (0.1, 0.3 y 0.5) de AE sobre el aceite de SI, y a estas combinaciones se les evaluó fisicoquímicamente (los índices de: acidez, p- anisidina, yodo, peróxidos, refracción), se evaluó el perfil de ácidos grasos, y determinar la estabilidad oxidativa y evaluación sensorial. En la etapa 3 se consolidó la base de datos en Excel y se realizó el análisis estadístico descriptivo e inferencial según los objetivos específicos.

### **3.7. Técnicas e instrumentos de la investigación**

#### **3.7.1. Análisis Físicos y químicos del aceite de Sacha Inchi y sus mezclas**

##### **Humedad**

Se realizó con el método 934.06 (37.1.10) del A.O.A.C (1996).

##### **Índice de refracción**

Se realizó con el método de la AOCS Cc 7-25.

##### **Índice de acidez – Método Oficial de la AOAC**

Se realizó con el método AOCS Cd 3d-63 (AOCS, 2017b).

##### **Índice de peróxidos – Método Oficial AOAC**

Se realizó con el método AOAC 2001. 11.

##### **Índice de Yodo – Método AOCS Cd 1-25**

Se realizó con el método AOCS Cd 1-25.

##### **Índice de p-anisidina – Método AOCS Cd 18-90**

Se realizó con el método AOCS Cd 18-90 (AOCS, 2017c).

##### **Índice de Estabilidad Oxidativa**

Se utilizó el método AOCS Cd 12b-92 en el Metrohm Rancimat 743 (AOCS, 2022).

##### **Estimación del tiempo de vida útil**

Se utilizó el método de extrapolación del Rancimat mediante la dependencia de los valores de OSI con respecto a la temperatura:

$$\log(OSI) = AT + B$$

**Donde:**

**OSI:** Índice de Estabilidad Oxidativa (h)

**T:** Temperatura (°C)

**A:** Constante

**B:** Constante

### **Determinación de la Energía de Activación**

Se determinó mediante la dependencia de los valores de OSI con respecto a la temperatura.

$$\log(OSI) = \ln\left(\frac{-\ln(1 - \alpha')}{Z}\right) + \frac{E_a}{R} \frac{1}{T}$$

**Donde:**

**OSI:** Índice de Estabilidad Oxidativa (h).

**T:** Temperatura (°C).

**Ea:** Energía de Activación (KJ/mol).

**R:** Constante ideal de los gases.

**Z:** Factor de Arrhenius.

**α':** grado de transformación de moléculas insaturadas.

### **Determinación de ácidos grasos en aceite de la mezcla SI y AE**

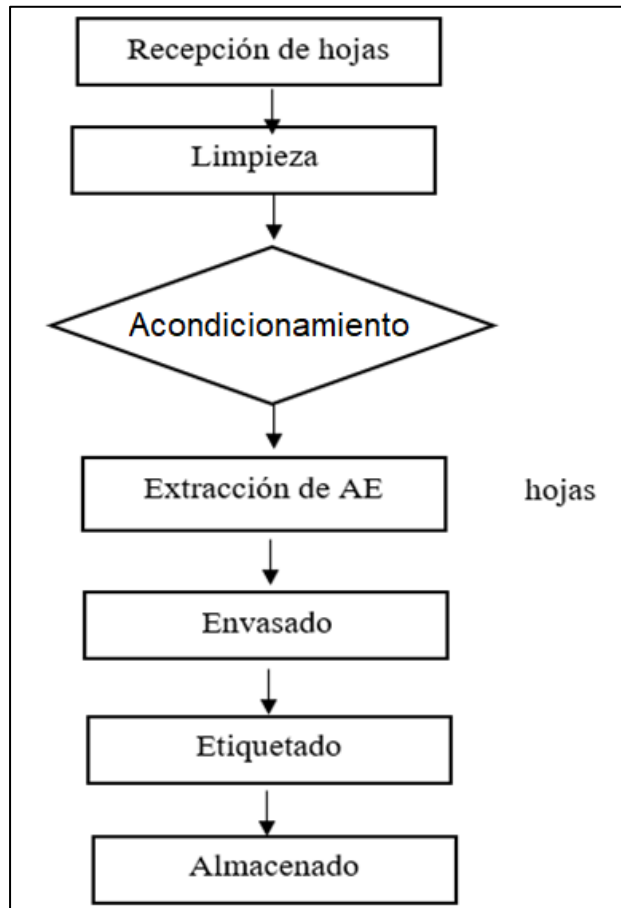
La determinación se realizó mediante el método de la AOAC método oficial 991.39 en el cromatógrafo.

Equipo: Rancimat, Marca: Metrohm, Modelo 743.

### 3.8. Procedimiento para la recolección de datos

**Figura 6**

*Esquema del proceso para la extracción de aceite esencial por arrastre de vapor*



*Nota.* Obtenido de Rodríguez, (2015)

#### **Materia prima**

Las hojas de Citrus Limón, Piper anucum, Chenopodium ambroisoides, Mentha spicata, Solanum quitoense fueron recolectadas de forma aleatoria, haciendo uso de guantes y tijeras, colocadas en bolsas de polietileno de baja densidad. Se recolectaron 10 kg de cada una, de las especies mencionadas.

#### **Limpieza**

Se retiró todo material extraño como paja, piedrecillas, tierra, insectos, entre otros, que se encontraron con las hojas.

### **Acondicionamiento**

Consistió en seleccionar las hojas de cada especie, sobre una mesa cubierta de papel craft, el secado es al medio ambiente, bajo sombra, aprovechando las altas temperaturas de la zona (T° ambiente en Jaén bajo sombra de 28 -30°C) por 8 hr, para reducir la humedad hasta 10 - 12%, luego se procede a empaquetar para su traslado al laboratorio de extracción.

### **Extracción de AE**

El método indica extraer el AE con vapor de agua de manera continua, se introduce 5 kg de hoja/Bach, durante 8 hr, a una presión de 1 atm, 90°C (van Baren et al., 2022).

La composición química del AE extraído se determinó mediante cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS) equipada con una columna capilar RTX-5 MS. Por otro lado, los grupos funcionales de las diferentes moléculas contenidas en el AE fueron analizados y confirmados por espectrometría de infrarrojos de Fourier (FT/IR-4700)

### **Envasado de AE**

Para conservar el AE de las 5 especies, se envasó en viales de vidrio de 5 ml pavonados (color ámbar), se adicionó gas nitrógeno, y fueron tapadas y protegidas con papel aluminio, hasta su caracterización y aplicación sobre el aceite de SI.

### **Etiquetado**

Se codificó las muestras, con datos como: especie, fecha y hora de extracción.

### **Almacenado**

Se guardó a bajas temperaturas (refrigeración), hasta su evaluación.



### 3.9. Técnicas de procesamiento y análisis de los datos

- El análisis de los datos obtenidos en la presente investigación se realizó mediante una serie de técnicas estadísticas y metodológicas diseñadas para evaluar de manera exhaustiva la estabilidad oxidativa y la calidad sensorial del aceite de *Plukenetia volubilis* L., así como el efecto de los aceites esenciales seleccionados sobre estas propiedades.
- Se evaluaron los componentes presentes en los aceites esenciales “Limón real”, “Matico” y “Hierba buena”, por medio de arrastre de vapor utilizando cromatografía de gases, donde se siguió un método de dilución estándar y una calibración lineal para determinar las concentraciones desconocidas en las muestras basadas en un estándar conocido.

Para todos los análisis se definió el estándar al 99.5% de pureza disuelto para hacer una solución de 995000 ppm (lo que es igual a mg/L) y se preparó diluciones para hacer la curva de calibración. Después, se tuvo diluciones a 200 ppm, 1000 ppm, 2000 ppm, 4000 ppm, y 5000 ppm, y se determinó sus correspondientes áreas bajo la curva en la cromatografía. Posteriormente utilizando estas áreas y las concentraciones, se generó una curva de calibración con una ecuación lineal caracterizada por una pendiente (Slope) y un intercepto (Intercept), con un coeficiente de correlación (R<sup>2</sup>) que indica la calidad del ajuste de los datos de calibración.

La concentración de una muestra se calculó utilizando la fórmula:

$$\text{concentración} = \frac{\text{Area} - \text{Intercepto}}{\text{Pendiente}}$$

El cual permitió determinar el porcentaje de concentración de las muestras (Ver en resultados 4.2.2).

- Los resultados de los índices fisicoquímicos como el índice de peróxidos, anisidina, yodo y acidez, se procesaron utilizando métodos específicos para cada parámetro, proporcionando una comprensión integral de la calidad y estabilidad del aceite de SI en respuesta a la adición de los aceites esenciales.

- Para el Índice de anisidina (IAN) se consideró la absorbancia de la solución de aceite después de la reacción con anisidina (As), se restó la absorbancia de la solución de aceite antes de la reacción (Ab), y luego se normalizó con el peso del aceite (W), aplicando también un factor de 25 y un multiplicador de 1.2 para (As).
- Para el Índice de Peróxidos (IP) en las muestras de aceite de SI con Hierba Buena al 0.3% y con Limón al 0.5% y al 0.3%. El IP es una medida de los peróxidos y otros compuestos primarios de la oxidación en aceites y grasas, un valor alto de IP indica que ha habido una oxidación significativa que puede afectar la calidad y estabilidad del aceite. La fórmula para el IP fue: Índice de Peróxido=  $(N \times V \times 1000) / P$

Donde:

N es la concentración de tiosulfato de sodio en moles por litro.

V es el volumen de la disolución de tiosulfato de sodio utilizado en la valoración (en mililitros), corregida por el volumen usado en el blanco (Gasto Muestra–Gasto Blanco)

P es el peso de la muestra de aceite en gramos.

- Para el Índice de Yodo, la cual es una medida de la cantidad de enlaces dobles insaturados en grasas y aceites; fue un indicador de la susceptibilidad de un aceite a la oxidación (los aceites más insaturados tienden a oxidarse más rápidamente). La fórmula para calcular el Índice de Yodo fue: Índice de Yodo=  $((B - M) \times N \times 12.69) / P$

Donde:

B es el volumen de tiosulfato de sodio para el blanco (ml).

M es el volumen de tiosulfato de sodio para la muestra (ml).

N es la concentración de tiosulfato de sodio (normalmente en moles por litro).

P es el peso de la muestra de aceite (en gramos).

- Para el Índice de Acidez de las muestras de aceite de SI. El Índice de Acidez es un indicador del grado de frescura y calidad del aceite, reflejando la cantidad de ácidos grasos libres presentes, que típicamente aumentan con la oxidación o degradación del aceite.

La fórmula utilizada fue: Índice de Acidez=  $(V \times N \times P_{eq}) / P$

Donde:

V = es el volumen de solución de NaOH gastado (ml).

N = es la normalidad exacta de la solución de NaOH.

Peq = es el peso equivalente del ácido predominante en la muestra.

P = es el peso de la muestra de aceite en gramos.

- El análisis de la vida útil estimada de los aceites en función de su estabilidad oxidativa se calculó basándose en los valores obtenidos en los ensayos de peroxidación y se presentó junto con la desviación estándar para indicar la variabilidad de los datos. Este enfoque permitió evaluar la eficacia de los aceites esenciales en preservar la calidad del aceite de SI bajo diferentes condiciones de almacenamiento y temperaturas.
- Luego, se efectuó una evaluación de la normalidad de los datos utilizando la prueba de Shapiro-Wilk, lo cual permitió determinar la distribución de estos y seleccionar las pruebas estadísticas más apropiadas. Dado que los datos no siguieron una distribución normal, se optó por aplicar técnicas no paramétricas para el análisis posterior.
- Para comparar los efectos de los diferentes tratamientos y condiciones experimentales sobre la estabilidad oxidativa y las características sensoriales del aceite, se empleó el Análisis de Varianza (ANOVA) de Medidas Repetidas no paramétrico, específicamente la prueba de Friedman, seguido por comparaciones post-hoc mediante el test de Durbin-Conover para identificar diferencias específicas entre grupos.
- Además, se realizó un análisis detallado de los componentes volátiles presentes en los aceites esenciales y su concentración en el aceite de SI mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS), este análisis fue importante para entender el perfil aromático y las propiedades sensoriales de los aceites tratados.
- Posteriormente también se volvió a aplicar la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, donde se identificó la distribución de los datos. Además, se aplicó la prueba de Bonferroni por ser una prueba paramétrica el cual permite analizar las diferencias significativas entre las muestras.
- El procesamiento de los datos se realizó mediante el software estadístico SPSS (versión 25.0) y Excel, lo que facilitó la realización de análisis

descriptivo, la elaboración de gráficas para la visualización de los resultados, y la interpretación de estos en el contexto de la investigación.

## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Rendimiento de extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor de cinco plantas aromáticas provenientes de Jaén**

#### **4.2.1. Selección de plantas aromáticas**

Para la selección de las plantas aromáticas se tomaron en cuenta:

- a. Estado silvestre de la planta.
- b. Temporada climática de recolección de hojas (enero y febrero de 2023).
- c. Características físicas y microbiológicas de las hojas (tamaño, frescura, daños físicos e infestación de plagas).

#### **Citrus Limón: Limón real**

Procedencia. Cajamarca, Jaén, C.P. Las Naranjas

Altitud 1256 msnm

Este 5°44'40.84"

Norte: 78°50'44.00"

Bosque premontano

Árbol de 6 m de alto, hojas simples alternas de color verde, dísticas, presenta espinas axilares. Las flores son pequeñas, cáliz de color verde amarillento, corola de color blanco con 6 pétalos, fruto de color verde y al madurar se tornan amarillos rugosos.

## Figura 7

### *Hojas de Limón real*



*Nota.* Fotografía propia

### **Piper aduncum L.: Matico**

Procedencia. Cajamarca, Jaén, C.,P. Las Naranjas

Altitud 1213 msnm

Este 5°44'39.57"

Norte: 78°50'25.70"

Bosque premontano

Arbusto de 3 m de alto, de hojas simples y alternas, ovaladas o elípticas, ápice acuminado y base redondeada, color verde amarillento, ásperas y con pubescencia en el haz de las hojas, presenta nerviación pronunciada. Inflorescencia es una espiga floral que nace de los nudos.

### **Figura 8**

*Hojas de Matico*



*Nota.* Fotografía propia

### **Mentha spicata: Hierba buena**

Procedencia. Cajamarca, Jaén, C.,P. Las Naranjas

Altitud 1256 msnm

Este 5°44'40.84"

Norte: 78°50'44.00"

Bosque premontano

Porte entre 30 -90 cm de hojas lanceoladas, con aroma intenso, glabras y pilosas en el envés.

### **Figura 9**

*Hojas de Hierba buena*



*Nota.* Fotografía propia

### **Solanum quitoense: Naranjilla**

Procedencia. Cajamarca, Jaén, C.,P. Las Naranjas

Altitud 1246 msnm

Este 5°44'33.71"

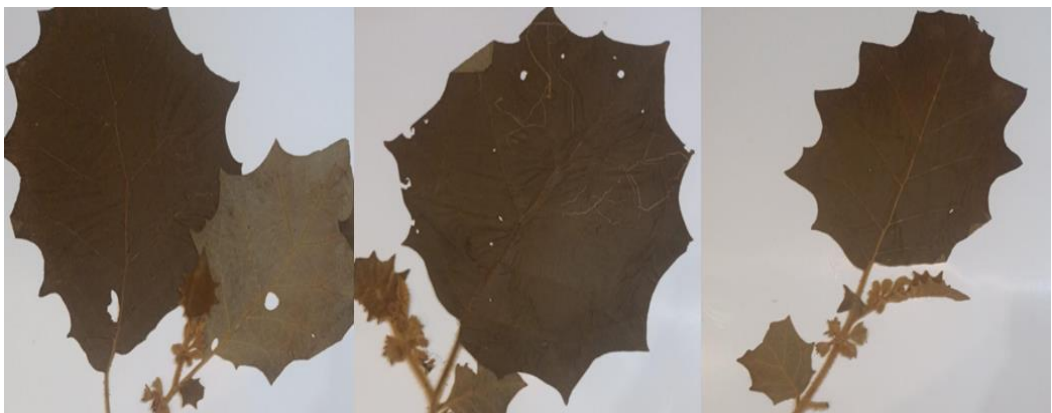
Norte: 78°50'55.95"

Bosque premontano

Arbusto fruticoso de 1 a 2 m de alto con espinas. Hojas de amplio limbo con envés de color morado claro, flores con pétalos blanco-rosados, fruto redondo con o sin pelos hirsutos (muy erectos y punzantes) que al madurar presenta color anaranjado rojizo.

### **Figura 10**

*Hojas de Naranjilla*



*Nota.* Fotografía propia

### **Disphania ambrosioides L.: Paico**

Procedencia. Cajamarca, Jaén, C.,P. Las Naranjas

Altitud 1213 msnm

Este 5°44'41.36"

Norte: 78°50'43.43"

Bosque premontano

Hierba siempre verde, olorosa, de 50 – 80 cm de altura, tallos rectos, ramosos y vellosos. Hojas alternas, lanceoladas, dentadas en los bordes, de 2 cm de longitud, flores de color verdoso, agrupadas en espigas compactas. Semillas horizontales y verticales, brillantes.

### Figura 11

*Hojas de Paico*



*Nota.* Fotografía propia

Durante las etapas iniciales del estudio se realizaron análisis exploratorios o pruebas preliminares con los cinco aceites esenciales mencionados. Estas pruebas preliminares incluyeron evaluaciones de la actividad antioxidante, análisis de componentes volátiles, y pruebas de estabilidad oxidativa a corto plazo. Basándose en estos resultados, se encontró que el *Chenopodium ambrosioides* y *Solanum quitoense* ofrecían menores cantidades de extracción, siendo poco viable económicamente en comparación con los otros tres aceites esenciales, lo que llevó a centrarse en los otros tres que sí representaban un impacto más significativo y reproducible sobre las propiedades de interés del aceite de SI. Es así



como para los siguientes análisis de contó solo con Citrus Limón (Limón real), Piper aduncum (matico) y Mentha spicata (hierba buena).

#### 4.2.2. Rendimiento de extracción

Todas las muestras fueron sometidas a un proceso de secado a medio ambiente (temperatura 28-29°C por 24 horas, bajo sombra, pero con ventilación), se midió la humedad de las hojas hasta llegar a un valor aproximado del 12% con una balanza de humedad (MX -50, AND, Japón). El proceso de extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor (1 atmosfera de presión, temperatura de 90°C por 2 horas), generó los rendimientos presentados en la Tabla 3:

**Tabla 3**

*Rendimiento de extracción de aceites esenciales obtenidos por arrastre de vapor*

<b>AE</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
Limón real	0.530 ± 0.015 <sup>a</sup>
Hierba buena	0.130 ± 0.015 <sup>b</sup>
Matico	0.050 ± 0.005 <sup>c</sup>
Naranjilla	0.003 ± 0.001 <sup>d</sup>
Paico	0.001 ± 0.000 <sup>d</sup>

*Nota.* Letras iguales no presentan diferencia significativa (p<0.05)

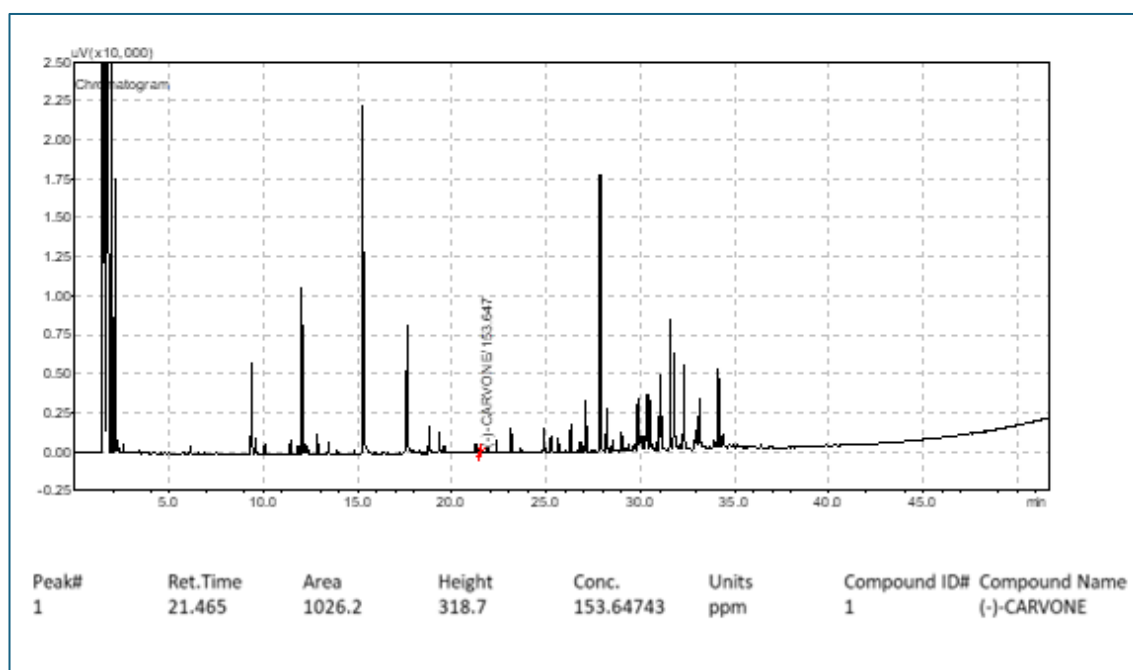
Durante las etapas iniciales del estudio se realizaron análisis exploratorios o pruebas preliminares con los cinco aceites esenciales mencionados. Estas pruebas preliminares incluyeron evaluaciones de la actividad antioxidante, análisis de componentes volátiles, y pruebas de estabilidad oxidativa a corto plazo. Basándose en estos resultados, se encontró que los aceites esenciales de Paico y Naranjilla presentaron bajos rendimientos de extracción, lo que indicaría su escasa viabilidad económica en comparación con los otros tres aceites esenciales. Por lo tanto, el estudio se centró en los otros tres aceites esenciales (Limón real,

Matico y Hierba buena) para poder aplicar y analizar su influencia sobre las propiedades del aceite de SI.

Para la determinación de los principales componentes de los aceites esenciales evaluados como: (-)-Carvone, (-)-β-Pinene, Linalool, α-Pinene, Eugenol, β-Citral y α-Citral, se realizó el procedimiento con las fórmulas para la determinación de sus porcentajes.

## Figura 12

*Cromatograma del (-)-Carvone en Limón Real*



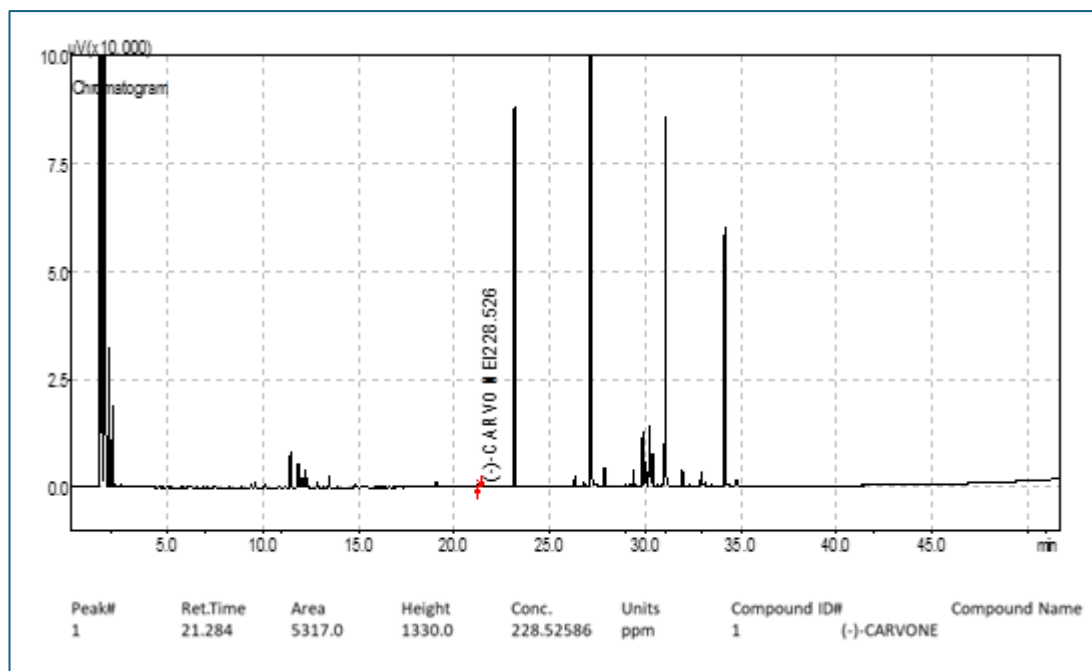
*Nota.* Obtenido de la Cromatografía

### **(-)-Carvone en el Limón Real:**

- Área: 1026.2
- Concentración sin dilución:  $\frac{(1026.2 - (-7777))}{57.303} = 153.625 \text{ ppm}$
- FD ajustado ppm:  $153.625 \times 91 = 13979.917 \text{ ppm}$
- Porcentaje:  $\frac{13979.917}{10000} \times 100 = 1.398\%$

**Figura 13**

*Cromatograma del (-)-Carvone en Matico*



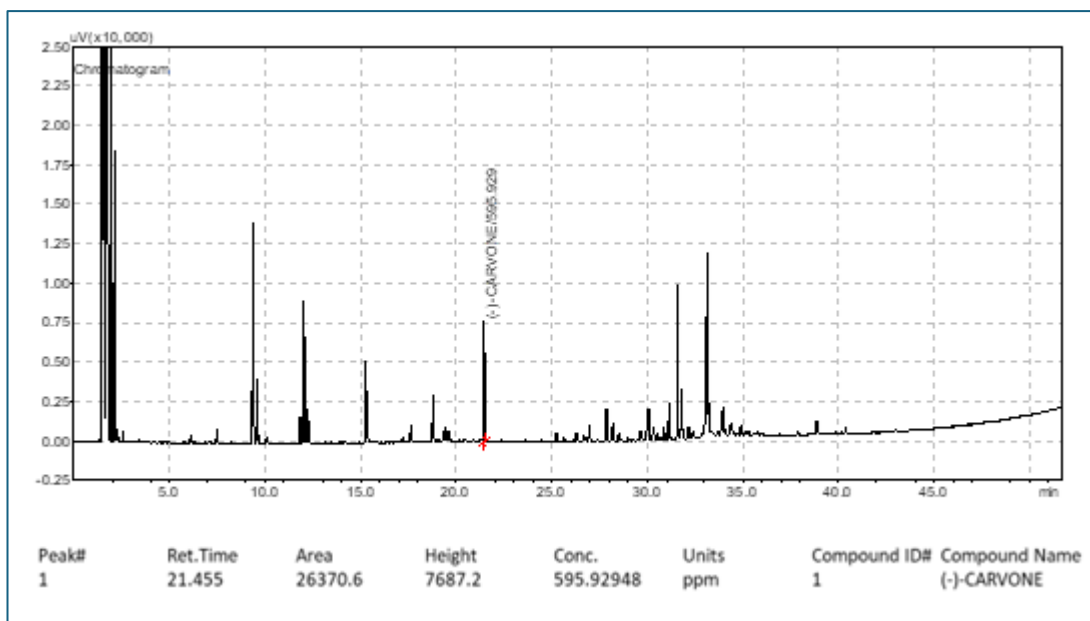
*Nota.* Obtenido de la Cromatografía

**(-)-Carvone en el Matico:**

- Área: 5317
- Concentración sin dilución:  $\frac{(5317 - (-7777))}{57.303} = 228.505$  ppm
- FD ajustado ppm:  $228.505 \times 91 = 20793.920$  ppm
- Porcentaje:  $\frac{20793.920}{10000} \times 100 = 2.079\%$

**Figura 14**

*Cromatograma del (-)-Carvone en Hierba buena*



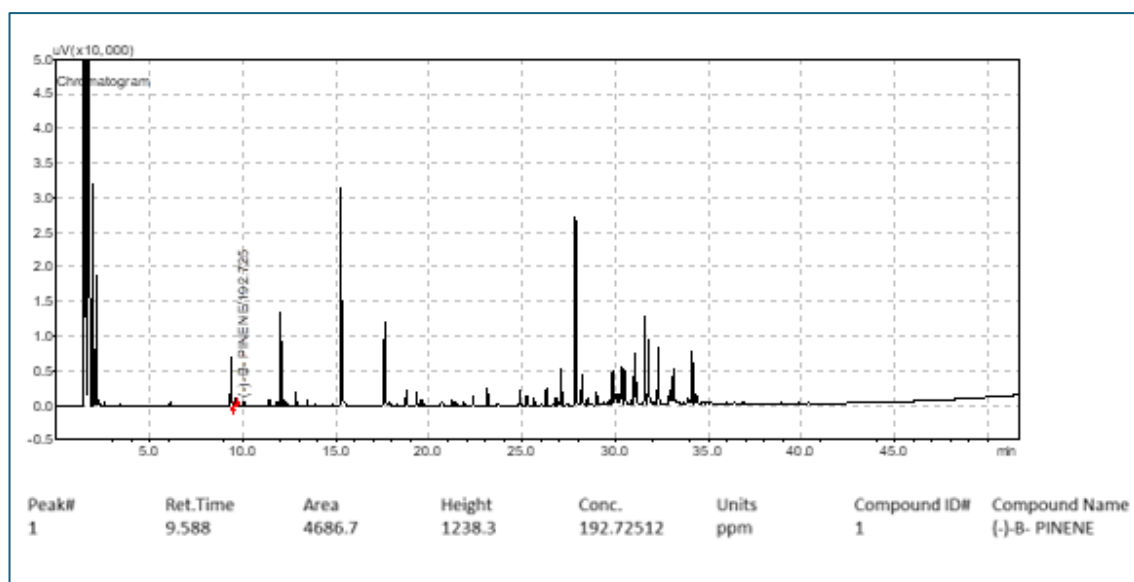
*Nota.* Obtenido de la Cromatografía

**(-)-Carvone en la Hierba Buena:**

- Área: 26370.6
- Concentración sin dilución:  $\frac{(26370.6 - (-7777))}{57.303} = 595.913 \text{ ppm}$
- FD ajustado ppm:  $595.913 \times 91 = 54228.079 \text{ ppm}$
- Porcentaje:  $\frac{54228.079}{10000} \times 100 = 5.423\%$

**Figura 15**

*Cromatograma del (-)-B-Pinene en Limón Real*



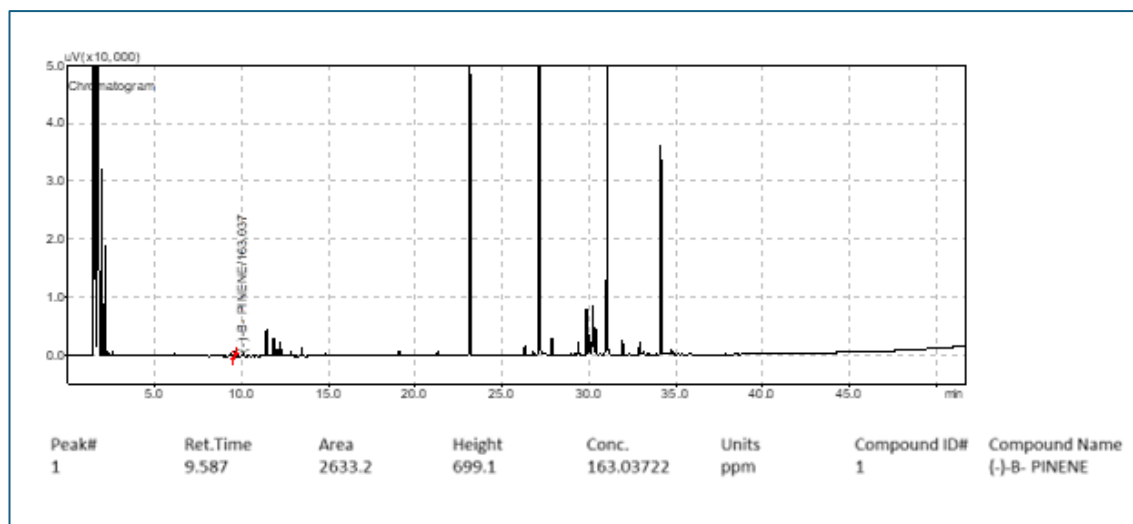
*Nota.* Obtenido de la Cromatografía

**(-)-β-Pinene en el Limón Real:**

- Área: 4686.7
- Concentración sin dilución:  $\frac{4686.7 - (-9936.7)}{68.786} = 212.593 \text{ ppm}$
- FD ajustado ppm:  $212.593 \times 91 = 19345.934 \text{ ppm}$
- Porcentaje:  $\frac{19345.934}{10000} \times 100 = 1.935\%$

**Figura 16**

*Cromatograma del (-)-B-Pinene en Matico*



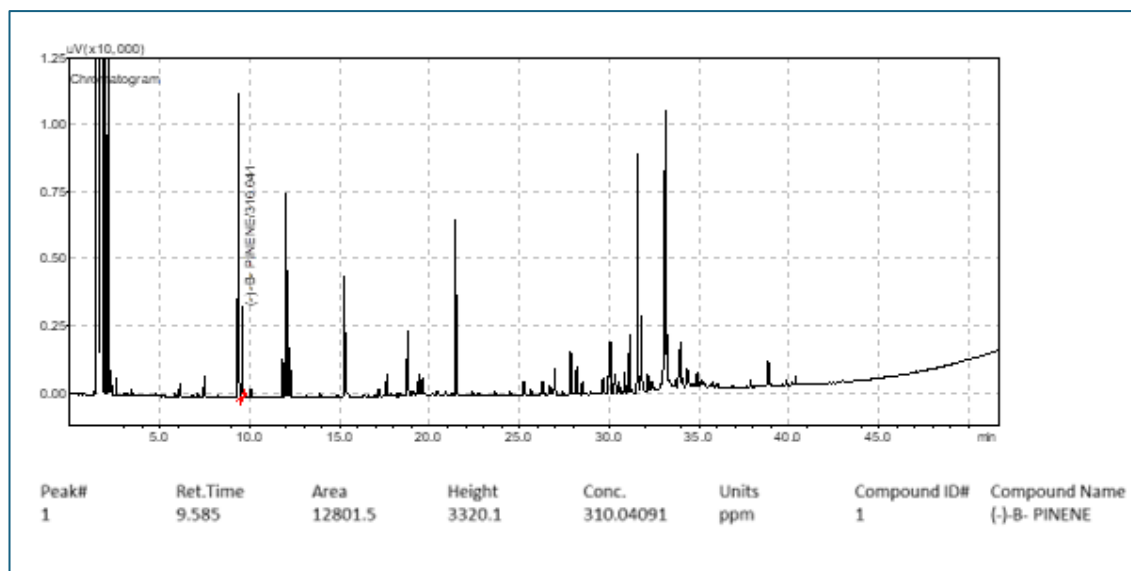
*Nota.* Obtenido de la Cromatografía

**(-)-β-Pinene en el Matico:**

- Área: 2633.2
- Concentración sin dilución:  $\frac{2633.2 - (-9936.7)}{68.786} = 182.739 \text{ ppm}$
- FD ajustado ppm:  $182.739 \times 91 = 16629.269 \text{ ppm}$
- Porcentaje:  $\frac{16629.269}{10000} \times 100 = 1.663\%$

**Figura 17**

*Cromatograma del (-)-B-Pinene en Hierba buena*



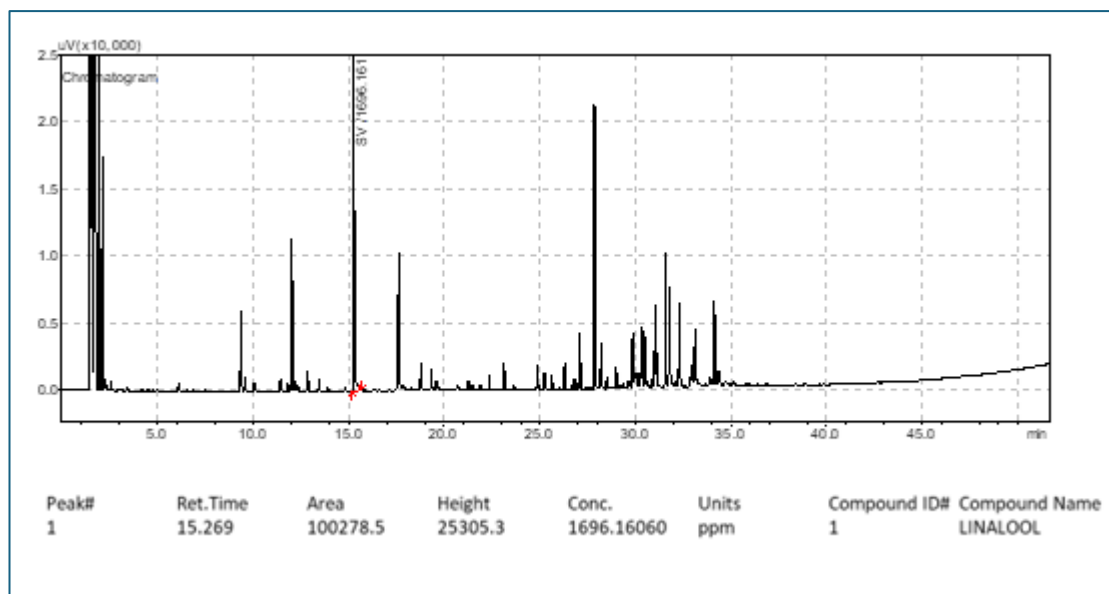
*Nota.* Obtenido de la Cromatografía

**(-)-β-Pinene en la Hierba Buena:**

- Área: 12801.5
- Concentración sin dilución:  $\frac{12801.5 - (-9936.7)}{68.786} = 330.564 \text{ ppm}$
- FD ajustado ppm:  $330.564 \times 91 = 30081.357 \text{ ppm}$
- Porcentaje:  $\frac{30081.357}{10000} \times 100 = 3.008\%$

**Figura 18**

*Cromatograma del Linalool en Limón Real*



*Nota.* Obtenido de la Cromatografía

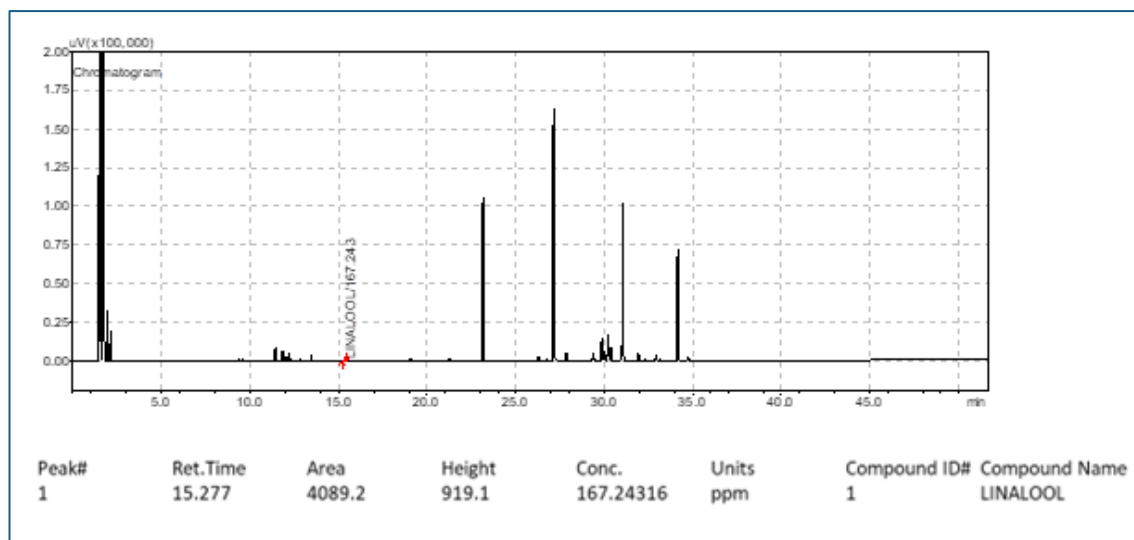
**Linalool en el Limón Real:**

- Área: 100278.5
- Concentración sin dilución:  $\frac{100278.5-2351.2}{60.995} = 1605.497 \text{ ppm}$
- FD ajustado ppm:  $1605.497 \times 91 = 146100.243 \text{ ppm}$
- Porcentaje:  $\frac{146100.243}{10000} \times 100 = 14.610\%$



**Figura 19**

*Cromatograma del Linalool en Matico*



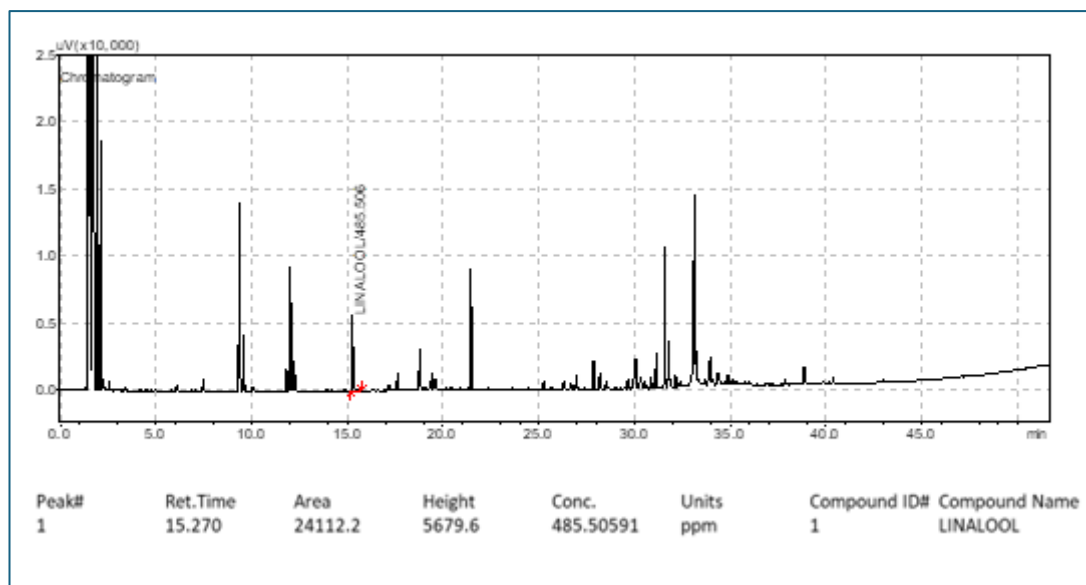
*Nota.* Obtenido de la Cromatografía

**Linalool en el Matico:**

- Área: 4089.2
- Concentración sin dilución:  $\frac{4089.2-2351.2}{60.995} = 28.497$  ppm
- FD ajustado ppm:  $28.497 \times 91 = 2592.027$  ppm
- Porcentaje:  $\frac{2592.027}{10000} \times 100 = 0.259\%$

**Figura 20**

*Cromatograma del Linalool en Hierba Buena*



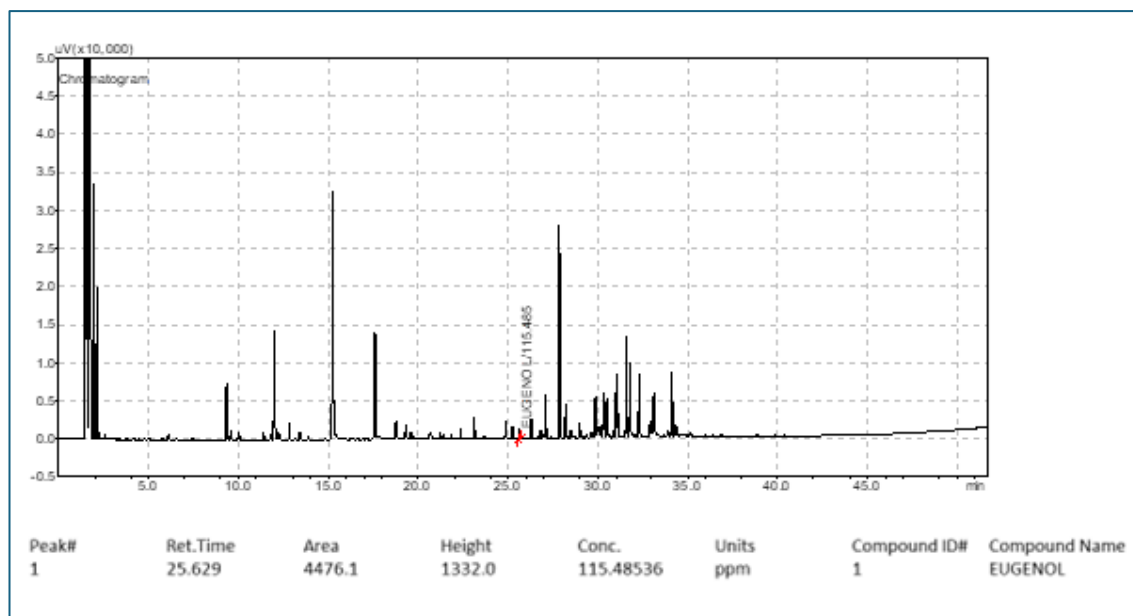
*Nota.* Obtenido de la Cromatografía

**Linalool en la Hierba Buena:**

- Área: 24112.2
- Concentración sin dilución:  $\frac{24112.2 - 2351.2}{60.995} = 356.767$  ppm
- FD ajustado ppm:  $356.767 \times 91 = 32465.792$  ppm
- Porcentaje:  $\frac{32465.792}{10000} \times 100 = 3.247\%$

**Figura 21**

*Cromatograma del Eugenol en Limón Real*



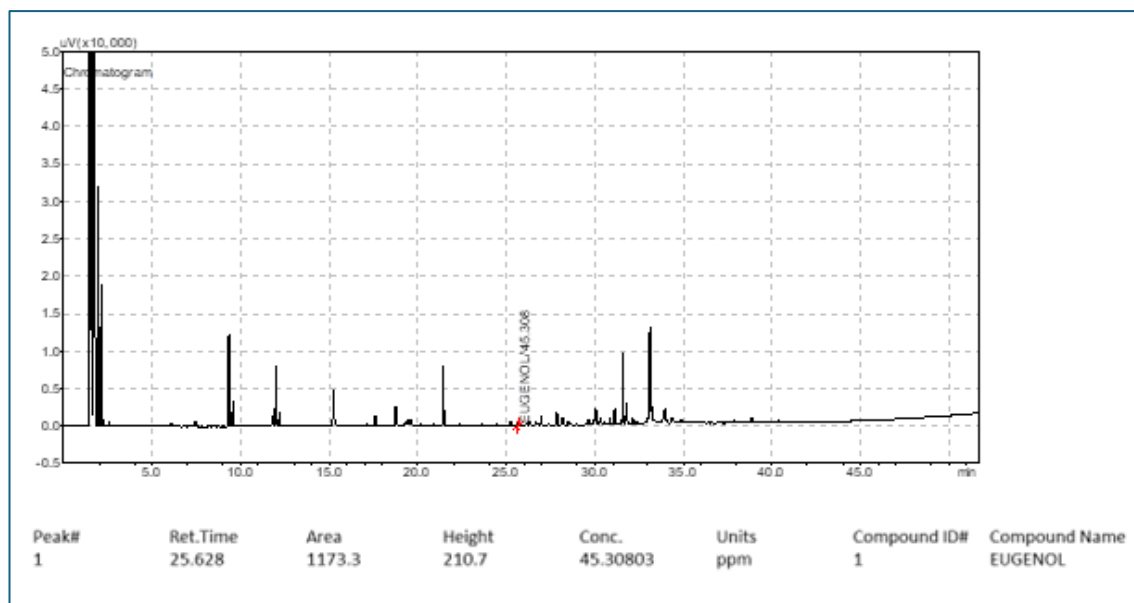
*Nota.* Obtenido de la Cromatografía

**Eugenol en el Limón Real:**

- Área: 4476.1
- Concentración sin dilución:  $\frac{(4476.1 - (-1275.9))}{46.256} = 124.351 \text{ ppm}$
- FD ajustado ppm:  $124.351 \times 91 = 11315.981 \text{ ppm}$
- Porcentaje:  $\frac{11315.981}{10000} \times 100 = 1.132\%$

**Figura 22**

*Cromatograma del Eugenol en Hierba buena*



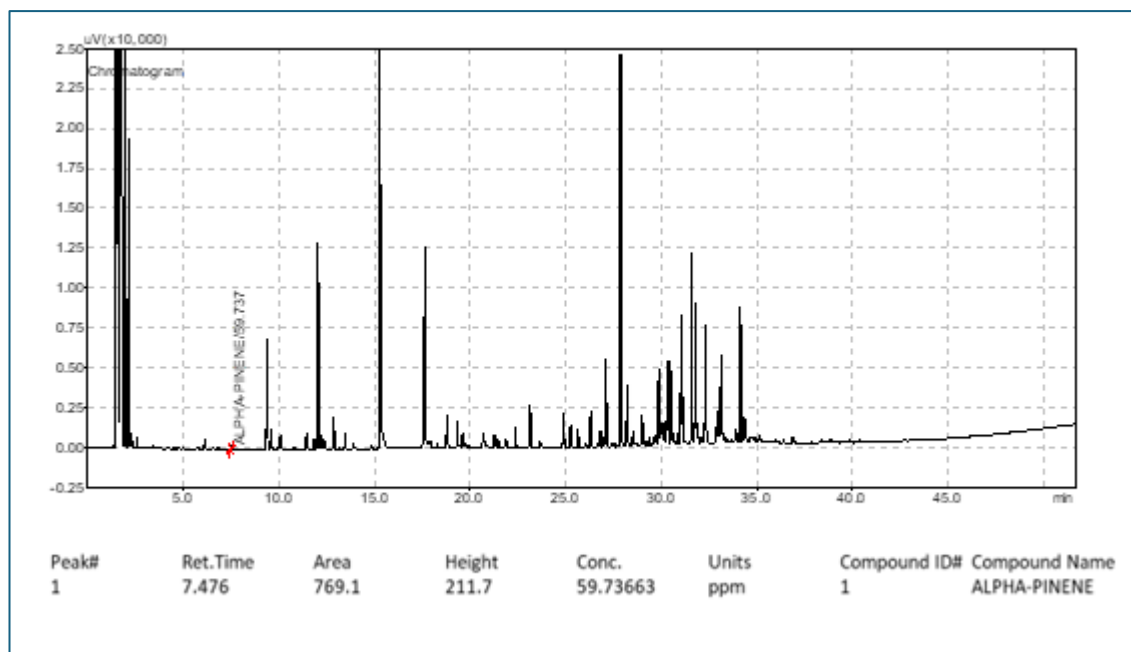
*Nota.* Obtenido de la Cromatografía

**Eugenol en la Hierba Buena:**

- Área: 1173.3
- Concentración sin dilución:  $\frac{(1173.3 - (-1275.9))}{46.256} = 52.949 \text{ ppm}$
- FD ajustado ppm:  $52.949 \times 91 = 4818.341 \text{ ppm}$
- Porcentaje:  $\frac{4818.341}{10000} \times 100 = 0.482\%$

**Figura 23**

*Cromatograma del  $\alpha$ -Pinene en Limón Real*



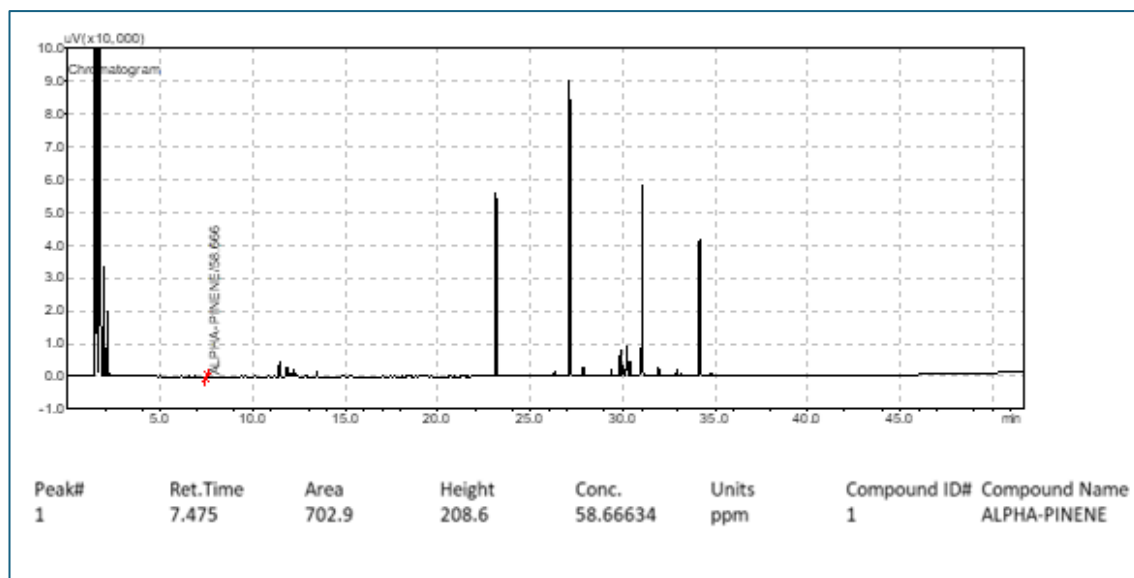
*Nota.* Obtenido de la Cromatografía

**$\alpha$ -Pinene en el Limón Real:**

- Área: 211.7
- Concentración sin dilución:  $\frac{(211.7 - (-5350.5))}{66.174} = 84.054 \text{ ppm}$
- FD ajustado ppm:  $84.054 \times 91 = 7648.929 \text{ ppm}$
- Porcentaje:  $\frac{7648.929}{10000} \times 100 = 0.765\%$

**Figura 24**

*Cromatograma del  $\alpha$ -Pinene en Matico*



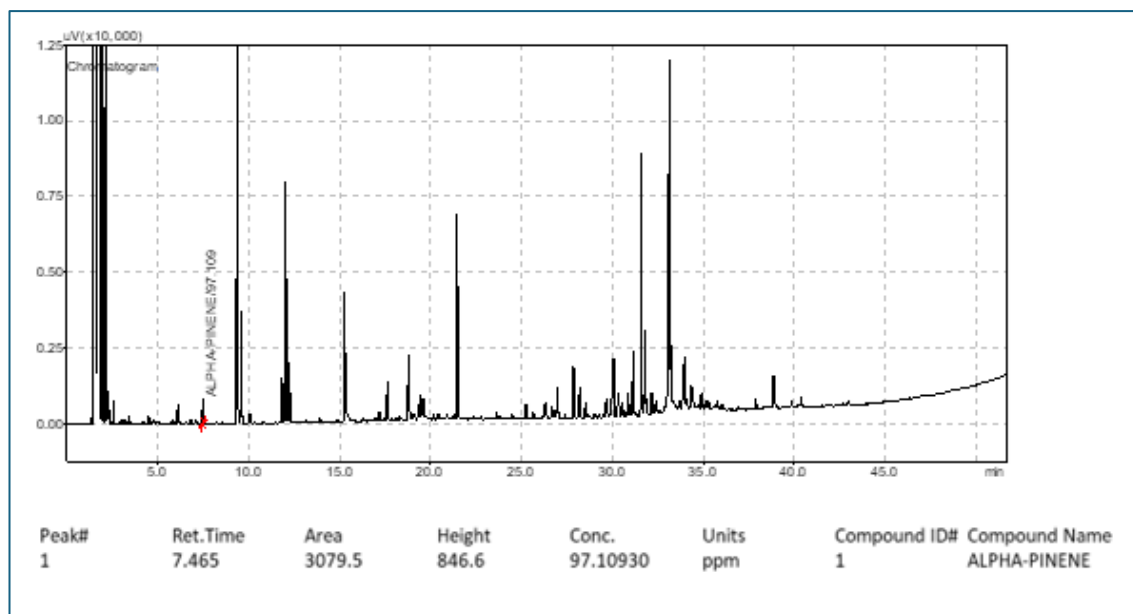
*Nota.* Obtenido de la Cromatografía

**$\alpha$ -Pinene en el Matico:**

- Área: 702.9
- Concentración sin dilución:  $\frac{(702.9 - (-5350.5))}{66.174} = 91.477 \text{ ppm}$
- FD ajustado ppm:  $91.477 \times 91 = 8324.408 \text{ ppm}$
- Porcentaje:  $\frac{8324.408}{10000} \times 100 = 0.832\%$

**Figura 25**

*Cromatograma del  $\alpha$ -Pinene en Hierba buena*



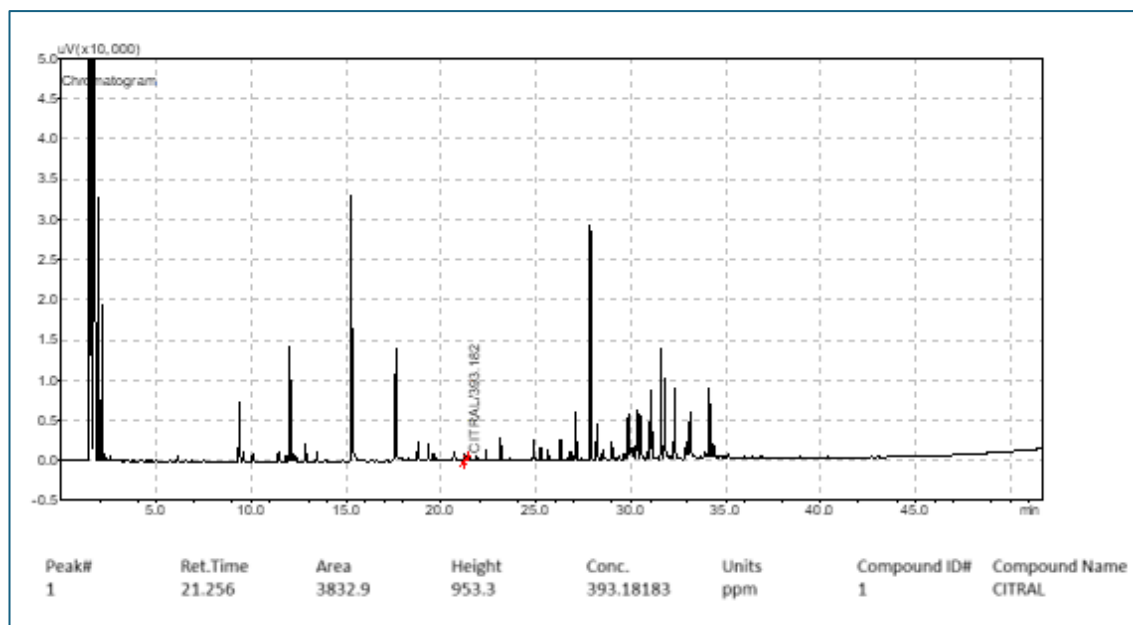
*Nota.* Obtenido de la Cromatografía

**$\alpha$ -Pinene en la Hierba Buena:**

- Área: 3073.5
- Concentración sin dilución:  $\frac{(3073.5 - (-5350.5))}{66.174} = 127.301 \text{ ppm}$
- FD ajustado ppm:  $127.301 \times 91 = 11584.368 \text{ ppm}$
- Porcentaje:  $\frac{11584.368}{10000} \times 100 = 1.158\%$

**Figura 26**

*Cromatograma del  $\beta$ -Citral en el Limón Real*



*Nota.* Obtenido de la Cromatografía

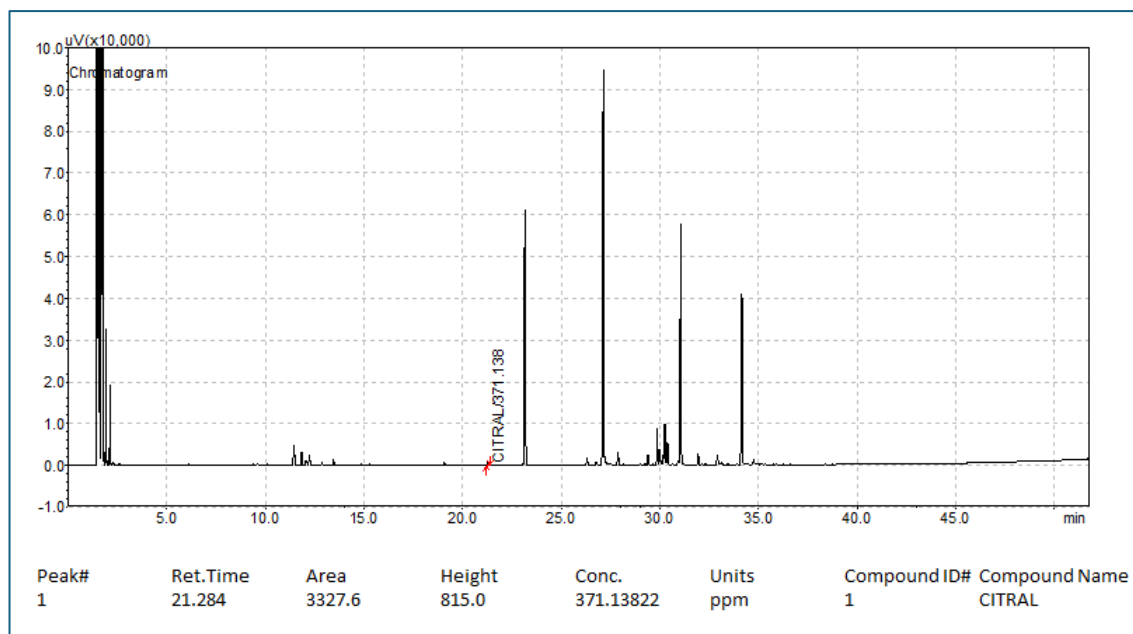
**$\beta$ -Citral en el Limón Real:**

- Área: 3832.9
- Concentración sin dilución:  $\frac{(3832.9 - (-2042.2))}{16.835} = 348.981 \text{ ppm}$
- FD ajustado ppm:  $348.981 \times 91 = 31757.297 \text{ ppm}$
- Porcentaje:  $\frac{31757.297}{10000} \times 100 = 3.176\%$



**Figura 27**

*Cromatograma del  $\beta$ -Citral en el Matico*



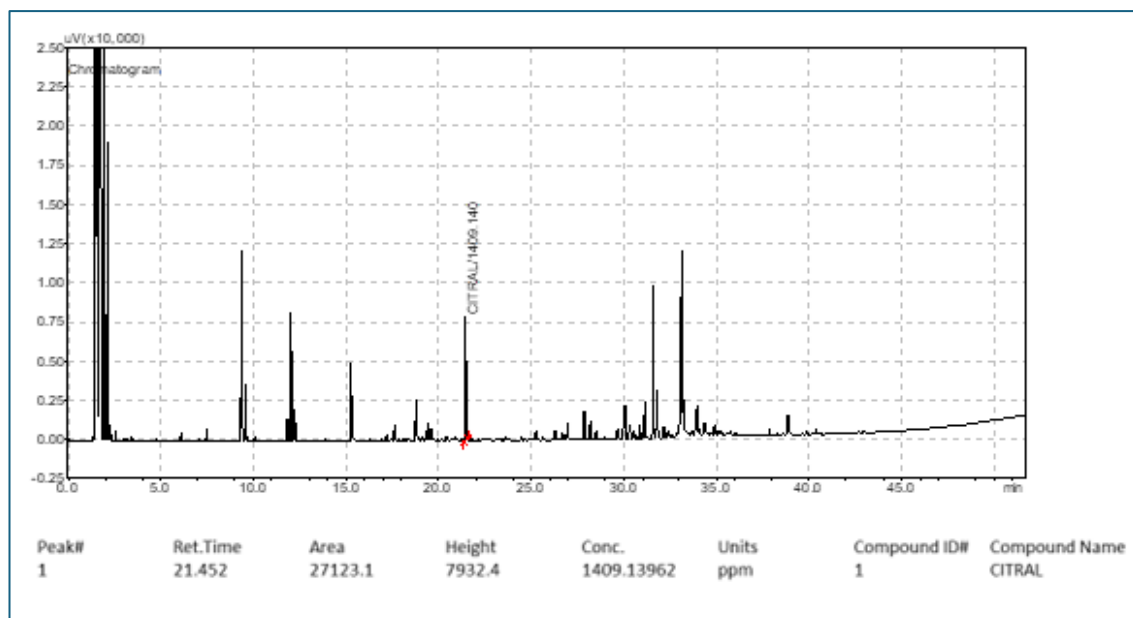
*Nota.* Obtenido de la Cromatografía

**$\beta$ -Citral en el Matico:**

- Área: 3327.6
- Concentración sin dilución:  $\frac{(3327.6 - (-2042.2))}{16.835} = 318.966 \text{ ppm}$
- FD ajustado ppm:  $318.966 \times 91 = 29025.946 \text{ ppm}$
- Porcentaje:  $\frac{29025.946}{10000} \times 100 = 2.903\%$

**Figura 28**

*Cromatograma del  $\beta$ -Citral en Hierba Buena*



*Nota.* Obtenido de la Cromatografía

**$\beta$ -Citral en la Hierba Buena:**

- Área: 27123.1
- Concentración sin dilución:  $\frac{(27123.1 - (-2042.2))}{16.835} = 1732.421 \text{ ppm}$
- FD ajustado ppm:  $1732.421 \times 91 = 157650.270 \text{ ppm}$
- Porcentaje:  $\frac{157650.270}{10000} \times 100 = 15.765\%$

**$\alpha$ -Citral en el Limón Real:**

- Área: 1326.3
- Concentración sin dilución:  $\frac{(1326.3 - (-1016.1))}{31.425} = 74.539 \text{ ppm}$
- FD ajustado ppm:  $74.539 \times 91 = 6783.084 \text{ ppm}$
- Porcentaje:  $\frac{6783.084}{10000} \times 100 = 0.678\%$

Después de realizar el cálculo de los porcentajes de contenido de los principales componentes de los aceites esenciales evaluados, se resumieron en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Principales compuestos de aceites esenciales*

<b>AE</b>	<b>Componente</b>	<b>Contenido (%)</b>
<i>Citrus Limón</i>	<i>(-)-Carvone</i>	1.398 ± 0.001
	<i>(-)-β-Pinene</i>	1.935 ± 0.002
	<i>Linalool</i>	14.610 ± 0.044
	<i>α-Pinene</i>	0.765 ± 0.002
	<i>Eugenol</i>	1.132 ± 0.001
	<i>β-Citral</i>	3.176 ± 0.022
	<i>α-Citral</i>	0.678 ± 0.001
<i>Piper aduncum</i>	<i>(-)-Carvone</i>	2.079 ± 0.002
	<i>(-)-β-Pinene</i>	1.663 ± 0.000
	<i>Linalool</i>	0.961 ± 0.001
	<i>α-Pinene</i>	0.832 ± 0.005
	<i>Eugenol</i>	N.D.
	<i>β-Citral</i>	2.903 ± 0.006
	<i>α-Citral</i>	N.D.
<i>Mentha spicata</i>	<i>(-)-Carvone</i>	5.423 ± 0.031
	<i>(-)-β-Pinene</i>	3.008 ± 0.012
	<i>Linalool</i>	3.247 ± 0.022
	<i>α-Pinene</i>	1.158 ± 0.035
	<i>Eugenol</i>	0.482 ± 0.022
	<i>β-Citral</i>	15.765 ± 1.253
	<i>α-Citral</i>	N.D.

*Nota.* (N.D.: No detectado)

Interpretando la tabla 4 se observa que, el Limón real presentó al Linalool (14.610%) y β-Citral (3.176%) como los componentes más abundantes.

El Linalool es conocido por su fragancia floral y es ampliamente utilizado en perfumería. El  $\beta$ -Citral tiene una fragancia cítrica y es utilizado igualmente en fragancias y sabores. Otros componentes presentes en concentraciones menores son el (-)-Carvone (1.398%), (-)- $\beta$ -Pinene (1.935%), Alpha-Pinene (0.765%), Eugenol (1.132%) y  $\alpha$ -Citral (0.678%). Estos compuestos contribuyen a la complejidad del perfil aromático del Limón Real, con notas que varían desde maderas hasta especias.

Con respecto al AE de Matico, el  $\beta$ -Citral (2.903%) y (-)-Carvone (2.079%) fueron los más destacados. El Matico parece tener un perfil menos cítrico en comparación con el Limón real, pero con una notable presencia de Carvone, que puede aportar un aroma a menta o alcanfor, también contiene (-)- $\beta$ -Pinene (1.663%) y  $\alpha$ -Pinene (0.832%), que son terpenos comunes en muchas plantas aromáticas y contribuyen con un aroma a pino o fresco. El Linalool (0.961%) estuvo presente en una concentración significativamente menor en comparación con el Limón real, indicando un perfil aromático diferente. Finalmente, en el caso de la Hierba buena los compuestos más abundantes fueron el  $\beta$ -Citral (15.765%) y (-)-Carvone (5.423%), sugiriendo que la Hierba buena tiene un perfil muy aromático con una fuerte nota cítrica y mentolada. La Hierba Buena también muestra un contenido considerable de (-)- $\beta$ -Pinene (3.008%) y Linalool (3.247%), lo cual puede aportar al AE de esta planta una complejidad de aromas florales y de madera. El  $\alpha$ -Pinene (1.158%) estuvo presente en una cantidad mayor a la del Matico y el Limón real, lo que contribuye a un aroma adicional fresco y terroso.

El (-)-Carvone, según Pina et al. (2022), "tiene propiedades farmacéuticas como antimicrobiana, antiespasmódica, antiinflamatoria, antioxidante, antinoceptiva, anticonvulsivante, entre otras". "El (-)- $\beta$ -Pinene es conocido por sus propiedades farmacéuticas como efectos anticoagulantes, antiinflamatorios, antileishmania, antipalúdicos, antimicrobianos, antioxidantes, antitumorales, analgésicos y de modulación de la resistencia a los antibióticos" (Park et al., 2021). El Linalool "es conocido por sus aplicaciones farmacéuticas y cosméticas, sin embargo, también presenta propiedades antiinflamatorias, anticancerígenas, antihiperlipidémicas, antimicrobianas, antinoceptivas,

analgésicas, ansiolíticas, antidepresivas y neuroprotectoras” (Pereira et al., 2018). El  $\alpha$ -Pinene, es característico por su aroma o actividades farmacológicas como “efectos anticoagulantes, antiinflamatorios, antileishmania, antipalúdicos, antimicrobianos, antioxidantes, antitumorales, analgésicos y de modulación de la resistencia a los antibióticos” (Park et al., 2021). El Eugenol según Nisar et al. (2021), tiene “aplicaciones potenciales de los aceites esenciales en diversas industrias, incluyendo la farmacéutica, cosmética y alimentaria, tiene enormes aplicaciones industriales, particularmente en farmacia, odontología, aromatización de alimentos, agricultura y cosmeceútica; además de contar con notables propiedades antiinflamatorias, antioxidantes, analgésicas y antimicrobianas”. El  $\beta$ -Citral y el  $\alpha$ -Citral son conocidos por su fragancia cítrica y también como lo menciona Bermúdez et al. (2019), “presentan actividades antibacterianas apreciables, los cuales que actúan sobre bacterias gram negativas y gram positivas”.

Comparando los resultados con el estudio de Magalhães et al. (2023), se observó diferencias notables en la composición de los aceites esenciales de Limón, particularmente en el contenido de Limóneno,  $\beta$ -pinene y  $\alpha$ -pinene, así como también linalool y citrales. En el estudio de Magalhães et al., el contenido de Limóneno en la cáscara de Limón mostró una amplia variabilidad, oscilando entre 19.7 g/kg y el 76.9% del total de compuestos volátiles, dependiendo de la variedad y del método de extracción. En contraste, con el presente estudio las concentraciones de Limóneno fueron comparativamente menores. Respecto a los pinenos, Magalhães et al. reportaron concentraciones de  $\beta$ -pinene entre 3.8 y 18.7%, y de  $\alpha$ -pinene hasta el 1.5%, cifras considerablemente más altas que las observadas en el presente estudio, donde el  $\alpha$ -pineno alcanzó un máximo de 1.158% y el  $\beta$ -pinene un 3.008% en *Mentha spicata*. Además, el linalool, en la presente investigación alcanzó un 14.610% en *Citrus Limón*, siendo menor a los del estudio de Magalhães et al., debido a que en dicho estudio se enfocaron al estudio del Limón, y en los resultados de la presente investigación, solo se utilizó un porcentaje combinado con el aceite de SI, sin embargo, vale mencionar que es gracias a la naturaleza del Limón que se presentan dichos componentes.

## **4.2. Características físico químicas del aceite de Sacha Inchi**

### **4.2.1. Cuantificación de ácidos grasos**

La Tabla 5 presenta los resultados del análisis físico-químico del aceite de Sacha Inchi, destacando su composición y calidad, según el método AOAC Official Method 948.15, el contenido de grasa del aceite de Sacha Inchi es del 99.99%, lo que indica una pureza casi total del aceite extraído, destacando su calidad superior para aplicaciones nutricionales y cosméticas. En cuanto a la humedad y materia volátil, medida según la norma NMX-F-211-1987, el resultado es de 0.01%. Este bajo contenido de humedad y materia volátil refleja la estabilidad del aceite y su baja predisposición al deterioro por factores ambientales, lo cual es crucial para su almacenamiento y vida útil prolongada. El índice de peróxido, determinado por el método AOAC Official Method 965.33, es de 2.17 mEq/kg de grasa. Este valor indica la cantidad de peróxidos presentes en el aceite, un indicador de su grado de oxidación inicial. Un índice de peróxido bajo hace referencia a que el aceite de Sacha Inchi tiene una buena estabilidad oxidativa en sus primeras etapas de almacenamiento, lo que es favorable para mantener sus propiedades organolépticas y nutricionales. Por lo que los resultados del análisis físico-químico del aceite de Sacha Inchi muestran una alta pureza en su contenido de grasa, un bajo nivel de humedad y materia volátil, y un índice de peróxido que indica una buena estabilidad oxidativa, subrayando la alta calidad de este aceite.

**Tabla 5***Análisis físico químico del Aceite de sachá inchi*

<b>Ensayo</b>	<b>Método</b>	<b>Resultado/ Unidad</b>
Grasa	AOAC Official Method 948.15	99.99%
Humedad y materia volátil	NMX-F-211-1987	0.01%
Índice de peróxido	AOAC Official Method 965.33	2.17 mEq/kg grasa

*Nota.* Elaboración a partir de análisis de laboratorio

En la Tabla 6, el perfil de ácidos grasos del aceite de SI, obtenido por prensado en frío se presenta en la Tabla 6. Los ácidos butírico y cis-10-pentadecanoico están en concentraciones menores al 0.01 g/100g, lo cual indica que están por debajo del límite de cuantificación del método utilizado. El ácido palmítico (C16:0) tiene una concentración de 4.14 g/100g, lo que lo convierte en un componente significativo de la muestra. El ácido palmitoleico (C16:1) y el ácido heptadecanoico (C17:0) también están por debajo del límite de cuantificación. El ácido esteárico (C18:0) tiene una concentración de 3.2 g/100g. El ácido oleico (C18:1n9c), que es conocido por sus beneficios para la salud, especialmente en la salud cardiovascular como lo describe (Carrillo et al., 2012), es el ácido graso monoinsaturado predominante con 9.53 g/100g. El ácido linoleico (C18:2n6c), un ácido graso esencial de la familia omega-6, presenta la concentración más alta con 35.25 g/100g. Esto es importante, ya que los ácidos grasos esenciales no pueden ser sintetizados por el cuerpo humano y deben ser obtenidos de la dieta como menciona (Haro et al., 2006). Los ácidos araquídicos (C20:0), gamma-linolénico (C18:3n6), y cis 11-eicosanoico (C20:1n9) están presentes en concentraciones menores a

0.01 g/100g, 0.23 g/100g, y 0.25 g/100g, respectivamente, lo que indica que son componentes menores de la muestra. El ácido alfa-linolénico (C18:3n3), un ácido graso de la familia omega-3, se presenta en una cantidad significativa de 46.7 g/100g, lo que sugiere que la muestra podría ser una fuente muy rica de omega-3, beneficioso para la salud cardiovascular y antiinflamatorio como lo indica (Morales P et al., 2012). Interpretando estos resultados puede sugerir que el aceite de SI tiene un perfil graso potencialmente beneficioso para la salud, debido a la presencia de ácidos grasos monoinsaturados y especialmente poliinsaturados esenciales.

**Tabla 6**

*Perfil de ácidos grasos del aceite de SI*

<b>Ácido graso</b>	<b>Contenido (g/100 g)</b>
Ácido butírico (C4:0)	<0.01 (L.C.)
Ácido cis-10-pentadecanoico (C15:1)	<0.01 (L.C.)
Ácido palmítico (C16:0)	4.140
Ácido palmitoleico (C16:1)	<0.01 (L.C.)
Ácido heptadecanoico (C17:0)	0.100
Ácido esteárico (C18:0)	3.200
Ácido oleico (C18:1n9c)	9.530
Ácido linoleico (C18:2n 6c)	35.250
Ácido araquídico (C20:0)	<0.01 (L.C.)
Ácido $\gamma$ - linolénico (C18:3n6)	0.230
Ácido cis 11--eicosanoico (C20:1n9)	0.250
Ácido $\alpha$ -linolénico (C18:3n3)	46.700

*Nota.* (L.C.: Límite de cuantificación)

#### **4.2.2. Índices de calidad del aceite de Sacha Inchi con inclusión de aceites esenciales**



En la tabla 7, se evaluaron varios índices de calidad. Índice de acidez, evalúa la cantidad necesaria para neutralizar los ácidos grasos presentes en el aceite; valores más bajos en este índice indican un aceite de mayor calidad, los resultados obtenidos mostraron poca variación entre las diferentes formulaciones y concentraciones, lo que sugiere una calidad constante del aceite en términos de acidez. El Índice de peróxidos mide los miliequivalentes de oxígeno activo por kilogramo de aceite, sirviendo como un indicador de la oxidación inicial; los valores más bajos son preferibles, ya que indican una mejor resistencia a la oxidación y, por ende, un aceite más fresco, los valores son similares entre las formulaciones, aunque se observan ligeras variaciones que aun así no comprometen la calidad general del aceite. El Índice de anisidina se enfoca en los productos secundarios de la oxidación de los lípidos, aquí los valores inferiores son deseables, pues indican menos productos de degradación; este índice mostró más variabilidad, especialmente las muestras con AE de "Limón real", las cuales presentaron los valores más bajos, destacando una menor oxidación secundaria en estas formulaciones. El Índice de yodo refleja la cantidad de insaturaciones en los ácidos grasos, donde valores más altos indican mayor cantidad de dobles enlaces, para este índice las diferencias son mínimas, pero es notable que la formulación con "matico" al 0.3% presentó el valor más alto, lo que sugiere una mayor proporción de ácidos grasos insaturados. Finalmente, el Valor de TOTOX, que combina los índices de peróxidos y anisidina, ofrece una medida comprensiva de la oxidación total del aceite, aquí se busca valores más bajos en este índice para asegurar una mejor calidad, los resultados son consistentes a lo largo de las diferentes formulaciones. Estos índices demostraron que la incorporación de distintos aceites esenciales y sus respectivas concentraciones no alteran drásticamente los parámetros de calidad del aceite de SI en las condiciones evaluadas, manteniendo una calidad homogénea a través de las distintas formulaciones.

**Tabla 7***Índices de calidad de aceite de SI con adición de aceites esenciales*

Característica	Formulación								
	Hierba buena			Limón real			Matico		
	0.1%	0.3%	0.5%	0.1%	0.3%	0.5%	0.1%	0.3%	0.5%
Índice de acidez (mg KOH/g)	1.721 ± 0.022 <sup>ab</sup>	1.81 ± 0.015 <sup>ab</sup>	1.728 ± 0.065 <sup>ab</sup>	1.675 ± 0.05 <sup>b</sup>	1.813 ± 0.015 <sup>ab</sup>	1.753 ± 0.091 <sup>ab</sup>	1.76 ± 0.06 <sup>ab</sup>	1.835 ± 0.047 <sup>a</sup>	1.807 ± 0.065 <sup>ab</sup>
Indie de peróxidos (meq O <sub>2</sub> /Kg)	1.453 ± 0.061 <sup>a</sup>	1.437 ± 0.050 <sup>a</sup>	1.403 ± 0.011 <sup>a</sup>	1.453 ± 0.061 <sup>a</sup>	1.530 ± 0.017 <sup>a</sup>	1.433 ± 0.050 <sup>a</sup>	1.480 ± 0.030 <sup>a</sup>	1.410 ± 0.057 <sup>a</sup>	1.489 ± 0.033 <sup>a</sup>
Índice de anisidina	0.208 ± 0.001 <sup>ab</sup>	0.210 ± 0.010 <sup>ab</sup>	0.220 ± 0.000 <sup>a</sup>	0.159 ± 0.001 <sup>d</sup>	0.135 ± 0.008 <sup>e</sup>	0.140 ± 0.011 <sup>e</sup>	0.199 ± 0.001 <sup>bc</sup>	0.213 ± 0.000 <sup>ab</sup>	0.189 ± 0.001 <sup>c</sup>
Índice de yodo (I <sub>2</sub> /100g)	192.383 ± 2.513 <sup>a</sup>	192.744 ± 2.901 <sup>a</sup>	192.785 ± 2.212 <sup>a</sup>	190.577 ± 3.181 <sup>a</sup>	191.610 ± 3.252 <sup>a</sup>	192.243 ± 2.587 <sup>a</sup>	192.693 ± 3.776 <sup>a</sup>	194.941 ± 3.672 <sup>a</sup>	191.313 ± 3.103 <sup>a</sup>
Valor de TOTOX	3.115 ± 0.123 <sup>a</sup>	3.084 ± 0.090 <sup>a</sup>	3.026 ± 0.022 <sup>a</sup>	3.065 ± 0.123 <sup>a</sup>	3.195 ± 0.038 <sup>a</sup>	3.005 ± 0.106 <sup>a</sup>	3.159 ± 0.060 <sup>a</sup>	3.033 ± 0.114 <sup>a</sup>	3.168 ± 0.065 <sup>a</sup>

*Nota.* \*Letras iguales no presentan diferencia significativa entre las formulaciones (p<0.05).

Comparando estos resultados con el estudio de Rodríguez et al. (2022), se pudo observar que para ellos estudiaron la adición del aceite de tarwi al aceite de SI, donde encontraron que el valor de la acidez varió entre  $0.9 \pm 0.01$  y  $1.1 \pm 0.03$ . comparado con la presente investigación donde se encontró ligeras variaciones entre las diferentes formulaciones, generalmente alrededor de 1.7 a 1.8 mg KOH/g, con pequeñas diferencias entre los tipos de aceites esenciales y las concentraciones. En los valores del índice de peróxido Rodríguez et al., encontraron valores que fueron aproximadamente de  $1.9 \pm 0.02$  en diferentes muestras. En la presente investigación los valores de peróxidos mostraron algo más de variación, generalmente alrededor de 1.4 a 1.5 meq O<sub>2</sub>/kg, ligeramente inferiores a los reportados por Rodríguez et al. Para el caso del índice de anisidina, los valores de p-anisidina variaron de  $1.1 \pm 0.01$  a  $1.4 \pm 0.01$ , indicando niveles de oxidación secundaria, en el estudio de Rodríguez et al. Y en la presente investigación Los valores de anisidina en el presente estudio fueron generalmente bajos, sugiriendo una mínima oxidación secundaria, especialmente notable en muestras con "Limón real". Y relacionado con los valores de oxidación total (TOTOX) en el estudio de Rodríguez et al., estos oscilaron entre  $4.8 \pm 0.02$  y  $5.5 \pm 0.03$ , indicando el efecto combinado de productos de oxidación primaria y secundaria. De manera similar en estos resultados, los valores de TOTOX fueron igualmente bajos, indicando una buena estabilidad oxidativa, generalmente alrededor de 3.0 a 3.2, lo cual es comparativamente mejor que los resultados de Rodríguez et al. la presente investigación generalmente muestra valores más bajos de peróxidos y TOTOX en comparación con los de Rodríguez et al., indicando una estabilidad oxidativa potencialmente mejor bajo las condiciones estudiadas. Es así como los valores de acidez son ligeramente más altos en la presente investigación, pero dentro de un rango de calidad similar, sugiriendo una buena preservación de la integridad de los ácidos grasos, las variaciones en los valores de anisidina sugirieron que la adición de diferentes aceites esenciales influyó de manera beneficiosa en los procesos de oxidación secundaria.

Comparando con el estudio de Wang et al. (2018), ambos estudios presentaron resultados muy similares en cuanto a la composición de ácidos grasos principales, con pequeñas variaciones en los porcentajes de ácido  $\alpha$ -linolénico y ácido linoleico, también ambos estudios confirmaron una alta actividad antioxidante y una buena estabilidad oxidativa del aceite de Sacha Inchi durante el almacenamiento prolongado.

Un caso con resultados diferentes es el de Souza et al. (2013), quien en su estudio halló el contenido de tocoferol y determinó que es mayor que otras oleaginosas, con mayor presencia de  $\alpha$  – tocoferol y se encuentra en la cáscara. Por lo que este estudio se centró más en el SI completo y no en su AE como fue en el presente estudio.

Similar al anterior, Chirinos et al. (2016), su estudio indicó que tanto el aceite esencial de Sacha Inchi como sus subproductos (cáscaras) tienen un alto potencial antioxidante, mientras que el aceite es rico en ácidos grasos esenciales y tocoferoles, las cáscaras contienen una alta concentración de compuestos fenólicos que pueden ser utilizados como antioxidantes en productos alimenticios. Esta doble funcionalidad del Sacha Inchi lo convierte en un recurso valioso tanto para la nutrición humana como para aplicaciones industriales en alimentos funcionales.

Un caso diferente es el caso de Betalleluz-Pallardel et al. (2012), donde se evaluó la capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos extraídos de los tubérculos de mashua andina (*Tropaeolum tuberosum*) para proteger contra la oxidación del aceite de soja. Al comparar los resultados, se observó que tanto el aceite de Sacha Inchi como los compuestos fenólicos de la mashua andina mostraron una alta capacidad antioxidante, mientras que el aceite de Sacha Inchi era rico en ácidos grasos esenciales y tocoferoles, los compuestos fenólicos de la mashua andina ofrecían una protección significativa contra la oxidación del aceite de soja, ambos estudios destacaron la importancia de los antioxidantes naturales, no solo por su eficacia, sino también por su seguridad y aceptación por parte de los consumidores.

#### **4.3. Estabilidad oxidativa de aceite de Sacha Inchi con adición de aceites esenciales de matico, Limón real y hierba buena**

La Tabla 8 presenta los resultados del índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite de Sacha Inchi (SI) con la adición de aceites esenciales (AE) de matico, limón real y hierba buena, los datos están organizados según la concentración de los aceites esenciales (0.1%, 0.3%, 0.5%) y las temperaturas a las que fueron sometidas las muestras (90°C, 100°C, 110°C) en diferentes intervalos de tiempo (0, 7, 15, 30 y 90 días).

A una temperatura de 90°C, el aceite de Sacha Inchi puro (control) presenta un índice de estabilidad oxidativa (OSI) de 6.717 horas en 0 días, lo que indica una menor estabilidad en comparación con las muestras que contienen aceites esenciales. Con una concentración de 0.1% de AE, el matico muestra una mejora en la estabilidad inicial, alcanzando 8.250 horas, aunque disminuye ligeramente con el tiempo. Por su parte, el limón real y la hierba buena también muestran una mejor estabilidad inicial y una ligera disminución con el tiempo, siendo el AE de limón real ligeramente superior al de matico. Al aumentar la concentración a 0.3% de AE, tanto el matico como el limón real presentan un comportamiento similar, con un aumento significativo en estabilidad, llegando hasta 9.160 horas para el matico. La hierba buena muestra una tendencia similar pero con valores ligeramente menores. Con una concentración de 0.5% de AE, el matico presenta la mayor estabilidad en los primeros días, alcanzando 9.160 horas, y disminuye progresivamente. El limón real y la hierba buena mantienen una buena estabilidad inicial, pero muestran una ligera disminución con el tiempo, siendo el valor más alto de 8.813 horas para la hierba buena.

A una temperatura de 100°C, el aceite puro (control) tiene un OSI inicial de 2.547 horas, menor que a 90°C. Con una concentración de 0.1% de AE, el matico y el limón real muestran un incremento moderado en la estabilidad oxidativa, alcanzando 3.053 horas para el limón real, mientras que la hierba buena presenta una buena estabilidad inicial con 3.093 horas. Con una concentración de 0.3% de AE, el matico mantiene una estabilidad similar a la observada con 0.1%, con un ligero incremento. El limón real y la hierba buena muestran una buena estabilidad, siendo esta

última ligeramente superior. Con una concentración de 0.5% de AE, el matico muestra la mayor estabilidad oxidativa al inicio, con 3.707 horas, disminuyendo con el tiempo. El limón real y la hierba buena mantienen una estabilidad superior con el tiempo, alcanzando la hierba buena 3.130 horas.

A una temperatura de 110°C, el aceite puro (control) muestra la estabilidad más baja, con un OSI de 0.947 horas. Con una concentración de 0.1% de AE, el matico y el limón real presentan un incremento en estabilidad, alcanzando 1.060 horas para el limón real, mientras que la hierba buena presenta la mayor estabilidad inicial con 1.077 horas. Con una concentración de 0.3% de AE, el matico mantiene un buen nivel de estabilidad con 1.150 horas. El limón real y la hierba buena muestran una estabilidad similar, siendo esta última ligeramente superior. Con una concentración de 0.5% de AE, el matico muestra la mayor estabilidad inicialmente, con 1.150 horas. El limón real y la hierba buena mantienen una buena estabilidad, alcanzando la hierba buena 1.083 horas. En conclusión, la adición de aceites esenciales mejora significativamente la estabilidad oxidativa del aceite de Sacha Inchi en comparación con el aceite puro. La concentración de 0.5% de AE, especialmente de hierba buena y matico, muestra los mejores resultados, particularmente a temperaturas más bajas (90°C). La estabilidad tiende a disminuir con el tiempo y el aumento de la temperatura, pero la adición de AE retarda este proceso de oxidación.

Y en la prueba post hoc Tukey se utilizó para evaluar las diferencias entre cada par de tiempos de inducción (0 días, 7 días, 15 días, 30 días y 90 días), con una serie de comparaciones entre diferentes combinaciones de SI con matico, Limón real y hierba buena a varias temperaturas (90°C, 100°C, 110°C) y concentraciones (0.1%, 0.3%, 0.5%). Todas las comparaciones resultaron ser diferentes de manera significativa ( $p < .001$ ) (Ver Tabla 9).

**Tabla 8**

*Estabilidad oxidativa de aceite de SI con adición de aceites esenciales de matico, Limón real y hierba buena*

Temp eratur a (°C)	AE	Índice de estabilidad oxidativa (OSI: horas)															
		Control	0.1%					0.3%					0.5%				
		0 d	7 d	15 d	30 d	90 d	0 d	7 d	15 d	30 d	90 d	0 d	7 d	15 d	30 d	90 d	
90	Matico	6.717± 0.117 <sup>j</sup>	8.250± 0.036 <sup>e</sup>	8.070± 0.026 <sup>g</sup>	7.810± 0.017 <sup>h</sup>	7.720± 0.017 <sup>h</sup>	7.350± 0.010 <sup>i</sup>	8.777± 0.021 <sup>c</sup>	8.777± 0.021 <sup>c</sup>	8.210± 0.010 <sup>ef</sup>	8.120± 0.010 <sup>fg</sup>	7.750± 0.030 <sup>h</sup>	9.160± 0.010 <sup>a</sup>	8.940± 0.010 <sup>b</sup>	8.580± 0.040 <sup>d</sup>	8.487± 0.031 <sup>d</sup>	8.123± 0.025 <sup>fg</sup>
	Limón real	6.717± 0.117 <sup>i</sup>	8.413± 0.015 <sup>bcd</sup>	8.370± 0.010 <sup>cde</sup>	8.263± 0.025 <sup>efg</sup>	8.160± 0.030 <sup>g</sup>	7.743± 0.040 <sup>h</sup>	8.530± 0.038 <sup>ab</sup>	8.443± 0.038 <sup>bc</sup>	8.327± 0.035 <sup>cde</sup> <sub>f</sub>	8.220± 0.026 <sup>fg</sup>	7.803± 0.025 <sup>h</sup>	8.613± 0.006 <sup>a</sup>	8.500± 0.026 <sup>ab</sup>	8.407± 0.021 <sup>bcd</sup>	8.290± 0.020 <sup>def</sup>	7.830± 0.035 <sup>h</sup>
	Hierba buena	6.717± 0.117 <sup>i</sup>	8.537± 0.015 <sup>bcd</sup> <sub>e</sub>	8.430± 0.010 <sup>def</sup>	8.257± 0.025 <sup>fgh</sup>	8.187± 0.030 <sup>h</sup>	7.903± 0.040 <sup>i</sup>	8.700± 0.038 <sup>ab</sup>	8.583± 0.038 <sup>bcd</sup>	8.327± 0.035 <sup>fgh</sup>	8.227± 0.026 <sup>gh</sup>	7.823± 0.025 <sup>i</sup>	8.813± 0.006 <sup>a</sup>	8.653± 0.026 <sup>abc</sup>	8.517± 0.021 <sup>cde</sup>	8.387± 0.020 <sup>efg</sup>	7.880± 0.035 <sup>i</sup>
100	Matico	2.547± 0.099 <sup>j</sup>	2.977± 0.015 <sup>ef</sup>	2.940± 0.026 <sup>f</sup>	2.783± 0.015 <sup>hi</sup>	2.767± 0.012 <sup>hi</sup>	2.693± 0.015 <sup>i</sup>	3.060± 0.030 <sup>e</sup>	3.060± 0.030 <sup>e</sup>	2.917± 0.015 <sup>fg</sup>	2.900± 0.010 <sup>fg</sup>	2.837± 0.021 <sup>gh</sup>	3.707± 0.029 <sup>a</sup>	3.593± 0.015 <sup>b</sup>	3.507± 0.015 <sup>bc</sup>	3.467± 0.015 <sup>c</sup>	3.307± 0.023 <sup>d</sup>
	Limón real	2.547± 0.099 <sup>f</sup>	3.053± 0.015 <sup>ab</sup>	3.033± 0.006 <sup>ab</sup>	2.983± 0.015 <sup>bc</sup>	2.943± 0.015 <sup>c</sup>	2.767± 0.012 <sup>e</sup>	3.083± 0.021 <sup>a</sup>	3.043± 0.021 <sup>ab</sup>	3.030± 0.010 <sup>ab</sup>	2.987± 0.012 <sup>bc</sup>	2.813± 0.021 <sup>de</sup>	3.073± 0.006 <sup>a</sup>	3.047± 0.015 <sup>ab</sup>	3.007± 0.015 <sup>abc</sup>	2.977± 0.012 <sup>bc</sup>	2.857± 0.025 <sup>d</sup>
	Hierba buena	2.547± 0.099 <sup>f</sup>	3.093± 0.006 <sup>abc</sup>	3.060± 0.010 <sup>abc</sup>	3.030± 0.010 <sup>bcd</sup>	3.017± 0.015 <sup>cd</sup>	2.957± 0.042 <sup>de</sup>	3.090± 0.012 <sup>abc</sup>	3.063± 0.012 <sup>abc</sup>	3.037± 0.012 <sup>bcd</sup>	3.010± 0.010 <sup>cd</sup>	2.897± 0.012 <sup>e</sup>	3.130± 0.020 <sup>a</sup>	3.110± 0.010 <sup>ab</sup>	3.080± 0.010 <sup>abc</sup>	3.043± 0.006 <sup>abc</sup> <sub>d</sub>	2.893± 0.032 <sup>e</sup>
110	Matico	0.947± 0.023 <sup>g</sup>	1.037± 0.012 <sup>de</sup>	1.013± 0.015 <sup>def</sup>	0.980± 0.010 <sup>efg</sup>	0.970± 0.010 <sup>fg</sup>	0.947± 0.006 <sup>g</sup>	1.100± 0.010 <sup>abc</sup>	1.100± 0.010 <sup>abc</sup>	1.050± 0.050 <sup>cd</sup>	1.040± 0.040 <sup>cde</sup>	0.983± 0.006 <sup>efg</sup>	1.150± 0.010 <sup>a</sup>	1.117± 0.015 <sup>ab</sup>	1.063± 0.025 <sup>bcd</sup>	1.057± 0.021 <sup>bcd</sup>	1.030± 0.010 <sup>def</sup>
	Limón real	0.947± 0.023 <sup>g</sup>	1.060± 0.010 <sup>a</sup>	1.053± 0.006 <sup>ab</sup>	1.037± 0.010 <sup>abc</sup>	1.027± 0.006 <sup>bcd</sup>	0.997± 0.012 <sup>def</sup>	1.067± 0.006 <sup>a</sup>	1.053± 0.012 <sup>ab</sup>	1.037± 0.006 <sup>abc</sup>	1.027± 0.006 <sup>bcd</sup>	0.993± 0.006 <sup>ef</sup>	1.057± 0.006 <sup>ab</sup>	1.040± 0.010 <sup>abc</sup>	1.027± 0.015 <sup>bcd</sup>	1.020± 0.010 <sup>cde</sup>	0.983± 0.015 <sup>f</sup>
	Hierba buena	0.947± 0.023 <sup>f</sup>	1.077± 0.006 <sup>ab</sup>	1.060± 0.010 <sup>abc</sup>	1.033± 0.010 <sup>cd</sup>	1.030± 0.010 <sup>cd</sup>	1.013± 0.015 <sup>de</sup>	1.090± 0.010 <sup>a</sup>	1.063± 0.015 <sup>abc</sup>	1.040± 0.010 <sup>bcd</sup>	1.033± 0.006 <sup>cd</sup>	1.003± 0.006 <sup>de</sup>	1.083± 0.006 <sup>a</sup>	1.060± 0.010 <sup>abc</sup>	1.040± 0.010 <sup>bcd</sup>	1.027± 0.012 <sup>cd</sup>	0.987± 0.025 <sup>e</sup>

Nota. Elaboración propia

**Tabla 9**

*Tukey Post-Hoc Test – Estabilidad Oxidativa a los 0, 7, 15, 30, 90 días*

	SI (0.1%, 0.3%, 0.5%) H 90°C	SI (0.1%, 0.3%, 0.5%) H 100°C	SI (0.1%, 0.3%, 0.5%) H 110°C	SI (0.1%, 0.3%, 0.5%) L 90°C	SI (0.1%, 0.3%, 0.5%) L 100°C	SI (0.1%, 0.3%, 0.5%) L 110°C	SI (0.1%, 0.3%, 0.5%) M 90°C	SI (0.1%, 0.3%, 0.5%) M 100°C	SI (0.1%, 0.3%, 0.5%) M 110°C
SI (0.1%, 0.3%, 0.5%) H 90°C p-value	—	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001
SI (0.1%, 0.3%, 0.5%) H 100°C p-value		—	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001
SI (0.1%, 0.3%, 0.5%) H 110°C p-value			—	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001
SI (0.1%, 0.3%, 0.5%) L 90°C p-value				—	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001
SI (0.1%, 0.3%, 0.5%) L 100°C p-value					—	< .001	< .001	< .001	< .001
SI (0.1%, 0.3%, 0.5%) L 110°C p-value						—	< .001	< .001	< .001
SI (0.1%, 0.3%, 0.5%) M 90°C p-value							—	< .001	< .001
SI (0.1%, 0.3%, 0.5%) M 100°C p-value								—	< .001
SI (0.1%, 0.3%, 0.5%) M 110°C p-value									—

*Nota. Elaboración propia*



Los resultados de la presente investigación sobre la influencia de los parámetros Rancimat en el aceite de *Sesamum indicum* L. y el estudio de Villanueva et al. (2013) sobre el efecto de adición de aceites esenciales en la estabilidad oxidativa del aceite de SI revelaron puntos similares y otros diferentes que enriquecieron el entendimiento de la estabilidad oxidativa de los aceites vegetales. En los puntos similares ambos estudios demostraron que la temperatura tiene un impacto significativo en la estabilidad oxidativa del aceite, en el estudio de Villanueva et al. (2013), así como en la investigación presente, se observó que, a temperaturas más altas el Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI) disminuye, lo que indica una menor estabilidad y mayor susceptibilidad a la oxidación, esto reflejó la tendencia general de que la velocidad de las reacciones de oxidación aumenta con la temperatura. Otra similitud con el estudio de Villanueva et al. (2013), fue la utilización del el test Rancimat como herramienta de medición, en ambos estudios se evidenció su relevancia para determinar la estabilidad oxidativa de aceites, la metodología permitió evaluar cómo diferentes factores afectaron la resistencia del aceite a la oxidación, proporcionando una base sólida para comparaciones y análisis. Los resultados de la presente investigación también tuvieron diferencias ya que mientras que la investigación se centró en el efecto de adición de aceites esenciales (matico, Limón real, y hierba buena) sobre la estabilidad oxidativa del aceite de SI, el estudio de Villanueva et al. (2013) analizó los parámetros Rancimat (temperatura y flujo de aire) en aceite de *Sesamum indicum* L. sin adición de sustancias. Los aceites esenciales demostraron mejorar la estabilidad oxidativa del aceite de SI, lo que sugiere un potencial antioxidante de estos compuestos que no se exploró en el estudio de Villanueva et al. (2013) comparando el AE SI con el AE de ajonjolí. Las diferencias en la composición de ácidos grasos entre el aceite de SI y el aceite de ajonjolí influyeron en cómo cada uno responde a los factores estudiados. El aceite de SI es conocido por su alto contenido de ácidos grasos omega-3, mientras que el aceite de ajonjolí destacó por su contenido de antioxidantes naturales como el ajonjolí, esta variabilidad en la composición implicó que los resultados de un estudio pueden no ser completamente aplicables al otro tipo de aceite sin

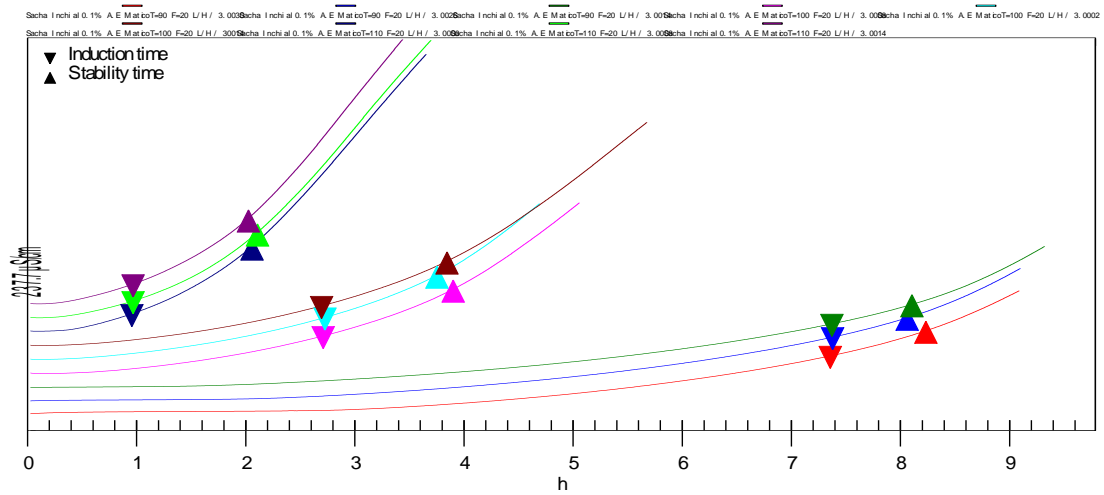
considerar sus propiedades únicas. Además, aunque ambos estudios evaluaron la estabilidad oxidativa, el enfoque sobre los efectos a largo plazo y la duración del almacenamiento varió. La presente investigación proporcionó un análisis detallado de cómo la adición de aceites esenciales afecta la vida útil del aceite de SI a lo largo del tiempo, mientras que Villanueva et al. (2013) se centró más en entender la influencia inmediata de los parámetros Rancimat en el OSI. La discusión entre estos dos estudios mostró la complejidad de la estabilidad oxidativa en aceites vegetales y se subrayó la importancia de considerar una amplia gama de factores, desde la composición del aceite hasta las condiciones externas como la temperatura y la presencia de antioxidantes. Además, se resaltó el potencial de métodos naturales para mejorar la resistencia a la oxidación de los aceites, un área de interés creciente para la industria alimentaria y nutricional. La convergencia en la metodología y los hallazgos fundamentales sobre el impacto de la temperatura proporcionó una base común, mientras que las diferencias en enfoques y resultados refuerzan la necesidad de investigaciones específicas adaptadas a cada tipo de aceite.

#### **4.4.1. Estabilidad Oxidativa del Sacha Inchi con adición de matico**

En la Tabla 8 refleja un estudio sobre la estabilidad oxidativa de aceite de SI cuando se le agrega AE de matico en diferentes concentraciones y se somete a diferentes temperaturas y tiempos de inducción. El OSI mide la resistencia del aceite al proceso de oxidación, por lo que un mayor valor de OSI indica una mayor estabilidad y una mejor resistencia a la oxidación. La columna "control" muestra la resistencia a la oxidación (horas) del aceite de SI sin adición de AE de matico como referencia y las otras columnas representan la adición de matico al aceite en concentraciones del 0.1%, 0.3% y 0.5%, sometido a periodos de 0, 7, 15, 30 y 90 días, y evaluado a temperaturas de 90°C, 100°C y 110°C.

**Figura 29**

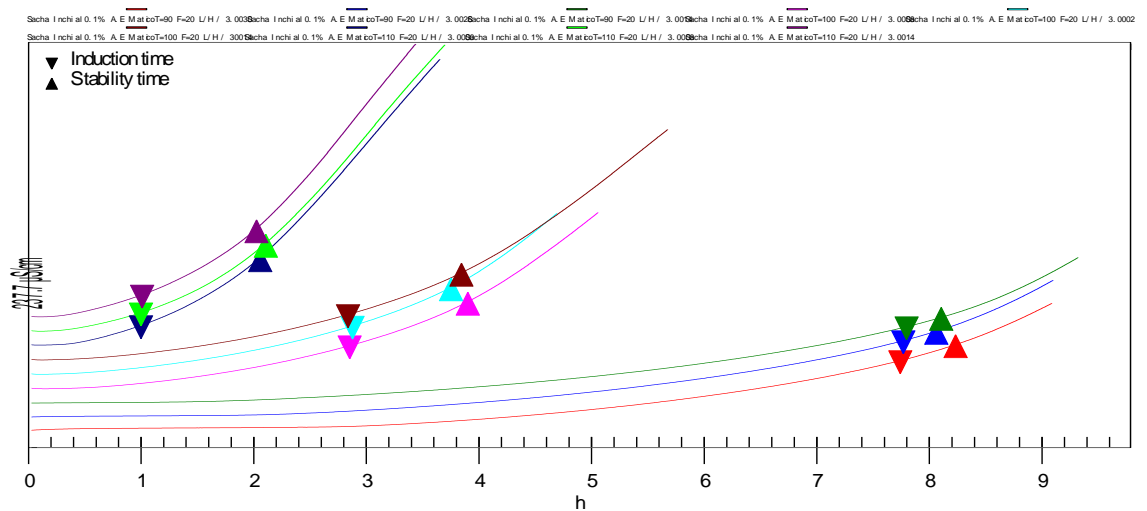
*Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Matico al 0.1%*



Nota. Obtenido de la Tabla 7

**Figura 30**

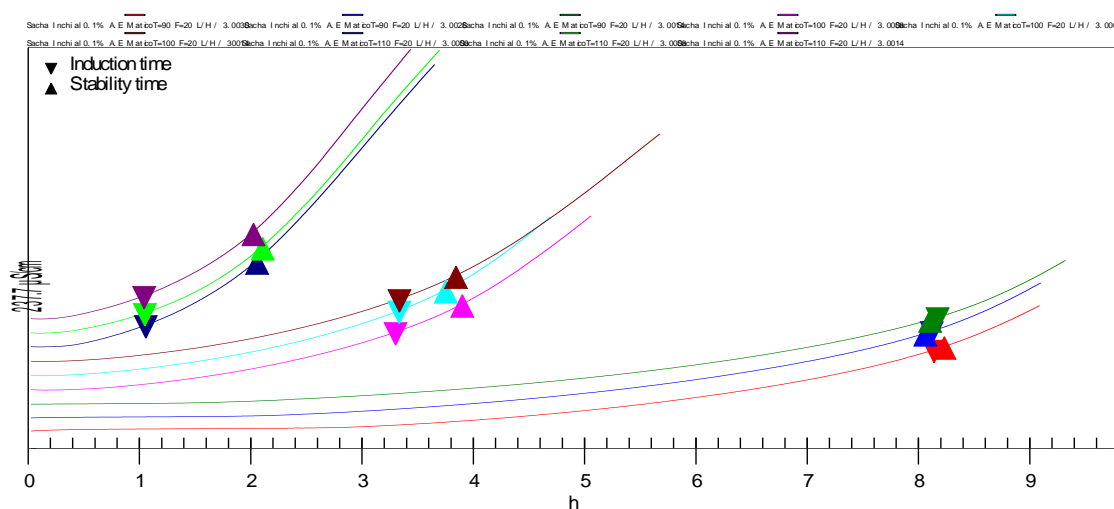
*Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Matico al 0.3%*



Nota. Obtenido de la Tabla 7

**Figura 31**

*Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Matico al 0.5%*



Nota. Obtenido de la Tabla 7

En las Figuras 29, 30 y 31, se observa las curvas de inducción y estabilidad a diferentes temperaturas (90°C, 100°C y 110°C), donde a 90°C, la curva muestra una mayor estabilidad con tiempos de inducción y estabilidad significativamente más altos en comparación con las temperaturas más altas, y al aumentar la temperatura a 100°C y 110°C, tanto los tiempos de inducción como de estabilidad disminuyen notablemente. la concentración de matico al 0.5% muestra la mejor estabilidad oxidativa entre las tres concentraciones evaluadas. A 90°C, la curva presenta los tiempos de inducción y estabilidad más altos, indicando una protección significativa contra la oxidación. Al aumentar la temperatura a 100°C y 110°C, aunque se observa una reducción en los tiempos de inducción y estabilidad, estos siguen siendo superiores a los obtenidos con las concentraciones de 0.1% y 0.3%, esto demuestra que una mayor concentración de matico proporciona una mejor protección antioxidante, aunque la eficacia disminuye a temperaturas más altas.

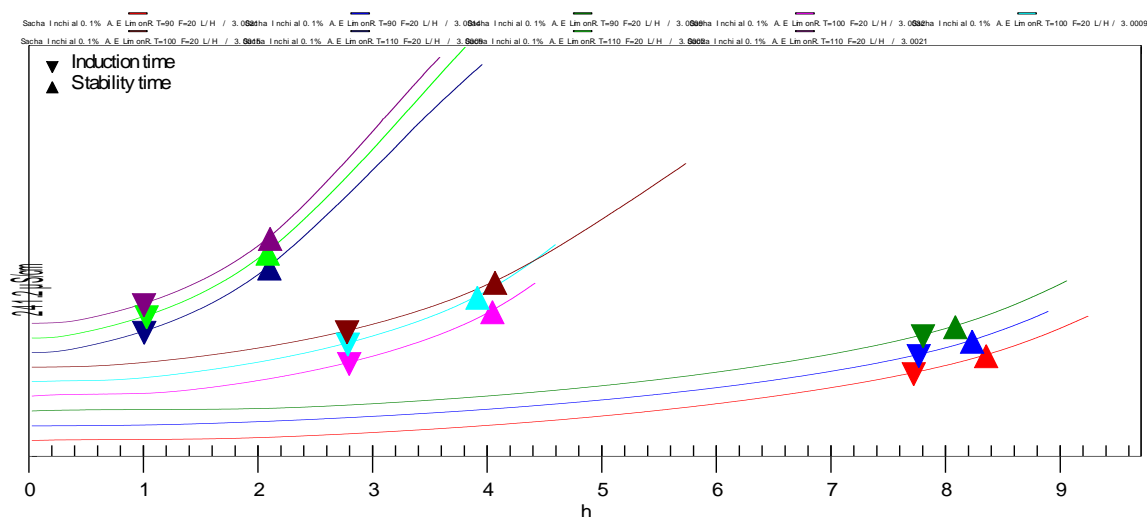
#### 4.4.2. Estabilidad Oxidativa del Sacha Inchi con adición de Limón real

La Tabla 8 se refleja el estudio sobre la estabilidad oxidativa de aceite de SI cuando se le agrega AE de Limón real en diferentes concentraciones,

donde se somete a diferentes temperaturas y tiempos de inducción. El índice de Estabilidad Oxidativa (OSI) mide la resistencia del aceite al proceso de oxidación, por lo que un mayor valor de OSI indica una mayor estabilidad y una mejor resistencia a la oxidación, la columna "CONTROL" muestra el rendimiento del aceite de SI sin adición de aceite esencial de Limón real como referencia y las otras columnas representan la adición de Limón real al aceite en concentraciones del 0.1%, 0.3% y 0.5%, sometido a periodos de 0, 7, 15, 30 y 90 días, y evaluado a temperaturas de 90°C, 100°C y 110°C.

**Figura 32**

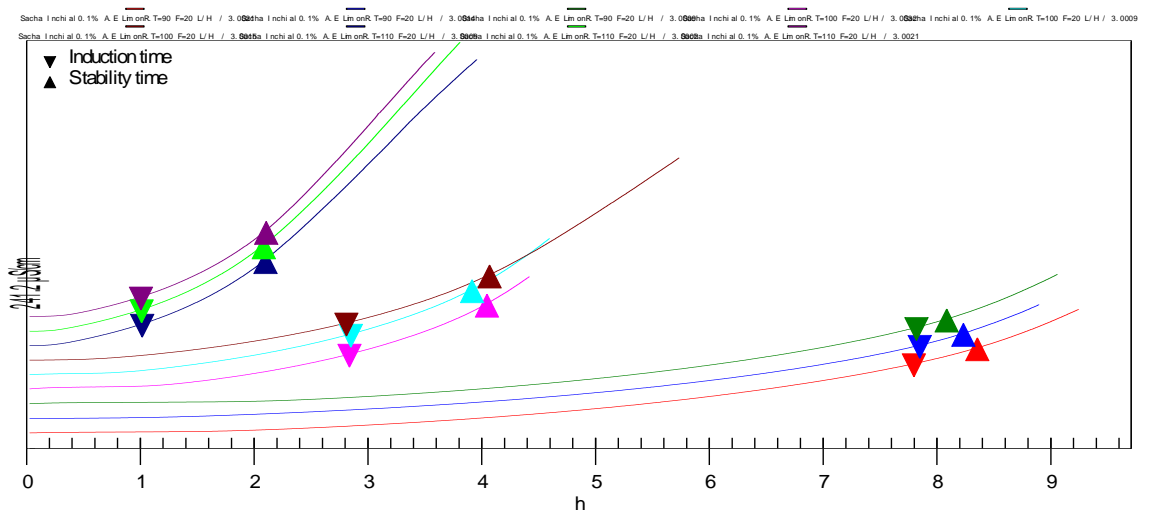
*Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Limón Real 0.1%*



Nota. Obtenido de la Tabla 7

**Figura 33**

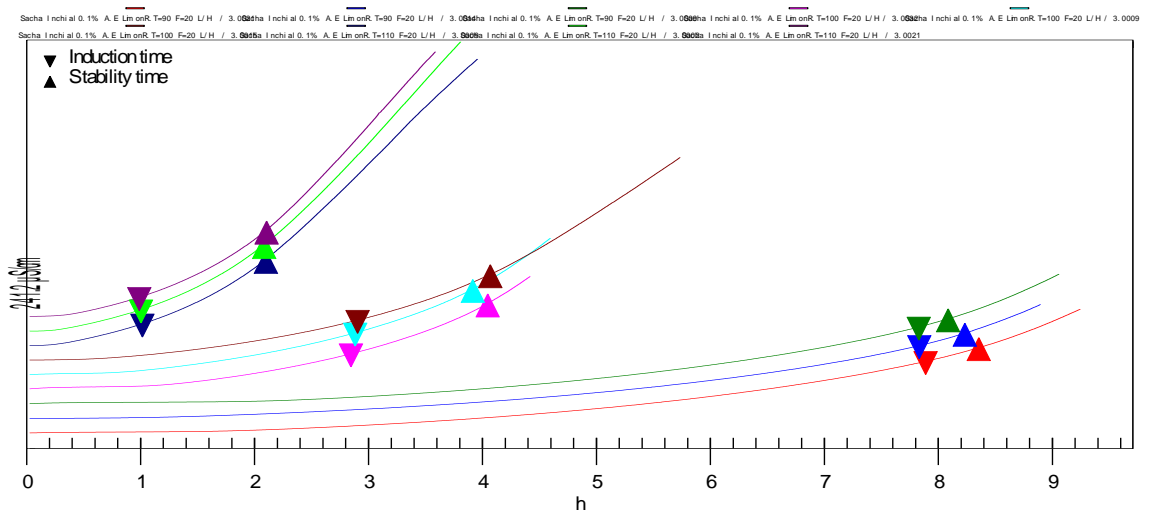
*Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Limón Real 0.3%*



Nota. Obtenido de la Tabla 7

**Figura 34**

*Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Limón Real 0.5%*



Nota. Obtenido de la Tabla 7

En la Figura 32, 33 y 34, se observa las curvas de inducción y estabilidad a diferentes temperaturas (90°C, 100°C y 110°C), donde a 90°C, la curva muestra una mayor estabilidad con tiempos de inducción y estabilidad significativamente más altos en comparación con las temperaturas más

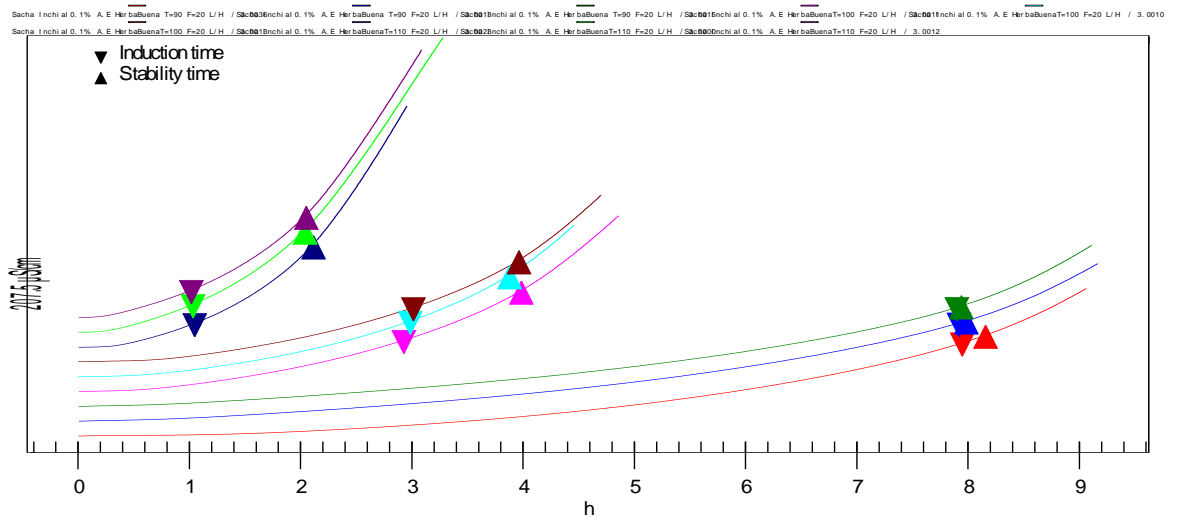
altas, y al aumentar la temperatura a 100°C y 110°C, tanto los tiempos de inducción como de estabilidad disminuyen notablemente. La concentración de matico al 0.5% muestra la mejor estabilidad oxidativa entre las tres concentraciones evaluadas. A 90°C, la curva presenta los tiempos de inducción y estabilidad más altos, indicando una protección significativa contra la oxidación. Al aumentar la temperatura a 100°C y 110°C, aunque se observa una reducción en los tiempos de inducción y estabilidad, estos siguen siendo superiores a los obtenidos con las concentraciones de 0.1% y 0.3%, esto demuestra que una mayor concentración de limón real proporciona una mejor protección antioxidante, aunque la eficacia disminuye a temperaturas más altas.

#### **4.4.3. Estabilidad Oxidativa del Sacha Inchi con adición de hierba buena**

La Tabla 8 refleja un estudio sobre la estabilidad oxidativa de aceite de SI cuando se le agrega AE de hierba buena en diferentes concentraciones y se somete a diferentes temperaturas y tiempos de inducción. El Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI) mide la resistencia del aceite al proceso de oxidación, por lo que un mayor valor de OSI indica una mayor estabilidad y una mejor resistencia a la oxidación, la columna "CONTROL" muestra el rendimiento del aceite de SI sin adición de AE de hierba buena como referencia y las otras columnas representan la adición de hierba buena al aceite en concentraciones del 0.1%, 0.3% y 0.5%, sometido a periodos de 0, 7, 15, 30 y 90 días, y evaluado a temperaturas de 90°C, 100°C y 110°C.

**Figura 35**

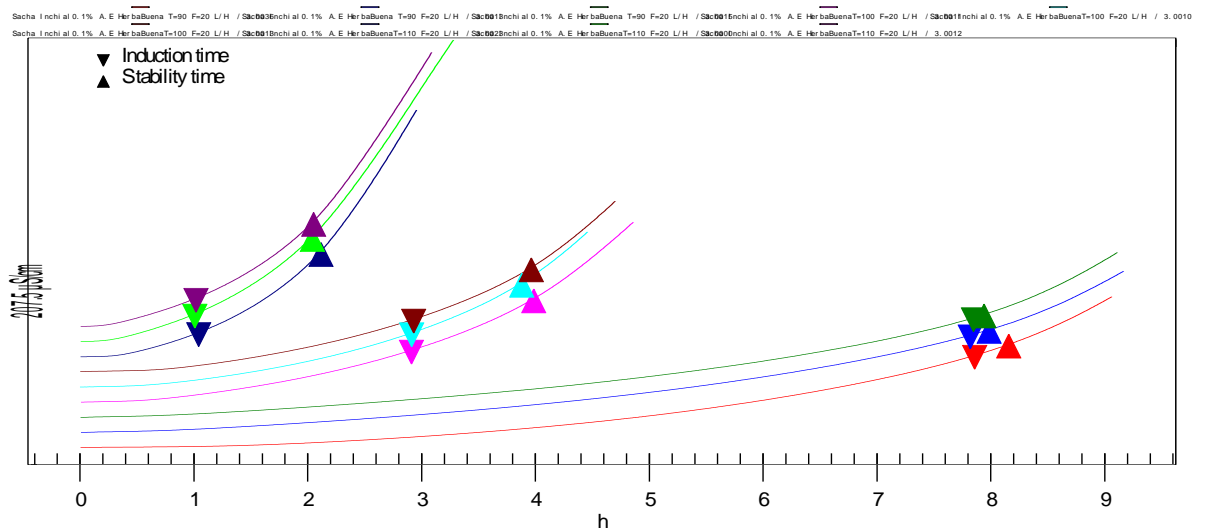
*Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Hierba Buena 0.1%*



Nota. Obtenido de la Tabla 7

**Figura 36**

*Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Hierba Buena 0.3%*

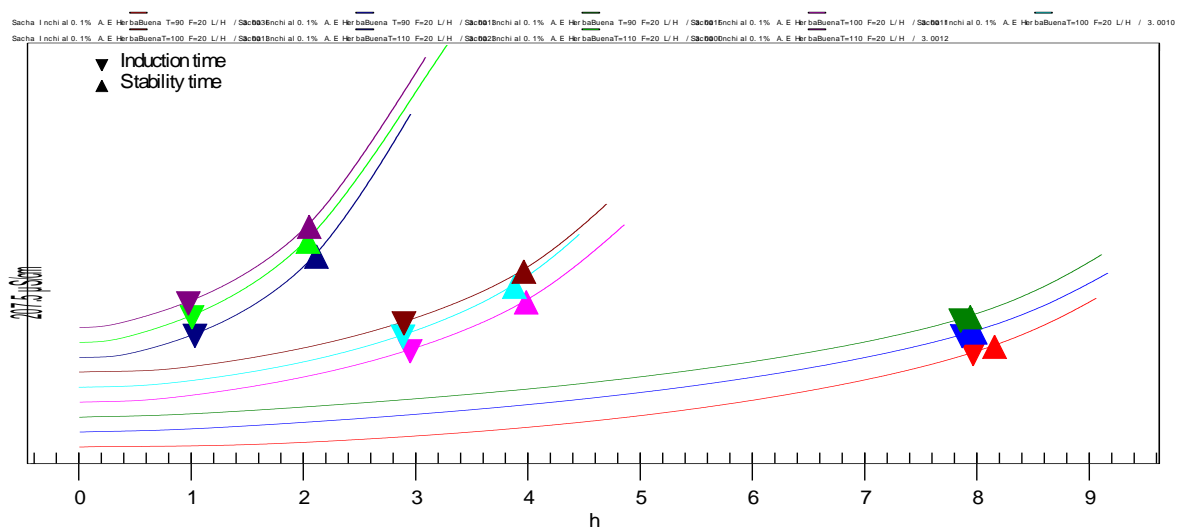


Nota. Obtenido de la Tabla 7



**Figura 37**

*Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Hierba Buena 0.5%*



*Nota.* Obtenido de la Tabla 7

En la Figura 35, 36 y 37, se observa las curvas de inducción y estabilidad a diferentes temperaturas (90°C, 100°C y 110°C), donde a 90°C, la curva muestra una mayor estabilidad con tiempos de inducción y estabilidad significativamente más altos en comparación con las temperaturas más altas, y al aumentar la temperatura a 100°C y 110°C, tanto los tiempos de inducción como de estabilidad disminuyen notablemente. La concentración de matico al 0.5% muestra la mejor estabilidad oxidativa entre las tres concentraciones evaluadas. A 90°C, la curva presenta los tiempos de inducción y estabilidad más altos, indicando una protección significativa contra la oxidación. Al aumentar la temperatura a 100°C y 110°C, aunque se observa una reducción en los tiempos de inducción y estabilidad, estos siguen siendo superiores a los obtenidos con las concentraciones de 0.1% y 0.3%, esto demuestra que una mayor concentración de hierba buena proporciona una mejor protección antioxidante, aunque la eficacia disminuye a temperaturas más altas.

En el estudio de Rodríguez et al. (2015), se consideraron metodologías similares de trabajo con temperaturas diferentes, como por ejemplo dicho estudio halló el índice de estabilidad oxidativa (OSI), a 80, 90, 100°C y 110°C. Hallando valores de  $20,512 \pm 0,02$  h;  $4,645 \pm 0,1$  h;  $1,590 \pm 0,06$  h;

0,493 ± 0,01 h. Concluyendo en resultados similar al del presente estudio, donde a mayor temperatura, el índice de estabilidad oxidativa es menor. De manera similar el estudio de Wei et al. (2021) y la presente investigación compartieron varios puntos en común, en la metodología y en los objetivos relacionados con la evaluación de la estabilidad oxidativa de aceites, utilizando el método Rancimat, ambos estudios abordaron el interés en mejorar la estabilidad oxidativa de los aceites mediante la adición de compuestos con propiedades antioxidantes, aunque desde perspectivas ligeramente diferentes. También, ambos estudios utilizaron el método Rancimat para evaluar la estabilidad oxidativa de los aceites en estudio, lo cual es un enfoque estándar para medir cómo la presencia de antioxidantes afecta el tiempo de inducción de la oxidación de los aceites. Ambos trabajos contribuyen al campo del estudio de antioxidantes naturales en aceites, utilizando metodologías analíticas similares para evaluar la estabilidad oxidativa.

Por otro lado la investigación llevada a cabo por Cadena (2021), que se centró en el estudio de la estabilidad oxidativa del aceite micro encapsulado de SI con la inclusión de antioxidantes, y la investigación actual que examinó el impacto de los aceites esenciales en la misma variable, arrojaron luz sobre distintos aspectos y puntos de divergencia relevantes en el campo. Ambos estudios compartieron un interés común en la estabilidad oxidativa del aceite de SI, destacando la necesidad de preservar las cualidades beneficiosas de estos aceites, ricos en ácidos grasos poliinsaturados, además, ambos investigaron el uso de antioxidantes para mejorar la estabilidad del aceite, aunque variaron en los tipos de antioxidantes examinados, siendo antioxidantes sintéticos y naturales en el caso de Cadena (2021), y aceites esenciales en el estudio actual. La metodología empleada para conservar la estabilidad oxidativa difiere significativamente entre los dos estudios, Cadena (2021) exploró la microencapsulación, un método avanzado que no solo protege el aceite de la oxidación sino que también posibilita su integración en diversas matrices alimenticias y farmacéuticas. Por otro lado, la investigación presente se centró en la adición directa de aceites esenciales al aceite de SI como método para aumentar su resistencia a la oxidación. En cuanto a

los antioxidantes evaluados, Cadena (2021) comparó los efectos de antioxidantes sintéticos y naturales sin enfocarse en los aceites esenciales, mientras tanto, la presente investigación se dedicó exclusivamente a la efectividad de diferentes aceites esenciales, como matico, Limón real y hierba buena, como agentes antioxidantes. Los hallazgos de Cadena (2021) sugirieron la eficacia de la microencapsulación y los antioxidantes específicos en la preservación del aceite de SI, en contraste, la investigación actual proporciona un análisis detallado de cómo diversas concentraciones y tipos de aceites esenciales influyen en la estabilidad oxidativa del aceite, ofreciendo una comparación exhaustiva basada en la naturaleza del AE y las condiciones de almacenamiento. En cuanto a las aplicaciones potenciales, Cadena (2021) abrió caminos hacia el uso del aceite micro encapsulado de SI en un rango más amplio de aplicaciones, gracias a su mejorada protección y la posibilidad de una dosificación precisa, por otro lado, el presente estudio sugirió posibles usos del aceite de SI enriquecido con aceites esenciales en la industria alimentaria y de suplementos, donde se pudieran aprovechar los beneficios antioxidantes y organolépticos de los aceites esenciales. La comparación entre estas investigaciones resalta la variedad de estrategias disponibles para mejorar la estabilidad oxidativa de aceites ricos en ácidos grasos poliinsaturados, como el aceite de SI, además, enfatizó la importancia de la innovación en métodos de conservación y la selección adecuada de antioxidantes para prolongar la vida útil de estos preciados productos, cada enfoque presentó sus propias ventajas y aplicaciones potenciales, demostrando la amplitud de opciones disponibles para investigadores e industrias.

También la investigación presentada por Indriyani et al. (2023), ofrecieron un análisis detallado sobre los compuestos bioactivos en *Citrus aurantifolia*, destacando su potencial antioxidante y sus aplicaciones para mejorar la estabilidad y calidad de alimentos mediante técnicas como la microencapsulación, esta revisión subrayaron la importancia de los compuestos fenólicos, flavonoides, y terpenoides, entre otros, para la conservación de alimentos y la mejora de sus propiedades antioxidantes. Indriyani et al. sugirieron que la estabilidad y eficacia de los compuestos

antioxidantes podían ser significativamente mejoradas mediante la microencapsulación, lo cual tiene implicaciones generales para la conservación de alimentos. Y la presente investigación demostró que la adición de aceites esenciales mejora la estabilidad oxidativa del aceite de SI, con variaciones según la concentración del AE, la temperatura y el tiempo de inducción.

#### **4.4.4. Vida útil de aceite de Sacha Inchi con adición de aceites esenciales de matico, Limón real y hierba buena**

El AE de SI control que obtuvo una vida útil de 164.92 días y con adición de matico al 0.5% en 0 días de inducción aumentó a 338.80 días de vida útil. La variabilidad, medida como desviación estándar (SD), parece ser menor en las muestras con matico, especialmente notable en las concentraciones más altas y tiempos más largos de prueba, indicando una mayor consistencia en la protección contra la oxidación. Los tratamientos con AE de matico al 0.5% muestran la mayor vida útil promedio en comparación con las concentraciones más bajas y el control, sin embargo, con el aumento de los días de inducción y la temperatura, esta vida útil disminuye.

El AE de SI control que obtuvo una vida útil de 164.92 días y con adición de Limón real al 0.5% en 0 días de inducción aumentó a 330.53 días de vida útil. La desviación estándar indica que hay una variabilidad en los resultados, pero esta parece ser menor en las muestras con Limón real, especialmente a concentraciones más altas y tiempos más largos de prueba, indicando una protección consistente contra la oxidación. Los tratamientos con 0.5% de Limón real muestran la mayor vida útil promedio en comparación con las concentraciones más bajas y el control, además esta vida útil es mejor en tiempos de inducción cortos, así como a menor temperatura. La combinación de SI y Limón real se muestra beneficiosa para prolongar la estabilidad del aceite, especialmente a mayores concentraciones.

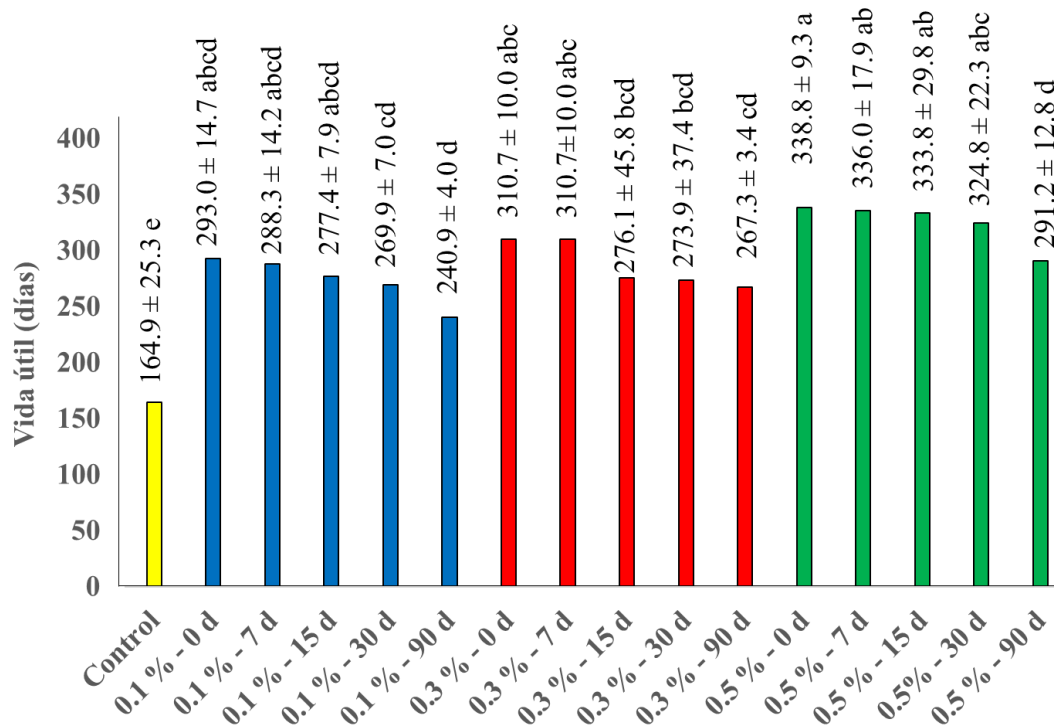
El AE de SI control que obtuvo una vida útil de 164.92 días y con adición de hierba buena al 0.5% en 0 días de inducción aumentó a 335.45 días de vida útil. Al evaluar la desviación estándar (SD), que indica la variabilidad

de los resultados, se observa que las muestras con hierba buena tienden a tener valores más bajos, lo cual sugiere una mayor consistencia en la protección contra la oxidación.

Los tratamientos con 0.5% de hierba buena muestran la mayor vida útil promedio en comparación con las concentraciones más bajas y el control, especialmente en los puntos de tiempo de inducción más cortos, sin embargo, la desviación estándar es bastante alta para el punto de tiempo de 15 días en esta concentración, lo que indica una variabilidad considerable en los resultados. La combinación de SI y hierba buena parece ser beneficiosa para prolongar la estabilidad del aceite, especialmente a mayores concentraciones y en condiciones de estrés térmico.

**Figura 38**

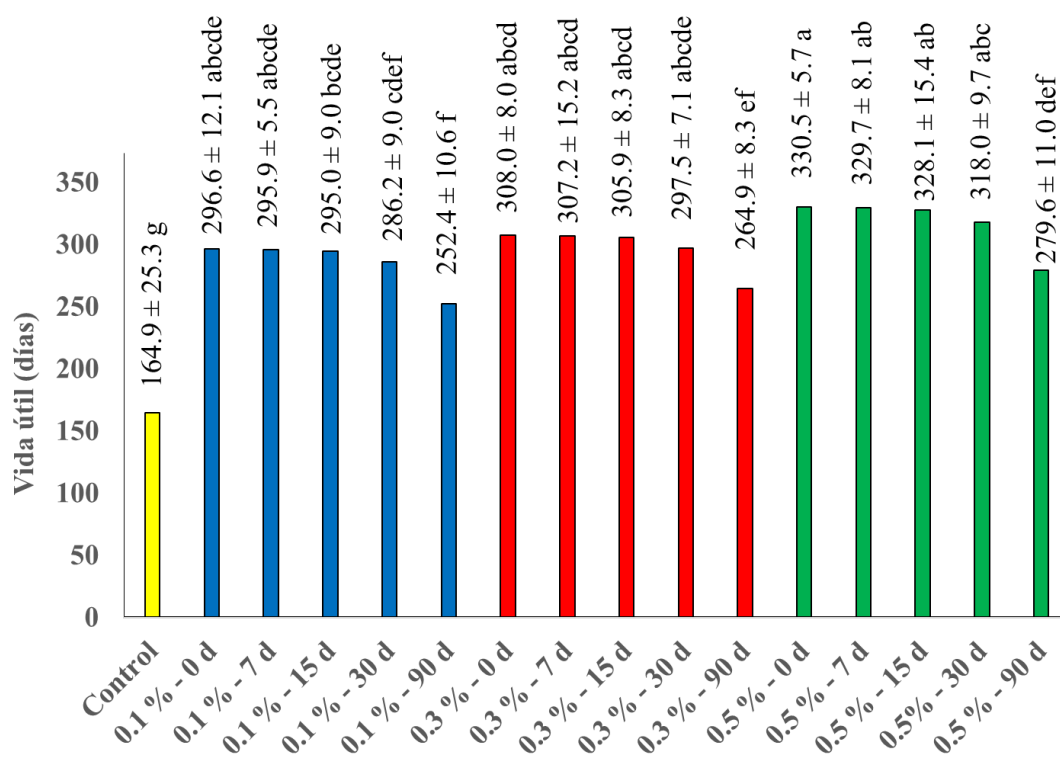
*Vida útil del aceite de SI con adición de aceite de matico a 25°C.*



*Nota.* Letras iguales no presentan diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

**Figura 39**

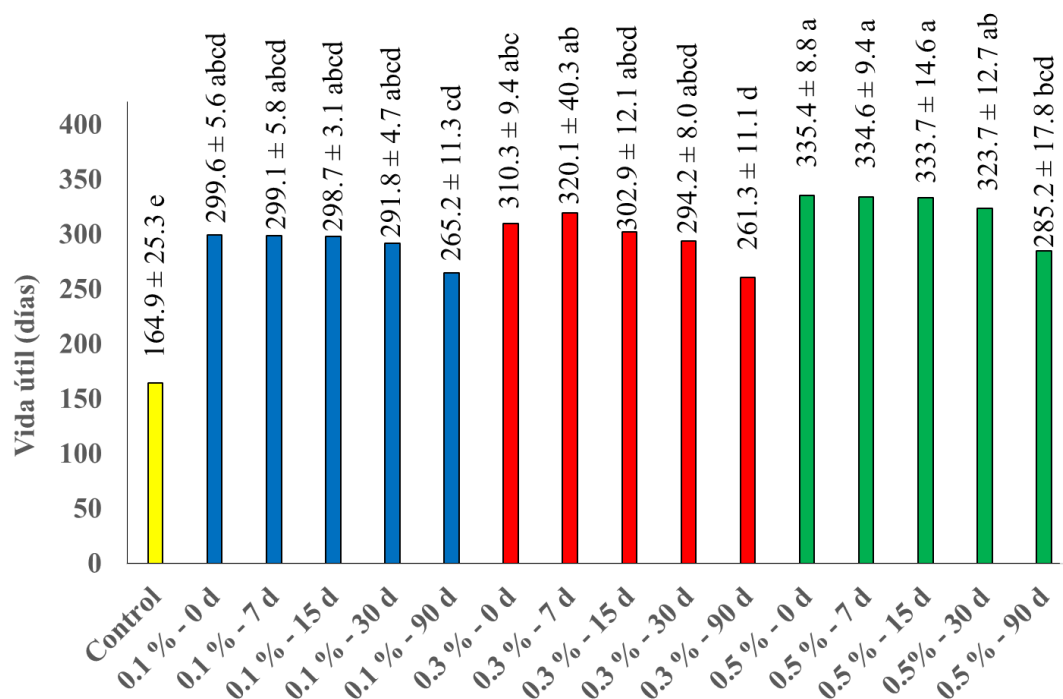
*Vida útil del aceite de SI con adición de aceite de Limón real a 25°C.*



*Nota.* Letras iguales no presentan diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

**Figura 40**

*Vida útil del aceite de SI con adición de aceite de hierba buena a 25°C.*



*Nota.* Letras iguales no presentan diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

### Prueba de normalidad

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk se utilizó para determinar si un conjunto de datos se distribuye de manera normal o paramétrica.

**Tabla 10**

*Test Shapiro-Wilk*

		statistic	p
Matico	Shapiro-Wilk	0.874	0.032
Limón R.	Shapiro-Wilk	0.779	0.001
Hierba B.	Shapiro-Wilk	0.778	0.001

*Nota.* Elaboración propia

Dado que el valor p es menor de 0.05, se rechaza la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución normal, asumiéndose que los datos de la vida útil del matico, Limón real y hierba buena, no se distribuyen de manera normal, es decir que son no paramétricos.

### **Análisis de Varianza (ANOVA) de Medidas Repetidas no paramétrico**

El Análisis de Varianza de Medidas Repetidas no paramétrico, conocido como la prueba de Friedman, ha resultado en un valor de Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) de 3.33 con 2 grados de libertad (df), y un valor de p (0.189), indicando que no hay diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los grupos en estudio.

**Tabla 11**

*Test Friedman*

$\chi^2$	df	p
3.33	2	0.189

*Nota.* Elaboración propia

La prueba de Friedman utilizada demuestra que no existe diferencia significativa para ninguno de los grupos comparados relacionados con la vida útil,

**Tabla 12**

*Test Durbin-Conover de la vida útil del aceite de SI con adición de aceites esenciales de plantas aromáticas a 25°C.*

		Statistic	p
Matico	- Limón R.	0.934	0.358
Matico	- Hierba B.	0.934	0.358
Limón R.	- Hierba B.	1.868	0.072

*Nota.* Elaboración a partir de los datos de las figuras 12, 13 y 14



No existe diferencias significativas en entre todas muestras de vida útil del AE de SI con adicción de aceites esenciales de Matico, Limón Real y Hierba Buena, si bien en las figuras 29, 30 y 31 se puede observar cómo estos aceites esenciales mejoran la vida útil del aceite esencial de SI, y el matico es el que ligeramente mejora la vida útil en comparación con los otros dos, estadísticamente no es significativa la diferencia por lo que cualquiera de las tres aceites esenciales mejora la vida útil.

Además el estudio realizado por Aktar y Adal (2019), abordó el análisis cinético y la estabilidad oxidativa del aceite de aguacate bajo condiciones de prueba de Rancimat, proporcionando información predictiva sobre la vida útil del aceite, este estudio estableció que el aceite de aguacate tiene una vida útil prevista de 210 días a 25 °C, resaltando su potencial como una alternativa funcional a otros aceites debido a su contenido antioxidante y fenólico. La similitud con la presente investigación fue que ambos estudios utilizaron el método Rancimat para evaluar la estabilidad oxidativa, aunque con distintos objetivos, el de Aktar y Adal para predecir la vida útil del aceite de aguacate y el presente estudio para evaluar el efecto de los aceites esenciales en la estabilidad del aceite de SI. Es así como ambas investigaciones resaltaron la importancia de la estabilidad oxidativa en la calidad y conservación de los aceites comestibles, aunque desde enfoques y con aplicaciones específicas diferentes.

También comparando los resultados anteriores con el estudio de Symoniuk et al. (2022), se observó ambos estudios utilizaron también el método Rancimat para determinar la estabilidad a la oxidación de los aceites, un indicador clave de la calidad y la vida útil de los aceites comestibles. Tanto el presente estudio como el de Symoniuk et al. evaluaron el contenido de compuestos antioxidantes en los aceites, esta investigación consideró la efectividad de los aceites esenciales en la mejora de la estabilidad oxidativa del aceite de SI, mientras que Symoniuk et al. analizaron los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante utilizando los métodos DPPH y ABTS. Es así como ambos estudios resaltaron la importancia de los compuestos antioxidantes en la preservación de la calidad de los aceites comestibles.

Liu et al. (2014), también realizaron un estudio sobre la evolución oxidativa del SI, quienes realizaron los análisis mediante cromatografía de gases, estudiando además las características físicoquímicas. Encontraron que el SI es rico en a-linolénico y linoleico 43,5 y 39,6%, contine 161.87 mg/100g de tocofenoles. Y se evaluó la estabilidad del aceite durante un período de doce meses. Los resultados mostraron que el aceite de Sacha Inchi mantiene una estabilidad relativamente buena durante este tiempo, donde los valores de acidez y peróxidos se mantuvieron dentro de los límites aceptables, indicando que el aceite no se ranció significativamente durante el almacenamiento, y considerando que la temperatura y la luz fueron factores críticos que afectaron la estabilidad oxidativa del aceite. Es así que en contraste con la presente investigación, se puede concluir que la temperatura es un factor que afecta a la estabilidad oxidativa.

#### 4.4. Dosis adecuada de aceite esencial que permite mejorar la calidad sensorial del aceite de Sacha Inchi

##### Atributos positivos en el aceite de Sacha Inchi

**Tabla 13**

*Atributos positivos en el aceite de SI*

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Mediana	Desv. típica
Almendrado	600	0	600	0.000	10.000	1.695	2.059
Sacha Inchi	600	0	600	0.000	9.000	2.030	2.331
Maní	600	0	600	0.000	9.000	1.353	1.784
Amargo	600	0	600	0.000	10.000	2.620	2.680
Picante	600	0	600	0.000	9.000	1.208	1.645
Dulce	600	0	600	0.000	10.000	1.382	1.829
Astringente	600	0	600	0.000	9.000	1.607	1.969

*Nota.* Elaboración propia

En el análisis sensorial del aceite de SI, cada uno de los atributos mencionados tiene una relevancia particular basada en la preferencia del

consumidor y la calidad del producto. El rango de 0 a 10 para cada atributo sugiere una escala de intensidad de sabor, teniendo en cuenta que valores más altos en la escala indican una mayor intensidad de ese atributo particular y la desviación estándar indica cuánto varía la percepción del sabor en las muestras (Kemp et al., 2018). Almendrado: Con una media de 1.695, este atributo refleja un sabor suave y agradable similar al de la almendra. La desviación estándar de 2.059 indica una variabilidad relativamente alta en la percepción de este sabor entre las muestras. SI: Este es un atributo clave con una media de 2.030, dado que el aceite está hecho de SI. Una identidad de sabor más fuerte puede hacer que el aceite sea más auténtico y deseable. Maní: Sabor similar al maní, con una media de 1.353, este perfil de sabor también es familiar y preferido por algunos consumidores. Amargo: Aunque el amargor es un sabor natural del SI, su media de 2.620 es la más alta de los atributos, lo cual puede ser tanto positivo. Picante: Un sabor picante tiene una media más baja de 1.208, lo que podría ser menos prominente en la percepción general del sabor. Dulce: La dulzura, con una media de 1.382, es generalmente agradable y puede mejorar la percepción sensorial del aceite equilibrando los sabores amargos o picantes. Astringente: Este sabor tiene una media de 1.607, y aunque está asociado con el sabor natural del SI, una astringencia excesiva podría ser desagradable para algunos consumidores.

### **Atributos negativos en el aceite de Sacha Inchi**

**Tabla 14**

*Atributos negativos en el aceite de SI*

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
Avinado / Vinagre	600	0	600	0.000	10.000	1.533	2.016
Moho - Humedad	600	0	600	0.000	10.000	1.482	1.997

Borras - Turbio	600	0	600	0.000	10.00 0	1.362	1.839
Atrojado	600	0	600	0.000	10.00 0	1.292	1.731
Rancio	600	0	600	0.000	10.00 0	1.415	1.888
Sucio	600	0	600	0.000	9.000	1.168	1.599
Recalentado	600	0	600	0.000	9.000	0.992	1.359
Viejo	600	0	600	0.000	10.00 0	1.182	1.636

---

*Nota.* Elaboración propia

Los atributos negativos del aceite de SI incluyen sabores y olores que generalmente son indeseables y pueden indicar problemas de calidad, como procesos de degradación o malas prácticas de almacenamiento (Kemp et al., 2018). Avinado/Vinagre: Con una media de 1.533 y una desviación estándar de 2.016, este atributo indica la presencia de sabores ácidos que pueden ser percibidos como desagradables y pueden señalar oxidación o fermentación, la presencia de estos atributos en niveles bajos (con medias cercanas a 1 y alejados del 10) sugiere que, estos sabores y olores negativos no son predominantes en las muestras analizadas, en el control de calidad, estos atributos deben ser minimizados para asegurar un producto agradable y de alta calidad para el consumidor. Moho - Humedad: Una media de 1.482 y una desviación estándar de 1.997 sugieren la presencia ocasional de olores o sabores que recuerdan al moho o a humedad, posiblemente debido a contaminación o malas condiciones de almacenamiento. Borras - Turbio: Una media de 1.362 y una desviación estándar de 1.839 indican una percepción baja a moderada de un sabor que puede asociarse con sedimentos o turbidez en el aceite, lo cual puede afectar negativamente la apariencia y la sensación en boca. Atrojado: Con una media de 1.292 y una desviación estándar de 1.731, este término puede referirse a un sabor o aroma estancado o estropeado, típicamente asociado con productos que han estado en malas condiciones de almacenamiento. Rancio: Con una media de 1.415 y una desviación estándar de 1.888, este atributo es significativo ya que

los sabores rancios son un claro indicador de la degradación de los ácidos grasos y una calidad comprometida del aceite. Sucio: Una media de 1.168 y una desviación estándar de 1.599 reflejan la presencia de sabores u olores que se perciben como sucios o desagradables, posiblemente debido a contaminación. Recalentado: La media más baja de 0.992 con una desviación estándar de 1.359 sugiere que es el menos percibido de los atributos negativos, pero aun así indica un sabor a aceite usado o sobrecalentado que puede ser desagradable. Viejo: Con una media de 1.182 y una desviación estándar de 1.636, este atributo sugiere que hay una ligera percepción de que el aceite ha perdido frescura y puede tener un sabor vencido.

### **Atributos positivos en el aceite de Sacha Inchi con otros aceites esenciales**

La tabla 14 muestra los promedios de las percepciones sensoriales para varias muestras de aceite de SI con diferentes concentraciones de aceites esenciales de Matico, Hierba Buena y Limón Real, así como una muestra sin aceites esenciales.

**Tabla 15**

*Atributos positivos en el aceite de SI con otros aceites esenciales*

Muestras	Almendrado	Sacha Inchi	Maní	Amarillo	Picante	Dulce	Astringente
SACHA INCHI MATICO 0.1% (SIMA)	1.017	1.167	1.550	3.800	1.433	1.017	1.233
SACHA INCHI MATICO 0.3% (SIMB)	1.717	2.417	1.383	2.717	1.183	1.567	1.850
SACHA INCHI MATICO 0.5% (SIMC)	1.483	2.350	1.317	2.917	1.317	1.467	1.567
SACHA INCHI HIERBA BUENA 0.1% (SIHA)	1.350	1.317	1.200	1.383	1.150	1.033	1.500
SACHA INCHI HIERBA BUENA 0.3% (SIHB)	2.267	2.067	1.550	2.217	1.183	1.683	2.033
SACHA INCHI HIERBA BUENA	2.117	2.333	1.38	2.617	1.367	1.56	1.583

0.5% (SIHC)			3		7		
SACHA INCHI LIMÓN REAL 0.1% (SILA)	1.633	1.467	1.35 0	3.450	1.450	1.21 7	1.350
SACHA INCHI LIMÓN REAL 0.3% (SILB)	1.883	2.650	0.98 3	2.550	1.133	1.00 0	1.583
SACHA INCHI LIMÓN REAL 0.5% (SILC)	1.733	2.000	1.53 3	2.950	0.917	1.71 7	1.800
SACHA INCHI SIN ACEITES (SINO)	1.750	2.533	1.28 3	1.600	0.950	1.55 0	1.567

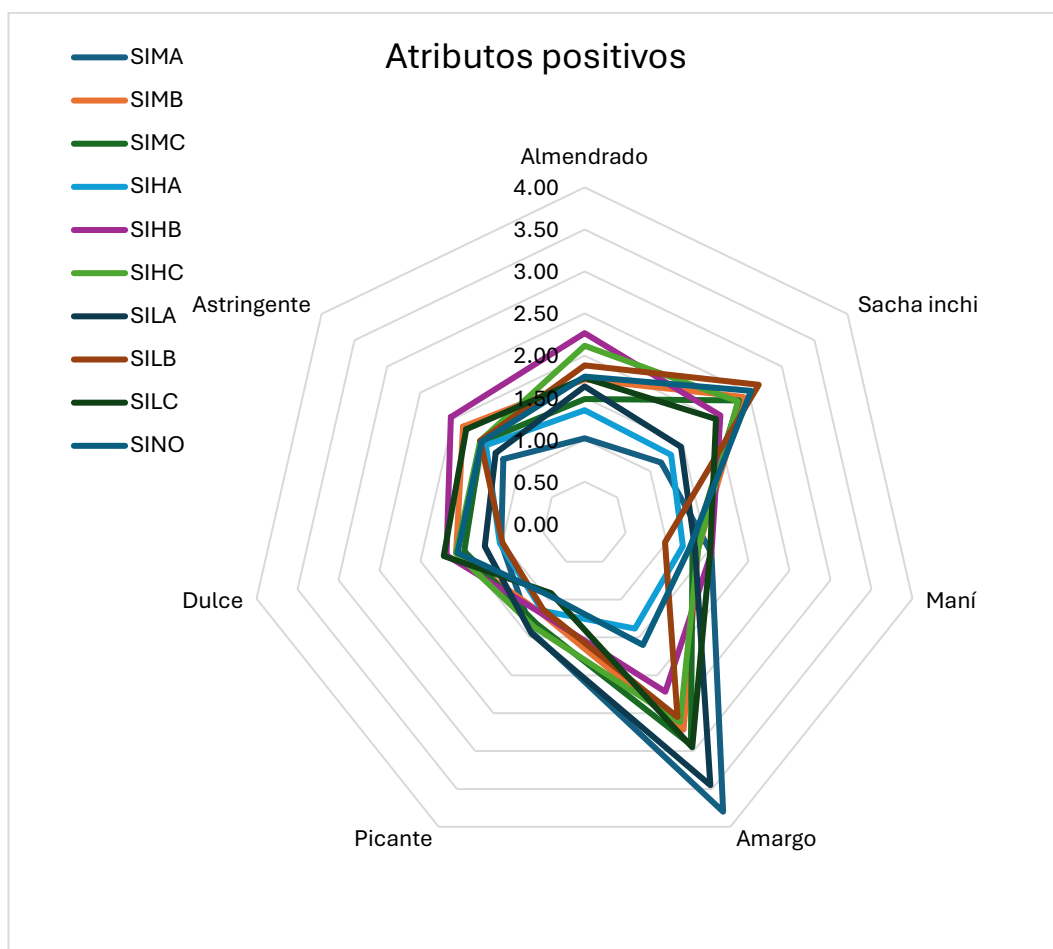
---

*Nota.* Elaboración propia

La muestra SIMA tiene una percepción media en los atributos de almendrado y dulce (aproximadamente 1.0), mientras que su valor más alto está en el atributo amargo (3.8). La muestra SIHB destaca por su sabor almendrado y de SI (ambos por encima de 2), pero tiene un valor bajo en dulce (1.68) y alto en astringente (2.03). Esto sugiere que diferentes concentraciones y tipos de aceites esenciales tienen efectos distintos en la percepción sensorial del aceite de SI.

**Figura 41**

*Atributos positivos del aceite de SI*



*Nota.* Elaborado a partir de la Tabla 15

La gráfica del radar representa visualmente las características sensoriales de las muestras de aceite de SI, lo cual es útil para comparar rápidamente los perfiles de sabor, cada eje representa un atributo diferente, y cada muestra traza una línea que se extiende hacia afuera en cada eje según la intensidad del atributo, esto permite identificar qué muestras tienen mayor o menor percepción de cada atributo positivo. Por ejemplo, si una muestra se extiende más hacia el exterior en el eje "Amargo", significa que la percepción de amargor es más intensa en esa muestra.

Las muestras con Hierba Buena (SIHB y SIHC) y Limón Real (SILC) muestran valores más altos en varios atributos positivos, lo que sugiere que estos aceites esenciales podrían mejorar ciertas características

sensoriales del aceite de SI. Además, la muestra SIN aceites esenciales (SINO) muestra un perfil más balanceado, con valores moderados en la mayoría de los atributos, lo cual podría ser preferible para aquellos que buscan un sabor más neutro, para determinar la dosis adecuada de AE que mejora la calidad sensorial del aceite de SI, sería ideal buscar aquel equilibrio.

### **Atributos negativos en el aceite de Sacha Inchi con otros aceites esenciales**

Los datos proporcionan una comparación directa de los atributos negativos del aceite de SI con y sin adición de aceites esenciales.

**Tabla 16**

*Atributos negativos en el aceite de SI con otros aceites esenciales*

Muestras	Avinado / Vinagre	Moho - Humedad	Borras - Turbio	Atrojado	Rancio	Sucio	Recalentado	Viejo
SACHA INCHI MATICO 0.1% (SIMA)	1.017	1.567	1.750	1.617	1.633	1.500	1.417	1.267
SACHA INCHI MATICO 0.3% (SIMB)	1.667	1.883	1.600	1.333	1.517	1.300	0.933	1.300
SACHA INCHI MATICO 0.5% (SIMC)	1.967	1.817	1.517	1.450	1.833	1.117	1.067	1.333
SACHA INCHI HIERBA BUENA 0.1% (SIHA)	1.400	1.367	1.333	1.267	1.217	1.133	1.167	1.067
SACHA INCHI HIERBA BUENA 0.3% (SIHB)	1.733	1.167	1.300	1.000	1.233	0.983	0.767	1.033
SACHA INCHI HIERBA BUENA 0.5% (SIHC)	2.083	1.883	1.183	1.367	1.500	1.100	1.017	1.133
SACHA INCHI	1.217	1.017	1.317	1.100	1.067	1.083	1.050	1.033



LIMÓN REAL 0.1%								
(SILA)								
SACHA INCHI								
LIMÓN REAL 0.3%	1.800	1.383	1.350	1.450	1.667	1.117	0.967	1.367
(SILB)								
SACHA INCHI								
LIMÓN REAL 0.5%	1.317	1.350	1.200	1.083	1.300	1.217	0.683	1.017
(SILC)								
SACHA INCHI SIN								
ACEITES (SINO)	1.133	1.383	1.067	1.250	1.183	1.133	0.850	1.267

---

*Nota.* Elaboración propia

Analizando uno por uno para identificar las diferencias se puede observar:

**Avinado/Vinagre:** La muestra SIN tiene el valor más bajo (1.133), lo que indica que la adición de aceites esenciales tiende a aumentar la percepción de este defecto, con la muestra SIHC (Hierba Buena al 0.5%) mostrando el valor más alto (2.083).

**Moho - Humedad:** Las muestras SIN y SIHA (Hierba Buena al 0.1%) muestran valores bajos similares, sugiriendo que ciertas dosis de Hierba Buena no afectan mucho este atributo, mientras que las muestras con Matico y Limón Real presentan valores más altos.

**Borras - Turbio:** La muestra SIN (1.067) indica que los aceites esenciales pueden incrementar la percepción de turbiedad en el aceite de SI, especialmente en las muestras SIMA y SIMC con valores de 1.750 y 1.517 respectivamente.

**Atrojado:** Se mantiene relativamente bajo en la muestra SIN (1.250), con un ligero aumento en las muestras con aceites esenciales, lo que sugiere un ligero impacto de los aceites en este atributo.

**Rancio:** La muestra SIN muestra un valor más bajo (1.183) comparado con algunas de las muestras con aceites esenciales, lo cual indica que la adición de ciertos aceites esenciales puede aumentar la percepción de rancidez.

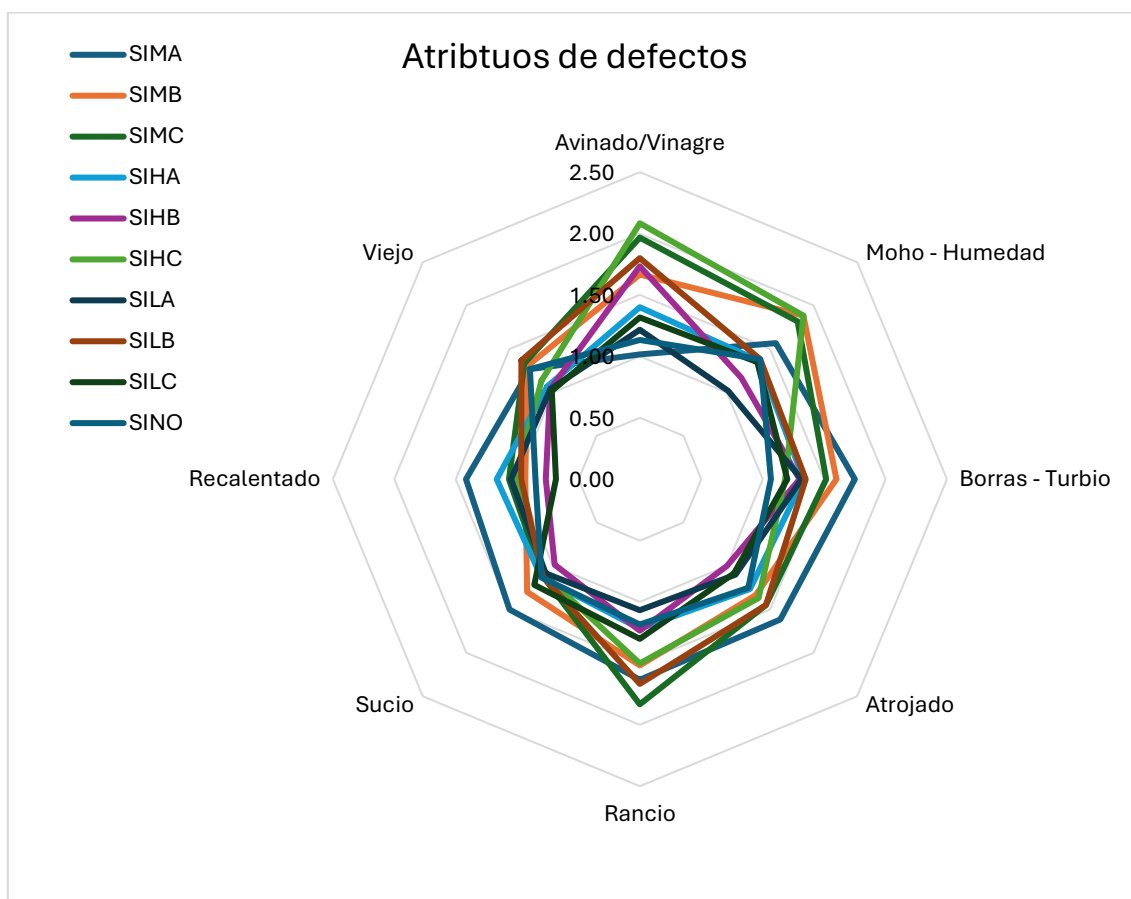
**Sucio:** Los valores son generalmente bajos, pero la muestra SIN tiene uno de los valores más altos (1.133), lo que sugiere que los aceites esenciales no tienen un impacto significativo en este atributo o que incluso podrían disminuirlo.

**Recalentado:** La muestra SIN muestra un valor relativamente bajo (0.850), indicando que algunos aceites esenciales pueden aumentar la sensación de que el aceite ha sido

recalentado. Viejo: Los valores son similares entre la muestra SIN y las muestras con aceites esenciales, indicando que los aceites esenciales no tienen un gran impacto en la percepción de antigüedad del aceite. La inclusión de aceites esenciales en el aceite de SI afecta la percepción de los atributos negativos, aunque no en todos los casos se presenta un incremento, por ejemplo, el AE de Hierba Buena parece mantener bajos los valores de moho-humedad y sucio, mientras que puede incrementar otros como avinado/vinagre y atrojado; el Limón Real y el Matico tienen un impacto variable, pero en algunos casos, como el rancio y el recalentado, pueden incrementar la percepción negativa.

**Figura 42**

*Atributos negativos del aceite de SI*



*Nota.* Elaborado a partir de la Tabla 16

En el gráfico, cada eje radial representa un atributo negativo como avinado/vinagre, moho - humedad, borras - turbio, atrojado, rancio, sucio, recalentado y viejo. La distancia desde el centro hacia el exterior en cada eje indica la intensidad del atributo en la muestra correspondiente.

La interpretación del gráfico de radar señala que la inclusión de aceites esenciales puede aumentar la percepción de ciertos atributos negativos en el aceite de SI, además el gráfico de radar también apunta a la necesidad de optimizar las combinaciones de aceites esenciales y sus concentraciones para mejorar la calidad sensorial del aceite de SI.

### **Nivel de aceptabilidad del Sacha Inchi con aceites esenciales**

Los puntajes de aceptabilidad presentados varían entre 3.133 y 5.167 en una escala de 0 a 10, y proporcionan una visión general de cómo los aceites esenciales pueden influir en la percepción general del aceite de SI.

**Tabla 17**

#### *Nivel de aceptabilidad del SI con aceites esenciales*

Muestras	ACEPTABILIDAD
SACHA INCHI MATICO 0.1% (SIMA)	3.133
SACHA INCHI MATICO 0.3% (SIMB)	4.517
SACHA INCHI MATICO 0.5% (SIMC)	4.733
SACHA INCHI HIERBA BUENA 0.1% (SIHA)	4.200
SACHA INCHI HIERBA BUENA 0.3% (SIHB)	4.767
SACHA INCHI HIERBA BUENA 0.5% (SIHC)	4.617
SACHA INCHI LIMÓN REAL 0.1% (SILA)	4.450
SACHA INCHI LIMÓN REAL 0.3% (SILB)	5.167
SACHA INCHI LIMÓN REAL 0.5% (SILC)	4.867
SACHA INCHI SIN ACEITES (SINO)	5.050

*Nota.* Elaboración propia

SIMA: Tiene la aceptabilidad más baja (3.133), lo cual sugiere que la combinación de SI con esta específica concentración de AE no es preferida.

SIMB y SIMC: Presentan un aumento considerable en la aceptabilidad (4.517 y 4.733 respectivamente) en comparación con SIMA.

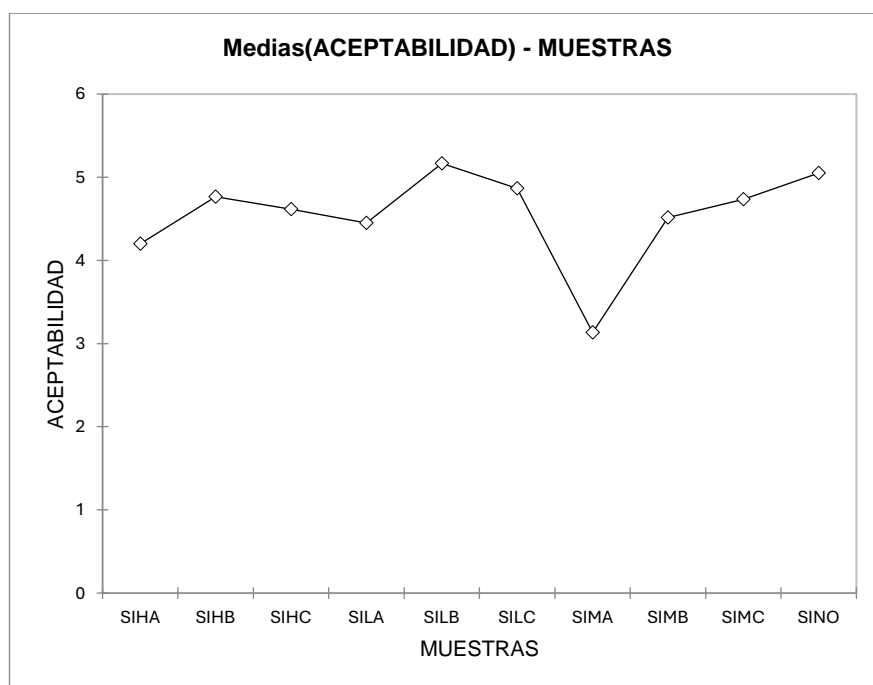
SIHA, SIHB y SIHC: Estas muestras tienen puntajes de aceptabilidad relativamente altos (4.200, 4.767, 4.617), lo que indica una buena recepción de las combinaciones de SI con Hierba Buena en las concentraciones dadas.

SILA, SILB y SILC: Con puntajes de 4.450, 5.167 y 4.867 respectivamente, muestran que las combinaciones con Limón Real son bastante aceptadas, con SILB obteniendo la puntuación más alta entre todas las muestras con aceites esenciales.

SINO: Representa el aceite de SI sin aceites esenciales y tiene un puntaje de 5.050, lo cual es alto y sugiere que la muestra sin adición de aceites esenciales es bastante aceptable, aunque no la más alta.

**Figura 43**

*Nivel de aceptabilidad del SI con aceites esenciales*



*Nota.* Elaborado a partir de la Tabla 17

Estos resultados indican que, si bien la adición de aceites esenciales puede mejorar la aceptabilidad en comparación con la muestra SIMA, la

muestra SINO aún mantiene una alta aceptabilidad, sin embargo, es importante notar que la muestra SILB supera a la muestra SINO, lo que implica que la combinación adecuada de aceites esenciales puede potencialmente mejorar la aceptabilidad del aceite de SI más allá del producto sin adición.

### **Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk), relacionado con la aceptabilidad**

En el contexto de la aceptabilidad del aceite de SI, esta prueba se utilizó para determinar si los puntajes de aceptabilidad se distribuyen normalmente, lo cual es una suposición común en muchos análisis estadísticos.

**Tabla 18**

*Test Shapiro-Wilk*

	<b>statistic</b>	<b>p</b>
Shapiro-Wilk	0.835	0.038

*Nota.* Elaboración propia

Con un valor de 0.038, es menor que el nivel de significación estándar de 0.05. Esto significa que hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula de que los datos se distribuyen normalmente.

### **Análisis paramétrico BONFERRONI entre categorías**

En la tabla 18, se comparan diferentes muestras de aceite de SI para ver si hay diferencias estadísticamente significativas en sus niveles de aceptabilidad. Este análisis también ayuda a confirmar qué diferencias de aceptabilidad son lo suficientemente robustas para superar el umbral más estricto del error tipo I ajustado por el número de comparaciones.

**Tabla 19***Test paramétrico Bonferroni entre categorías*

Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
SILB vs SIMA	2.033	6.794	3.279	< 0.0001	Sí
SILB vs SIHA	0.967	3.230	3.279	0.001	No
SILB vs SILA	0.717	2.394	3.279	0.017	No
SILB vs SIMB	0.650	2.172	3.279	0.030	No
SILB vs SIHC	0.550	1.838	3.279	0.067	No
SILB vs SIMC	0.433	1.448	3.279	0.148	No
SILB vs SIHB	0.400	1.336	3.279	0.182	No
SILB vs SILC	0.300	1.002	3.279	0.317	No
SILB vs SINO	0.117	0.390	3.279	0.697	No
SINO vs SIMA	1.917	6.404	3.279	< 0.0001	Sí
SINO vs SIHA	0.850	2.840	3.279	0.005	No
SINO vs SILA	0.600	2.005	3.279	0.046	No
SINO vs SIMB	0.533	1.782	3.279	0.075	No
SINO vs SIHC	0.433	1.448	3.279	0.148	No
SINO vs SIMC	0.317	1.058	3.279	0.291	No
SINO vs SIHB	0.283	0.947	3.279	0.344	No
SINO vs SILC	0.183	0.613	3.279	0.540	No
SILC vs SIMA	1.733	5.791	3.279	< 0.0001	Sí
SILC vs SIHA	0.667	2.227	3.279	0.026	No
SILC vs SILA	0.417	1.392	3.279	0.164	No
SILC vs SIMB	0.350	1.169	3.279	0.243	No
SILC vs SIHC	0.250	0.835	3.279	0.404	No
SILC vs SIMC	0.133	0.445	3.279	0.656	No
SILC vs SIHB	0.100	0.334	3.279	0.738	No
SIHB vs SIMA	1.633	5.457	3.279	< 0.0001	Sí
SIHB vs SIHA	0.567	1.893	3.279	0.059	No
SIHB vs SILA	0.317	1.058	3.279	0.291	No
SIHB vs SIMB	0.250	0.835	3.279	0.404	No
SIHB vs SIHC	0.150	0.501	3.279	0.616	No
SIHB vs SIMC	0.033	0.111	3.279	0.911	No
SIMC vs SIMA	1.600	5.346	3.279	< 0.0001	Sí
SIMC vs SIHA	0.533	1.782	3.279	0.075	No
SIMC vs SILA	0.283	0.947	3.279	0.344	No
SIMC vs SIMB	0.217	0.724	3.279	0.469	No
SIMC vs SIHC	0.117	0.390	3.279	0.697	No

SIHC vs SIMA	1.483	4.956	3.279	< 0.0001	Sí
SIHC vs SIHA	0.417	1.392	3.279	0.164	No
SIHC vs SILA	0.167	0.557	3.279	0.578	No
SIHC vs SIMB	0.100	0.334	3.279	0.738	No
SIMB vs SIMA	1.383	4.622	3.279	< 0.0001	Sí
SIMB vs SIHA	0.317	1.058	3.279	0.291	No
SIMB vs SILA	0.067	0.223	3.279	0.824	No
SILA vs SIMA	1.317	4.399	3.279	< 0.0001	Sí
SILA vs SIHA	0.250	0.835	3.279	0.404	No
SIHA vs SIMA	1.067	3.564	3.279	0.000	Sí

*Nota.* Elaboración propia

**Contraste:** Representa el par de muestras que se están comparando.

**Diferencia:** Es la diferencia en las medias de aceptabilidad entre dos muestras.

**Diferencia estandarizada:** Es la diferencia entre las medias dividida por la desviación estándar; valores más altos indican una mayor diferencia relativa entre las muestras.

**Valor crítico:** Es el valor umbral ajustado por el número de comparaciones que se están realizando, para ser considerada estadísticamente significativa, la diferencia estandarizada debe superar este valor crítico.

**Pr > Dif:** El valor-p ajustado, que indica la probabilidad de observar una diferencia tan grande o mayor por casualidad, si las medias fueran realmente iguales. En la tabla se observó que la diferencia es estadísticamente significativa después del ajuste de Bonferroni.

Se tiene SILB vs SIMA: Con un valor-p de <0.0001, la diferencia de aceptabilidad entre estas muestras es estadísticamente significativa, y SILB es significativamente más aceptable que SIMA.

SILB vs SIHB: Con un valor-p de 0.182, la diferencia de aceptabilidad no es estadísticamente significativa.

SINO vs SIMA: Con un valor-p de <0.0001, la diferencia de aceptabilidad entre estas muestras es estadísticamente significativa, y SINO es significativamente más aceptable que SIMA.

Según el análisis Bonferroni, algunas combinaciones de aceite de SI y aceites esenciales son significativamente más aceptables que otras.

Comparando esto con el estudio de Chahdoura et al. (2023), que investigó la aromatización de aceite de oliva virgen extra (EVOO) con ingredientes aromáticos (romero, Limón, y naranja) y su impacto en la calidad, composición química, y estabilidad oxidativa. Ambos estudios se centran en cómo los aditivos naturales (aceites esenciales en tu estudio e ingredientes aromáticos en el de Chahdoura et al.) pueden mejorar la estabilidad oxidativa de los aceites, utilizando el método Rancimat como herramienta de evaluación. Además, tanto tu investigación como la de Chahdoura et al. exploran el potencial de los compuestos naturales para enriquecer las propiedades organolépticas y funcionales de los aceites, destacando la eficacia de estos compuestos no solo en la mejora sensorial sino también en la protección antioxidante de los aceites. Es así como los resultados de ambos estudios sugieren que la incorporación de aceites esenciales y otros compuestos naturales en aceites comestibles no solo mejora su estabilidad y propiedades sensoriales, sino que también puede contribuir a la creación de nuevos productos alimenticios con beneficios saludables añadidos.



## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

La investigación demostró que la estabilidad oxidativa y calidad sensorial del aceite de *Plukenetia volubilis* L. (aceite de Sacha Inchi) mejoran significativamente con la incorporación de aceites esenciales de especies aromáticas de Jaén, Perú. La adición de aceites esenciales de *Citrus limon* (Limón real), *Piper aduncum* (matico), y *Mentha spicata* (hierba buena) mostró un efecto protector contra la oxidación y un enriquecimiento del perfil sensorial del aceite, destacando el papel fundamental de estas especies aromáticas en la preservación y mejora de las propiedades del aceite de SI.

La extracción de aceites esenciales mediante arrastre de vapor se realizó con éxito, identificándose componentes volátiles clave como el (-)-Carvone, (-)- $\beta$ -Pinene, Linalool, Alpha-Pinene, Eugenol,  $\beta$ -Citral, y  $\alpha$ -Citral en diferentes concentraciones según la especie aromática, este método demostró ser eficaz para obtener aceites esenciales con perfiles químicos ricos y variados, lo que subraya la viabilidad de utilizar estas especies para fines nutracéuticos, aromaterapéuticos y de la industria alimentaria en general.

El análisis de las características fisicoquímicas reveló que el aceite de SI presenta índices de peróxidos, anisidina, yodo, y acidez dentro de rangos que sugieren una alta calidad y estabilidad intrínseca, la adición de aceites esenciales afectó positivamente estos índices, reduciendo la formación de compuestos de oxidación y manteniendo las cualidades nutricionales y sensoriales del aceite.

Los resultados indicaron que la adición de aceites esenciales mejora significativamente la estabilidad oxidativa del aceite de Sacha Inchi en comparación con el control (aceite puro), donde la concentración de 0.5% de AE de Matico muestra los mejores resultados, especialmente a las temperaturas más bajas (90°C), es decir que la estabilidad tiende a disminuir con el tiempo y la temperatura, pero la adición de AE retarda este proceso.

La incorporación de aceites esenciales mejoró notablemente la calidad sensorial del aceite de SI, siendo las dosis de 0.3% particularmente efectivas en enriquecer el aroma y sabor; la preferencia sensorial hacia estas dosificaciones subraya el potencial del aceite esencial de Limón real no solo en la mejora de la estabilidad oxidativa sino también en la potenciación de las características sensoriales deseables en el aceite de SI.

Como conclusión general, esta investigación resalta el valor de los aceites esenciales de especies aromáticas de Jaén como aditivos naturales capaces de mejorar tanto la estabilidad como las propiedades sensoriales del aceite de SI, contribuyendo a su aplicación potencial en la industria alimentaria y nutracéutica.

## **5.2. Recomendaciones**

Se recomienda realizar estudios adicionales para optimizar las dosis de aceites esenciales, considerando un balance entre la mejora de la estabilidad oxidativa y la preservación o mejora de las características sensoriales del aceite de SI.

Sería provechoso investigar combinaciones de diferentes aceites esenciales para evaluar efectos sinérgicos que puedan ofrecer mejoras adicionales en la estabilidad y las propiedades sensoriales del aceite de SI.

Se sugiere realizar estudios de estabilidad a largo plazo para evaluar cómo las mejoras observadas en la estabilidad oxidativa y la calidad sensorial se mantienen bajo condiciones de almacenamiento variadas y a lo largo del tiempo.

Realizar estudios de aceptación del consumidor para determinar la recepción de las modificaciones sensoriales introducidas por los aceites esenciales y ajustar las formulaciones de acuerdo con las preferencias del mercado.

Analizar la viabilidad económica de la incorporación de aceites esenciales en la producción de aceite de SI, considerando los costos de extracción y adición de estos compuestos, así como su impacto en el precio final del producto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aktar, T., & Adal, E. (2019). Determining the Arrhenius Kinetics of Avocado Oil: Oxidative Stability under Rancimat Test Conditions. *Foods*, 8(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/foods8070236>
- Alberca Erickson, & Aramburu Flor. (2015). *Mayonesa de aceite de Sacha Inchi*. 160.
- Altamirano, I. V. A. (2015). *Assesment of antioxidant activity of four Croton Species*. Universidad Central del Ecuador.
- Álvarez, M. R., Meléndez, L. A., & Cosío, S. M. R. (2012). *PROYECTO SAGARPA-CONACYT 126183*. 47.
- AOAC. (2015). *AOAC 991.39-1995, Fatty acids in encapsulated fish oils and fish—\$14.30: AOAC Official Method*.  
[http://www.aocofficialmethod.org/index.php?main\\_page=product\\_info&products\\_id=592](http://www.aocofficialmethod.org/index.php?main_page=product_info&products_id=592)
- AOAC. (2023). *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/9780197610145.001.0001>
- AOCS. (2017a). *AOCS Official Method Cc 7-25*.  
<https://myaccount.aocs.org/PersonifyEbusiness/language/es-AR/Store/Product-Details/productId/111511>
- AOCS. (2017b). *AOCS Official Method Cd 3d-63*.  
<https://myaccount.aocs.org/PersonifyEbusiness/Store/Product-Details?productId=111545>
- AOCS. (2017c). *AOCS Official Method Cd 18-90*.  
<https://myaccount.aocs.org/PersonifyEbusiness/Store/Product-Details?productId=111529>

- AOCS. (2022). *AOCS Official Method Cd 12b-92*.  
<https://myaccount.aocs.org/PersonifyEbusiness/Store/Product-Details?productId=111524>
- Avello, M., & Suwalsky, M. (2006). Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. *Atenea (Concepción)*, 494, 161-172.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-04622006000200010>
- Bermúdez Vásquez, M. J., Granados Chinchilla, F., & Molina, A. (2019). Composición química y actividad antimicrobiana del aceite esencial de *Psidium guajava* y *Cymbopogon citratus*. *Agronomía Mesoamericana*, 30(1), Article 1.
- Betalleluz-Pallardel, I., Chirinos, R., Rogez, H., Pedreschi, R., & Campos, D. (2012). Phenolic compounds from Andean mashua (*Tropaeolum tuberosum*) tubers display protection against soybean oil oxidation. *Food Science and Technology International*, 18(3), 271-280.  
<https://doi.org/10.1177/1082013211427794>
- Cabezas-Zábala, C. C., Hernández-Torres, B. C., & Vargas-Zarate, M. (2016). Aceites y grasas: Efectos en la salud y regulación mundial. *Revista de la Facultad de Medicina*, 64(4), 761.  
<https://doi.org/10.15446/revfacmed.v64n4.53684>
- Cadena Vallejos, D. F. (2021). *Estabilidad oxidativa del aceite microencapsulado de la semilla de Sacha Inchi con adición de un antioxidante sintético y natural*.  
<https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/www.dspace.uce.edu.ec>

- Cañigueral, S., & Vila, R. (2007). *LOS ACEITES ESENCIALES EN FITOTERAPIA*.
- Carrillo, C., Cavia, M. <sup>a</sup> M., & Alonso-Torre, S. (2012). Papel del ácido oleico en el sistema inmune; mecanismo de acción: Revisión científica. *Nutrición Hospitalaria*, 27(4), 978-990. <https://doi.org/10.3305/nh.2012.27.4.5783>
- Chahdoura, H., Mzoughi, Z., Ziani, B. E. C., Chakroun, Y., Boujbiha, M. A., Bok, S. E., M'hadheb, M. B., Majdoub, H., Mnif, W., Flamini, G., & Mosbah, H. (2023). Effect of Flavoring with Rosemary, Lemon and Orange on the Quality, Composition and Biological Properties of Olive Oil: Comparative Study of Extraction Processes. *Foods*, 12(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/foods12061301>
- Chirinos, R., Necochea, O., Pedreschi, R., & Campos, D. (2016). Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis L.*) shell: An alternative source of phenolic compounds and antioxidants. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(4), 986-993. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13049>
- Domínguez Alba, A. P., & Jimenez Gonzales, D. L. (2017). Caracterización y estimación de la vida útil del aceite de castaña (*bertholletia excelsa*) mediante pruebas aceleradas. *Universidad Nacional del Santa*. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/2794>
- Escudero, D. F. R. (2013). *CARACTERIZACIÓN Y TRAZABILIDAD DEL ACEITE DE SACHA INCHI (Plukenetia volubilis Linneo)*. 239.
- Esquivel, A., & Aguilar, P. V. (2007). Uso de aceites esenciales extraídos por medio de fluidos supercríticos para la elaboración de alimentos funcionales. *Tecnología en marcha*, 20(4), 7.

- Gutierrez, A., & Estévez, A. (2009). *RELEVANCIA DE LOS PRODUCTOS NATURALES EN EL DESCUBRIMIENTO DE NUEVOS FÁRMACOS EN EL S. XXI*. 11.
- Haro, A. M., Artacho, R., & Cabrera-Vique, C. (2006). Ácido linoleico conjugado: Interés actual en nutrición humana. *Medicina Clínica*, 127(13), 508-515.  
<https://doi.org/10.1157/13093270>
- Hernández, D., & Mc Cord, J. (2007). *Evolución y radicales libres*.
- Indriyani, N. N., Anshori, J. A., Permadi, N., Nurjanah, S., & Julaeha, E. (2023). Bioactive Components and Their Activities from Different Parts of Citrus aurantifolia (Christm.) Swingle for Food Development. *Foods*, 12(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/foods12102036>
- ISO. (2018). *ISO 3961:2018 Animal and vegetable fats and oils—Determination of iodine value*. ISO. <https://www.iso.org/standard/71868.html>
- Jurado Teixeira, B., Aparcana Aaturima, I. M., Villarreal Inca, L. S., Ramos Llica, E., Calixto Cotos, M. R., Hurtado Manrique, P. E., & Acosta Alfaro, K. M. del C. (2016). Evaluación del contenido de polifenoles totales y la capacidad antioxidante de los extractos etanólicos de los frutos de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) de diferentes lugares del Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 82(3), 272-279.
- Kemp, S., Hort, J., & Hollowood, T. (2018). *Descriptive analysis in sensory evaluation*. Wiley Blackwell.
- Laboratorio Química Analítica, Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México, Leos-Rivas, C., Rivas-Morales, C., & García-Hernández, D. G. (2016). Actividad antioxidante y toxicidad. En Universidad Autónoma de Nuevo León, México, C. Rivas-

- Morales, M. A. Oranday-Cárdenas, & M. J. Verde-Star, *Investigación en plantas de importancia médica* (1.<sup>a</sup> ed., pp. 41-76). OmniaScience.  
<https://doi.org/10.3926/oms.333>
- Liu, Q., Xu, Y. K., Zhang, P., Na, Z., Tang, T., & Shi, Y. X. (2014). Chemical composition and oxidative evolution of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil from Xishuangbanna (China). *Grasas y Aceites*, 65(1), e012.  
<https://doi.org/10.3989/gya.075713>
- Magalhães, D., Vilas-Boas, A. A., Teixeira, P., & Pintado, M. (2023). Functional Ingredients and Additives from Lemon By-Products and Their Applications in Food Preservation: A Review. *Foods*, 12(5), Article 5.  
<https://doi.org/10.3390/foods12051095>
- Martínez, A. (2003). Aceites esenciales. *J. Nat. Prod*, 59(1), 77-79.
- Martínez-Pabón, M. C., & Ortega-Cuadros, M. (2020). Thymol, menthol, and eucalyptol as agents for microbiological control in the oral cavity: A scoping review. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 49(1). <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v49n1.87006>
- Mata, R., Pachur, T., Von Helversen, B., Hertwig, R., Rieskamp, J., & Schooler, L. (2012). Ecological Rationality: A Framework for Understanding and Aiding the Aging Decision Maker. *Frontiers in Neuroscience*, 6, 19.  
<https://doi.org/10.3389/fnins.2012.00019>
- Meco López, J. F., Pascual Fuster, V., & Solà Alberich, R. (2016). La utilización de los esteroides vegetales en la práctica clínica: De la química a la clínica. *Clínica e Investigación en Arteriosclerosis*, 28(6), 283-294.  
<https://doi.org/10.1016/j.arteri.2016.04.001>

- Mera, A. G. de, Linares-Perea, E., Martos, F., Montoya-Quino, J., Rodríguez-Zegarra, C., & Torres-Marquina, I. (2019). Distribución bioclimática de plantas medicinales y sus principios activos en el Departamento de Cajamarca (Perú). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 18(2), Article 2.  
<https://doi.org/10.37360/blacpma.19.18.2.10>
- MINCETUR. (2016). *Boletín OCEX N° 38*. [https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/Comunicaciones/Boletines\\_Ocex/envio/bol\\_etin\\_envio38.html](https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/Comunicaciones/Boletines_Ocex/envio/bol_etin_envio38.html). [https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/Comunicaciones/Boletines\\_Ocex/boletin\\_38.html](https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/Comunicaciones/Boletines_Ocex/boletin_38.html)
- Montaña, E. J. D. (s. f.). *DESARROLLO DE UN MÉTODO VERDE PARA EVALUAR EL TIEMPO DE VIDA ÚTIL DE ACEITES DE OLIVA VÍRGENES*.
- Morales P, J., Valenzuela B, R., González M, D., González E, M., Tapia O, G., Sanhueza C, J., & Valenzuela B, A. (2012). Nuevas fuentes dietarias de ácido alfa-linolénico: Una visión crítica. *Revista chilena de nutrición*, 39(3), 79-87. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182012000300012>
- Navas Hernández, P. B. (2010). *Componentes minoritarios y propiedades antioxidantes de aceites vírgenes y tortas residuales obtenidos por presión en frío a partir de fuentes vegetales convencionales y no convencionales*. <https://ruidera.uclm.es/xmlui/handle/10578/2824>
- Nisar, M. F., Khadim, M., Rafiq, M., Chen, J., Yang, Y., & Wan, C. C. (2021). Pharmacological Properties and Health Benefits of Eugenol: A



- Comprehensive Review. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2021, e2497354. <https://doi.org/10.1155/2021/2497354>
- Ochoa, S. A., Sánchez-Torres, L. E., Nevárez-Moorillón, G. V., Camacho, A. D., & Noguera-Torres, B. (2017). Essential oils and their components as an alternative in the control of mosquito vectors of disease. *Biomédica*, 37, 224. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v37i0.3475>
- Padial, M. (2021). *Diseño y estabilización de lípidos funcionales*. Universidad de Granada.
- Park, B. B., An, J. Y., & Park, S. U. (2021). Recent studies on pinene and its biological and pharmacological activities. *EXCLI Journal*, 20, 812-818. <https://doi.org/10.17179/excli2021-3714>
- Paucar-Menacho, L. M., Salvador-Reyes, R., Guillén-Sánchez, J., Caparobles, J., & Moreno-Rojo, C. (2015). Estudio comparativo de las características físico-químicas del aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis L.*), aceite de oliva (*Olea europaea*) y aceite crudo de pescado. *Scientia Agropecuaria*, 6(4), 279-290. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.04.05>
- Pereira, I., Severino, P., Santos, A. C., Silva, A. M., & Souto, E. B. (2018). Linalool bioactive properties and potential applicability in drug delivery systems. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 171, 566-578. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2018.08.001>
- Pina, L. T. S., Serafini, M. R., Oliveira, M. A., Sampaio, L. A., Guimarães, J. O., & Guimarães, A. G. (2022). Carvone and its pharmacological activities: A systematic review. *Phytochemistry*, 196, 113080. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2021.113080>

- Pokorný, J., & Schmidt, Š. (2001). Natural antioxidant functionality during food processing. En *Antioxidants in Food* (pp. 331-354). Elsevier.  
<https://doi.org/10.1016/9781855736160.4.331>
- Ramos, F. (2014). *Caracterización y trazabilidad del aceite de Sacha Inchi (Plukenetia volubilis linneo)*. <https://idus.us.es/handle/11441/58887>
- Robinson, H., & Rodriguez, A. A. O. (2015). *DETERMINACIÓN DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE EXTRACTOS Y*. 96.
- Rodríguez, G., Aguirre, E., Córdova-Chang, A., Muñoz-Saenz, J. C., Baquerizo, M., Brandolini, A., Villanueva, E., & Hidalgo, A. (2022). Modification of the Nutritional Quality and Oxidative Stability of Lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet) and Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Oil Blends. *Molecules*, 27(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/molecules27217315>
- Rodriguez, G., Glorio, P., Villanueva, E., & Baquerizo, M. (2015). *Estabilidad oxidativa y estimación de la vida útil del aceite de Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.)*.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=357641596002>
- Rodríguez, G., Squeo, G., Estivi, L., Quezada Berru, S., Buleje, D., Caponio, F., Brandolini, A., & Hidalgo, A. (2021). Changes in stability, tocopherols, fatty acids, and antioxidant capacity of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) oil during French fries deep-frying. *Food Chemistry*, 340, 127942.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127942>
- Rodríguez, G., Villanueva, E., Glorio, P., & Baquerizo, M. (2015). Estabilidad oxidativa y estimación de la vida útil del aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Scientia Agropecuaria*, 6(3), 155-163.  
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.03.02>

- Sánchez Bartra, A. (2017). *EN LA REGIÓN SAN MARTÍN*". 99.
- Sánchez, C. G. (2007). *Principios de análisis instrumental, 6ta Edición Douglas A. Skoog LIBROSVIRTUAL*.  
[https://www.academia.edu/37326567/Principios\\_de\\_an%C3%A1lisis\\_instrumental\\_6ta\\_Edici%C3%B3n\\_Douglas\\_A\\_Skoog\\_LIBROSVIRTUAL](https://www.academia.edu/37326567/Principios_de_an%C3%A1lisis_instrumental_6ta_Edici%C3%B3n_Douglas_A_Skoog_LIBROSVIRTUAL)
- Souza, A. H. P. de, Gohara, A. K., Rodrigues, Â. C., Souza, N. E. de, Visentainer, J. V., & Matsushita, M. (2013). Sacha Inchi as potential source of essential fatty acids and tocopherols: Multivariate study of nut and shell. *Acta Scientiarum. Technology*, 35(4), 757-763.
- Symoniuk, E., Wroniak, M., Napiórkowska, K., Brzezińska, R., & Ratusz, K. (2022). Oxidative Stability and Antioxidant Activity of Selected Cold-Pressed Oils and Oils Mixtures. *Foods*, 11(11), Article 11.  
<https://doi.org/10.3390/foods11111597>
- Torres, A. (2018). *Determinación de compuestos fenólicos y su capacidad antioxidante de extractos de orujo (epicarpio) Vitis vinifera L var. Italia y Negra criolla de Residuos vitivinícolas como fuente de principios bioactivos aprovechables*. Universidad Nacional de San Agustín.
- Tovar-Pérez, E. G., Guerrero-Becerra, L., & Lugo-Cervantes, E. (2017). Antioxidant activity of hydrolysates and peptide fractions of glutelin from cocoa (*Theobroma cacao* L.) seed. *CyTA - Journal of Food*, 15(4), 489-496. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1297963>
- Triguero, S. (2018). *Caracterización bromatológica de la semilla de aguacate (Persea americana) y extracción e identificación de la fracción con mayor actividad antimicrobiana y antioxidante*. Universidad Central del Ecuador.

- van Baren, C. M., Moscatelli, V. A., Di Leo Lira, P. M. del R., Retta, D. S., Bach, H. G., Arteaga, M., Troncoso, O., López de Armentía, J., & Bandoni, A. L. (2022). Análisis de aceite esencial de *Cannabis sativa* L. obtenido por diferentes métodos de destilación. *XVII Simposio Latinoamericano de Farmacobotánica - XIII Simposio Argentino - II Jornadas de Enseñanza de la Farmacobotánica. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 9-11 de noviembre de 2022*.  
<http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/6216681>
- Varas Condori, M. A., Pascual Chagman, G. J., Barriga-Sanchez, M., Villegas Vilchez, L. F., Ursetta, S., Guevara Pérez, A., & Hidalgo, A. (2020). Effect of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) lycopene-rich extract on the kinetics of rancidity and shelf-life of linseed (*Linum usitatissimum* L.) oil. *Food Chemistry*, 302, 125327.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125327>
- Villanueva López, E., Castillo Benites, D., & Rodríguez Páucar, G. (2013). Influencia de los parámetros Rancimat sobre la determinación del índice de estabilidad oxidativa del aceite de *Sesamum indicum* L. *OpenAIRE - Explore*, 4(3), 173-180.
- Wang, S., Zhu, F., & Kakuda, Y. (2018). Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Nutritional composition, biological activity, and uses. *Food Chemistry*, 265, 316-328. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.055>
- Wei, J., Liang, Q., Guo, Y., Zhang, W., & Wu, L. (2021). A Deep Insight in the Antioxidant Property of Carnosic Acid: From Computational Study to Experimental Analysis. *Foods*, 10(10), Article 10.  
<https://doi.org/10.3390/foods10102279>

- Wu, G., Chang, C., Hong, C., Zhang, H., Huang, J., Jin, Q., & Wang, X. (2019). Phenolic compounds as stabilizers of oils and antioxidative mechanisms under frying conditions: A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*, *92*, 33-45. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.043>
- Yilmaz, V. A., Brandolini, A., & Hidalgo, A. (2015). Phenolic acids and antioxidant activity of wild, feral, and domesticated diploid wheats. *Journal of Cereal Science*, *64*, 168-175. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.05.005>

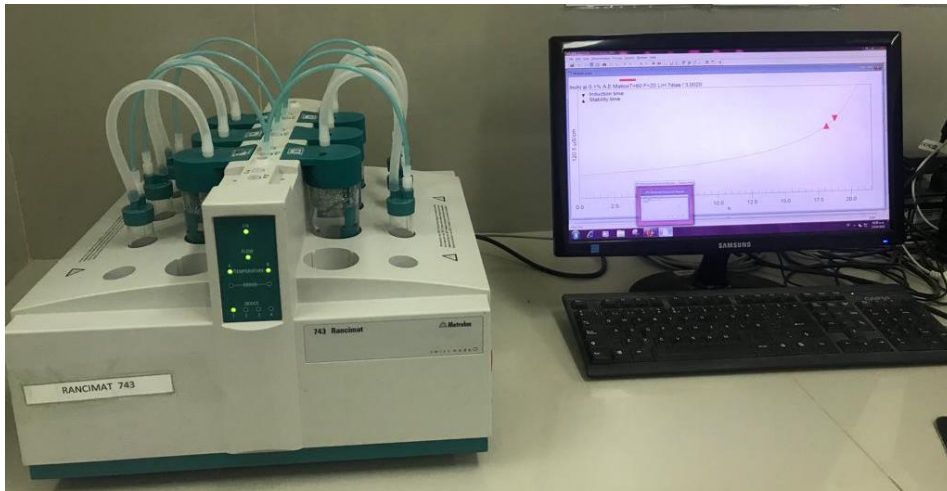
## ANEXOS

### Anexo 01: Extracción de Sacha Inchi

Se realizó mediante una prensa hidráulica automática, prensado de aceite en frío, Marca Karaerler, modelo NF80



La extracción de aceites esenciales fue por arrastre de vapor, mediante la caracterización de aceite esencial, con GC Marca Shimadzu, con sus respectivos estándares.

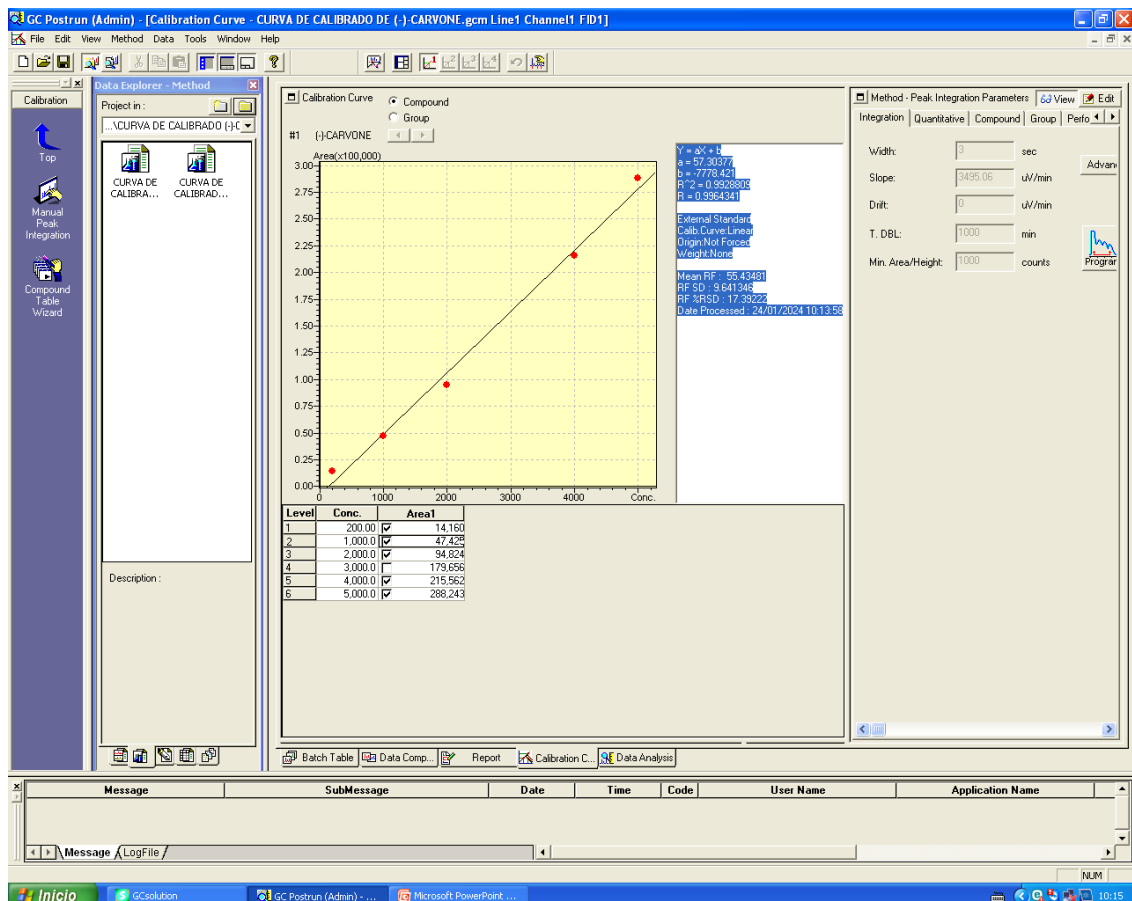


Se utilizo el 743 Rancimat equipment (Metrohm Schweiz AG, Zofingen, Switzerland); muestra de aceite de  $3.0 \pm 0.01$  g, con flujo de aire de 20 L/h.

## Anexo 02: Identificación de (-)-Carvone

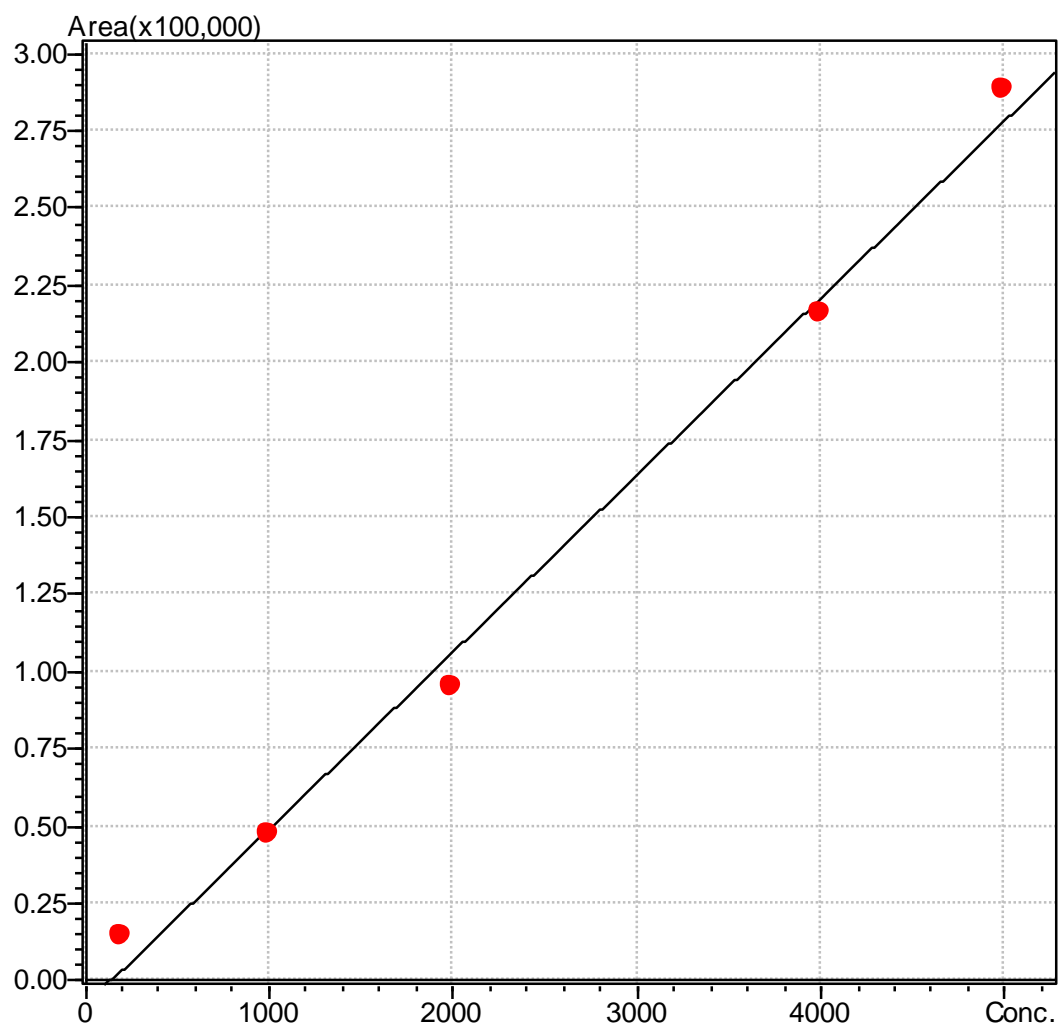
En las características físicoquímicas del aceite de Sacha Inchi, se tuvo diluciones a 200 ppm, 1000 ppm, 2000 ppm, 4000 ppm, y 5000 ppm, y se determinó sus correspondientes áreas bajo la curva en la cromatografía.

### Análisis de la Cromatografía de Gases





### Curva de Calibrado de (-)-Carvone



$$Y = aX + b$$

$$a = 57.30377$$

$$b = -7778.421$$

$$R^2 = 0.9928809$$

$$R = 0.9964341$$

External Standard  
Calib.Curve:Linear  
Origin:Not Forced  
Weight:None

Mean RF : 55.43481

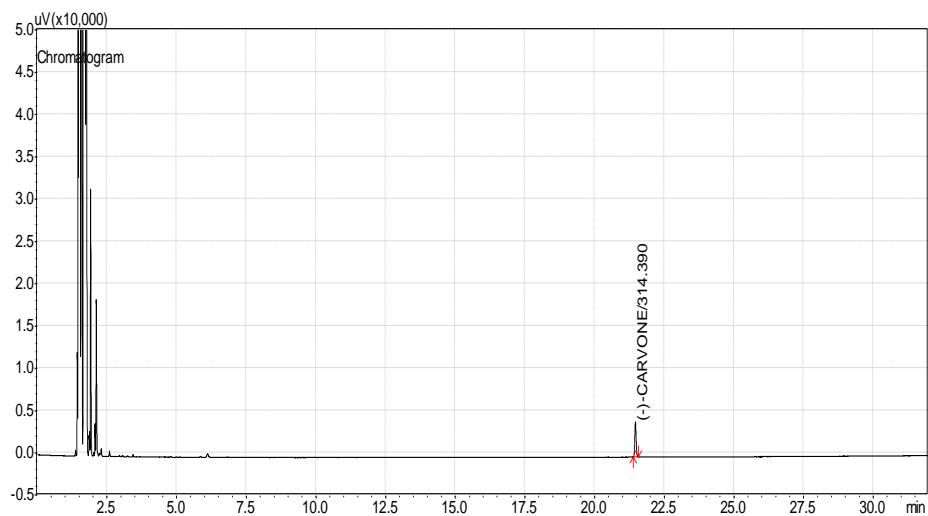
RF SD : 9.641346

RF %RSD : 17.39222

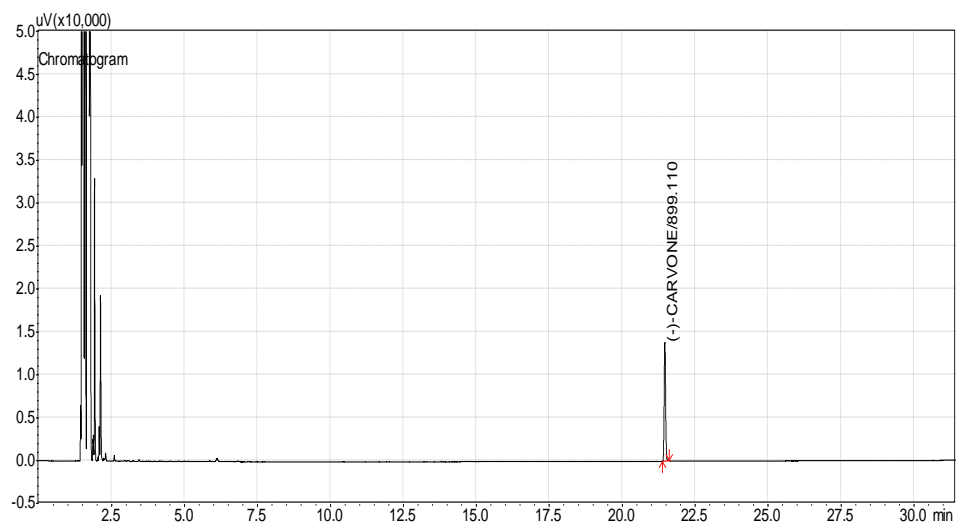
Date Processed : 24/01/2024 10:13:58

Level	Conc.		Area1
1	200.00	<input checked="" type="checkbox"/>	14,160
2	1,000.0	<input checked="" type="checkbox"/>	47,425
3	2,000.0	<input checked="" type="checkbox"/>	94,824
4	3,000.0	<input type="checkbox"/>	179,656
5	4,000.0	<input checked="" type="checkbox"/>	215,562
6	5,000.0	<input checked="" type="checkbox"/>	288,243

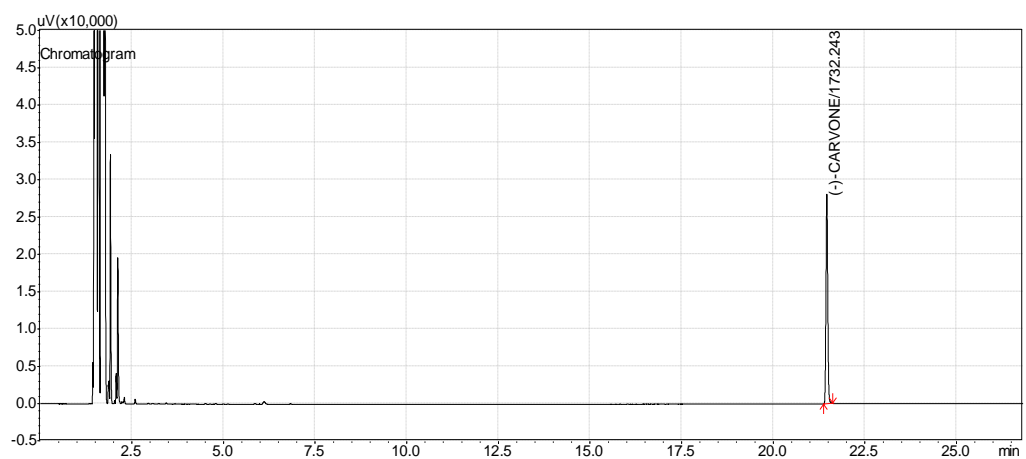
200 ppm



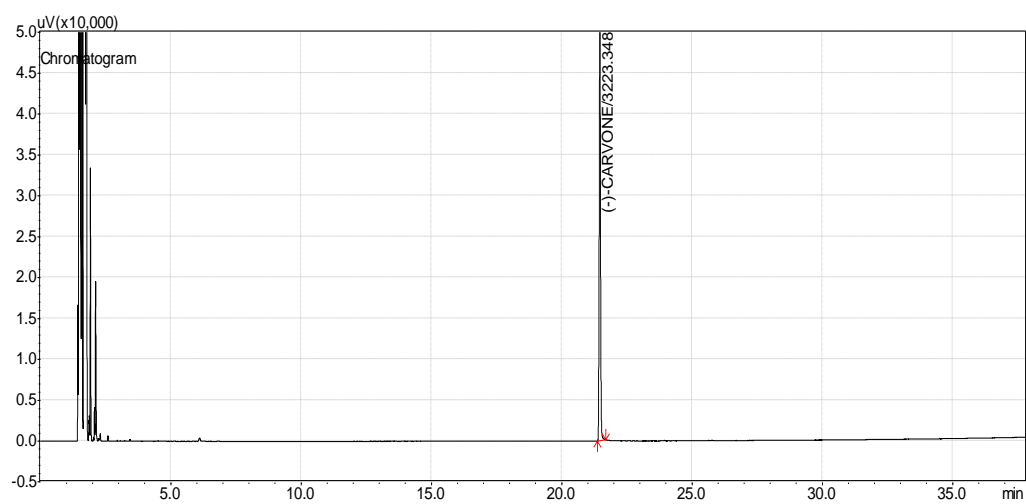
1000 ppm



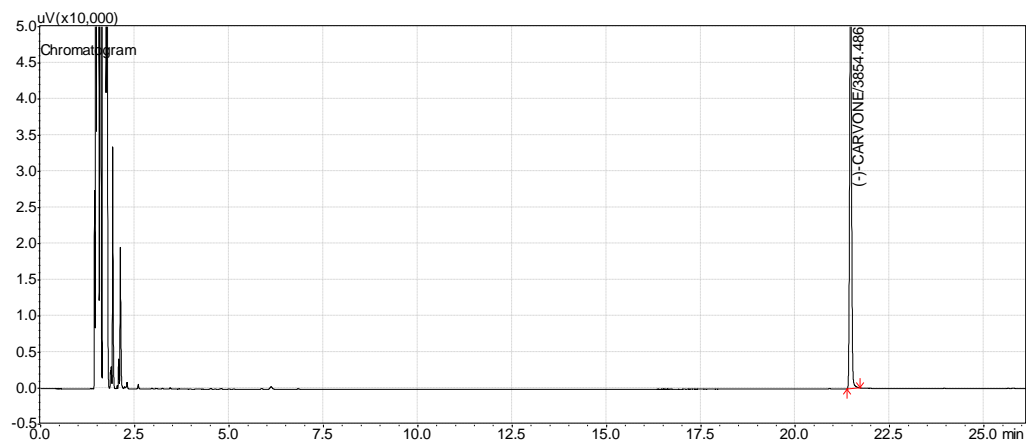
### 2000 ppm



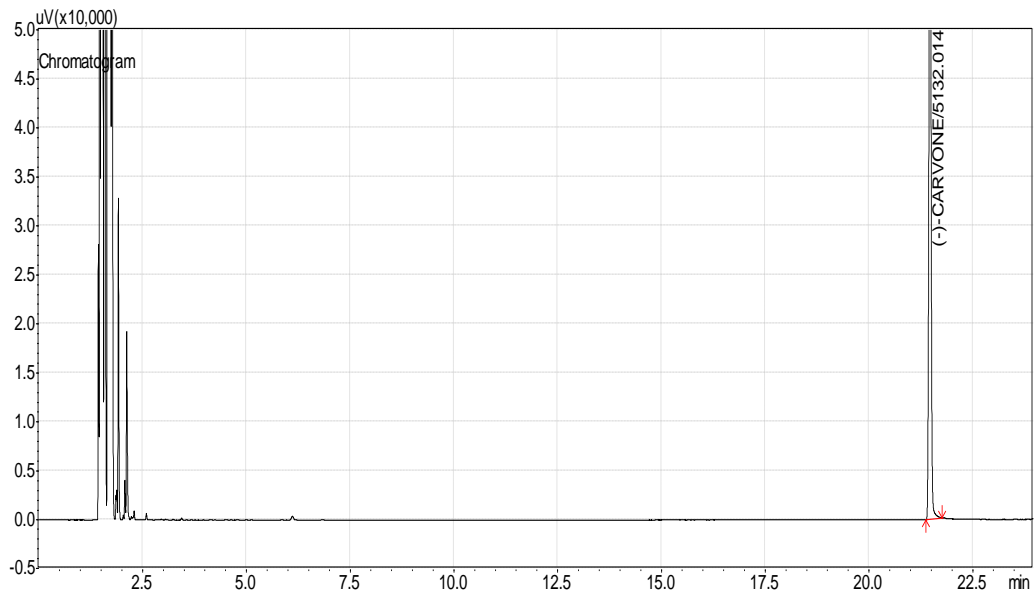
### 3000 ppm



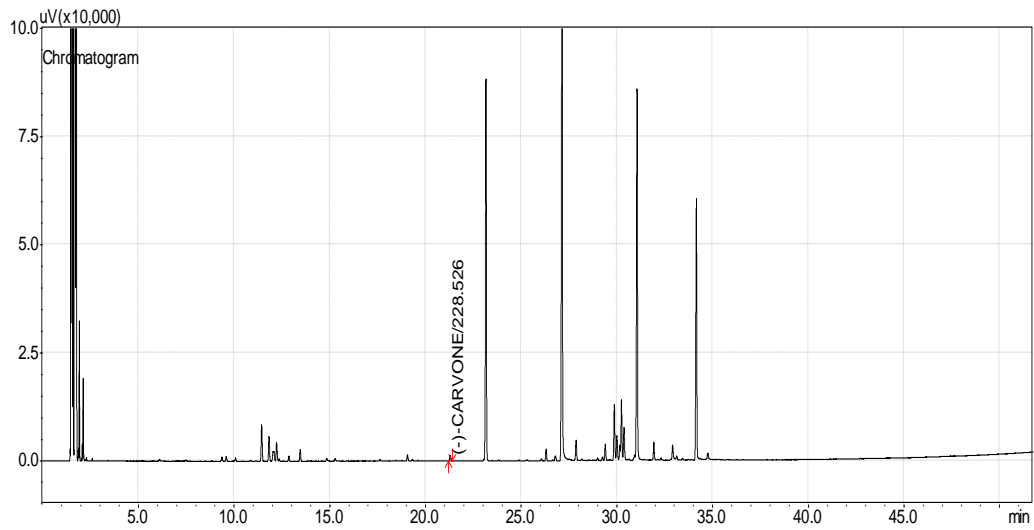
### 4000 ppm



5000 ppm

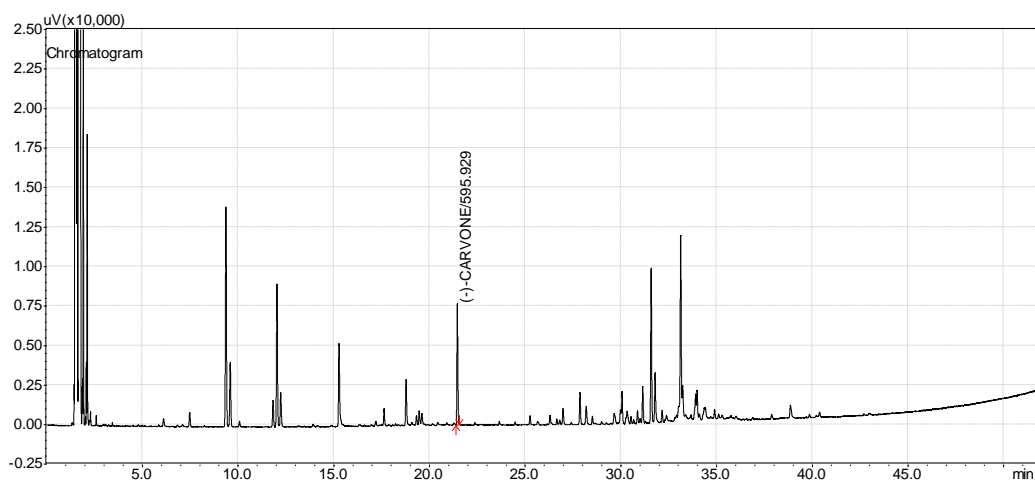


(-)-Carvone en Matico



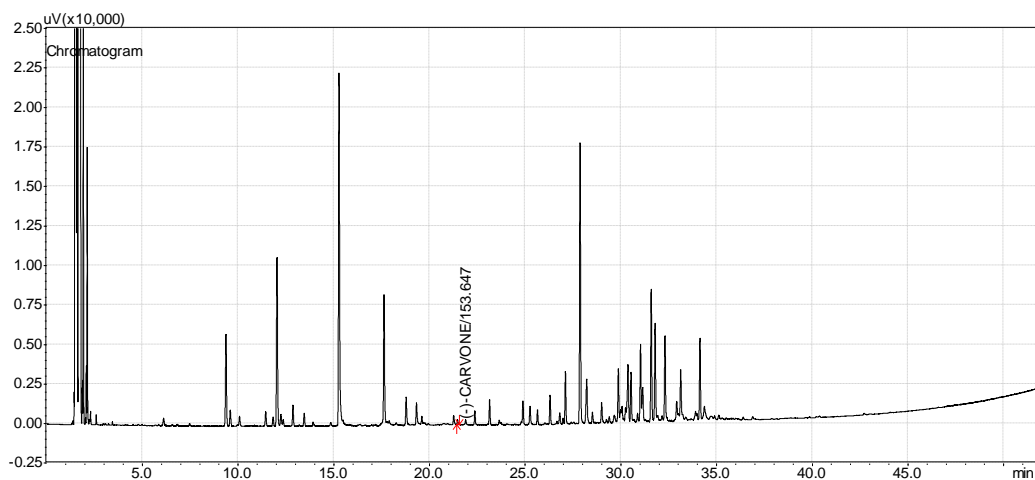
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Compound ID#	Compound Name
1	21.284	5317.0	1330.0	228.52586	ppm	1	(-)-CARVONE

## (-)-Carvone en Hierba buena



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Compound ID#	Compound Name
1	21.455	26370.6	7687.2	595.92948	ppm	1	(-)-CARVONE

## (-)-Carvone en Limón Real

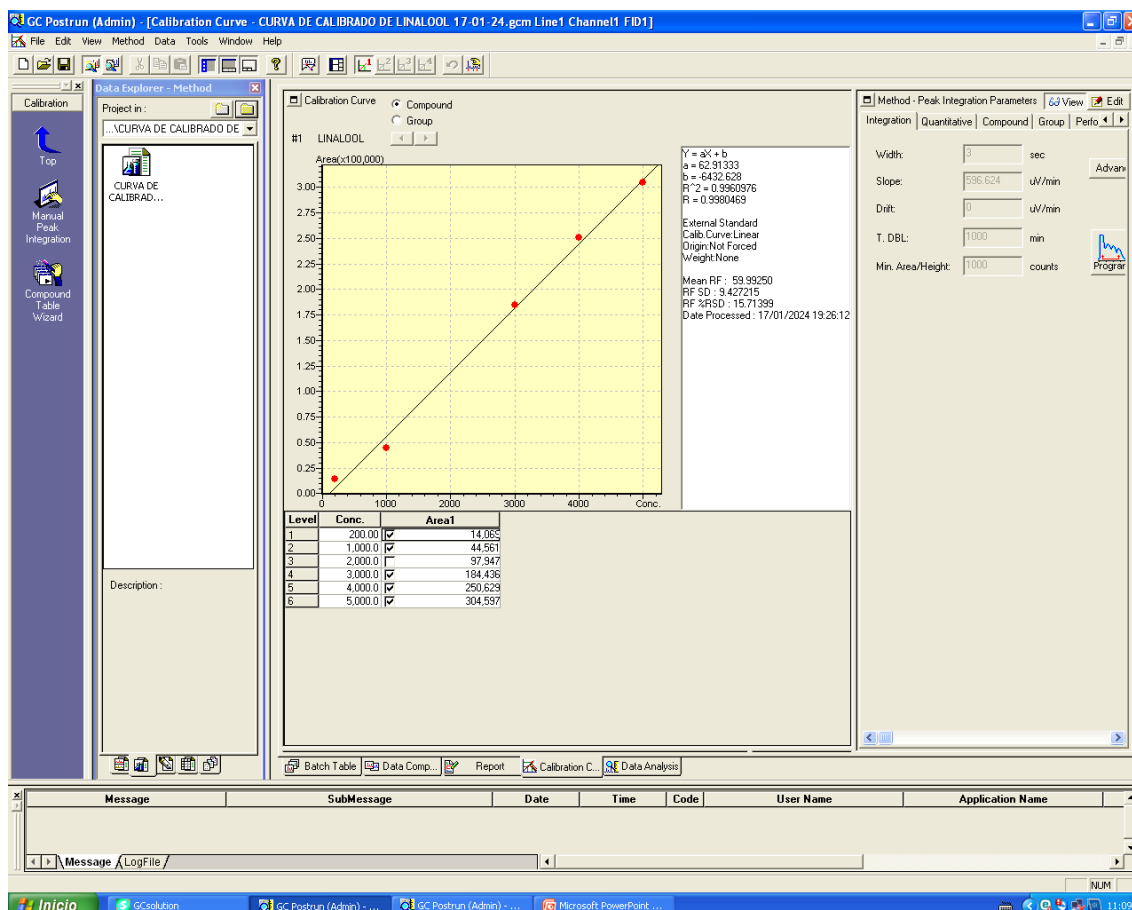


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Compound ID#	Compound Name
1	21.465	1026.2	318.7	153.64743	ppm	1	(-)-CARVONE

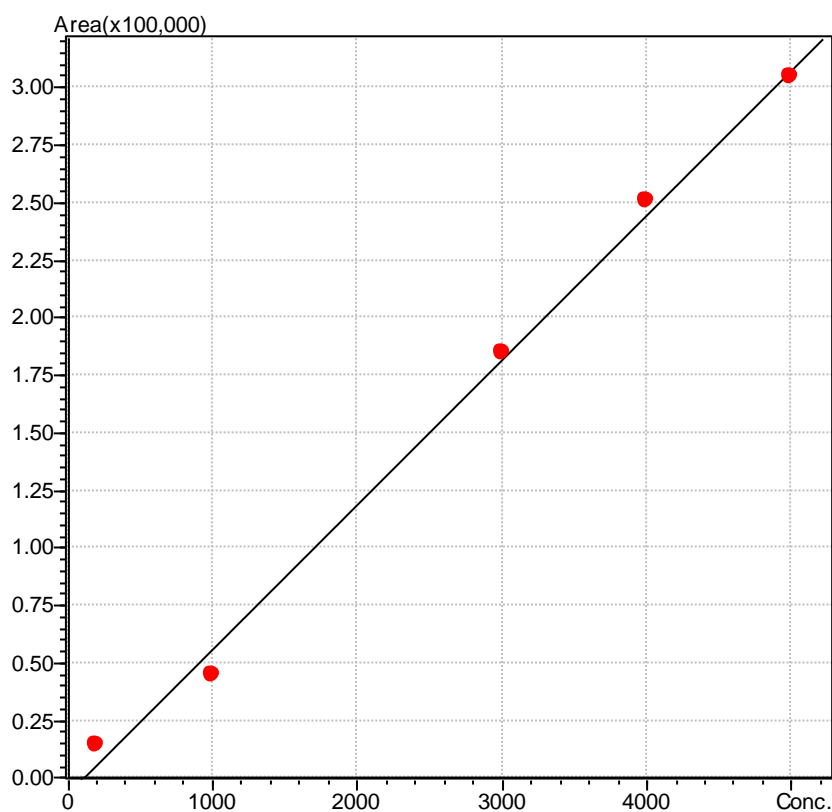
### Anexo 03: Identificación de Linalool

En las características físicoquímicas del aceite de Sacha Inchi, se tuvo diluciones a 200 ppm, 1000 ppm, 2000 ppm, 4000 ppm, y 5000 ppm, y se determinó sus correspondientes áreas bajo la curva en la cromatografía.

### Análisis de la Cromatografía de Gases



## Curva de Calibrado de linalool



$$Y = aX + b$$

$$a = 62.91333$$

$$b = -6432.628$$

$$R^2 = 0.9960976$$

$$R = 0.9980469$$

External Standard  
Calib.Curve:Linear  
Origin:Not Forced  
Weight:None

Mean RF : 59.99250

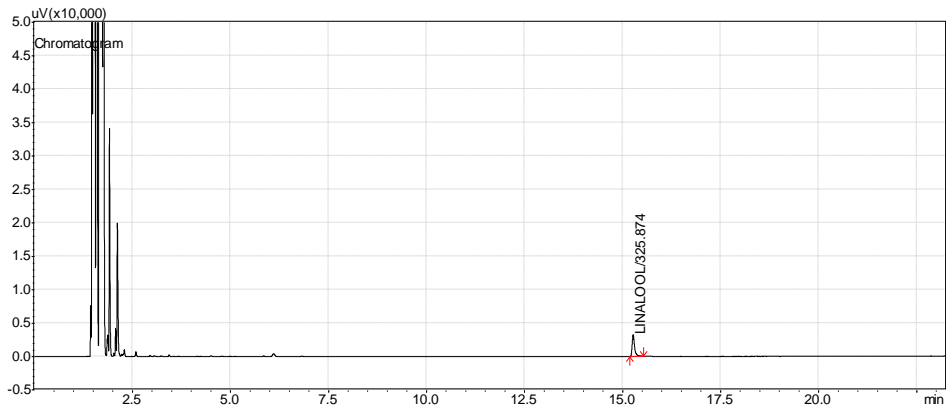
RF SD : 9.427215

RF %RSD : 15.71399

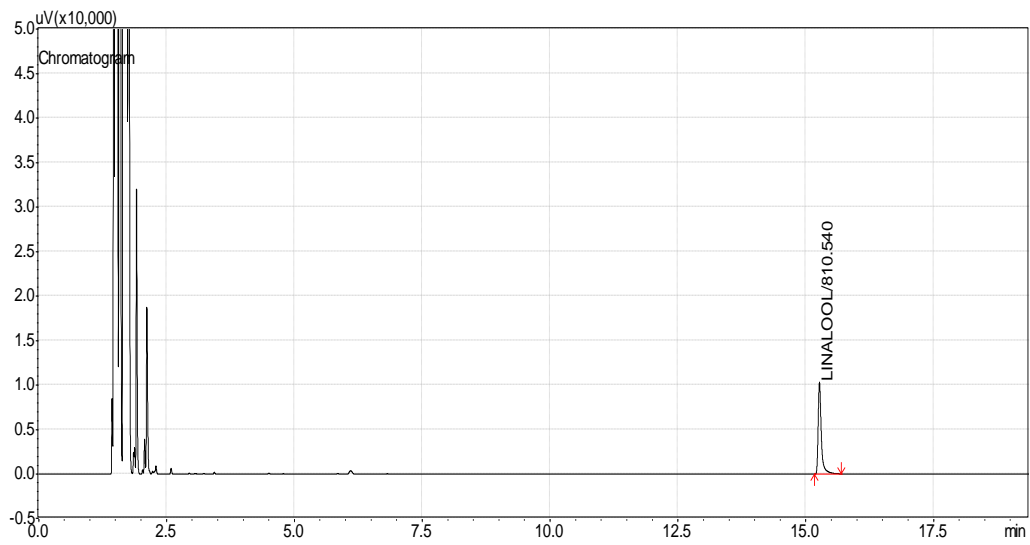
Date Processed : 17/01/2024 19:26:12

Level	Conc.	Area1
1	200.00	14,069
2	1,000.0	44,561
3	2,000.0	97,947
4	3,000.0	184,436
5	4,000.0	250,629
6	5,000.0	304,597

200 ppm

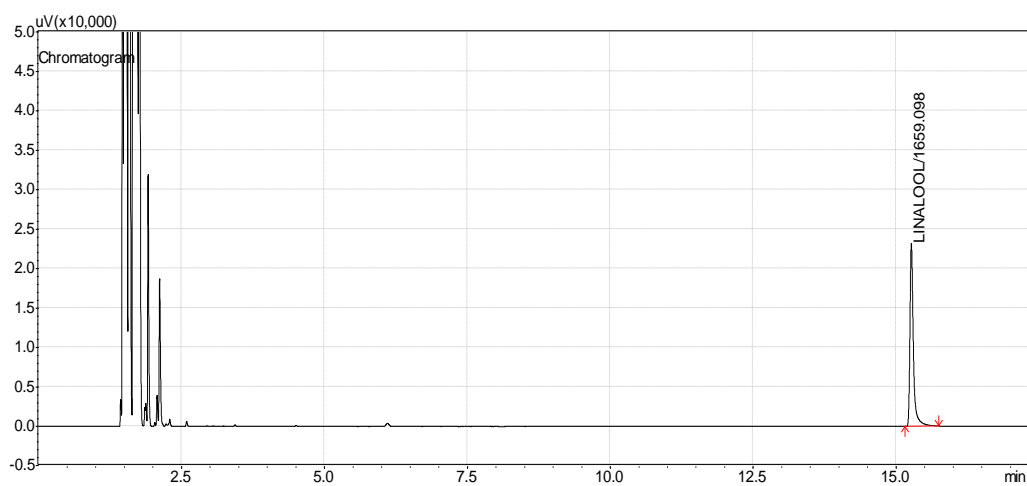


1000 ppm

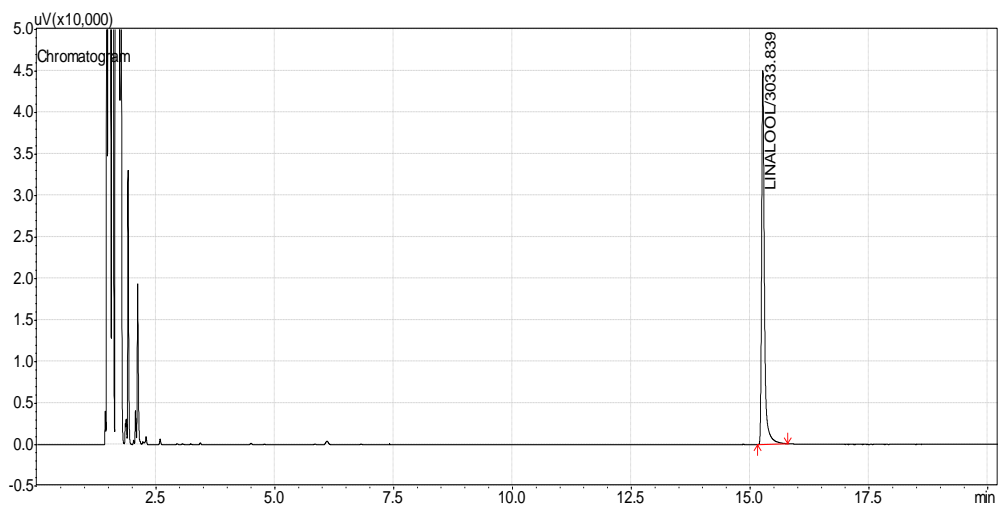




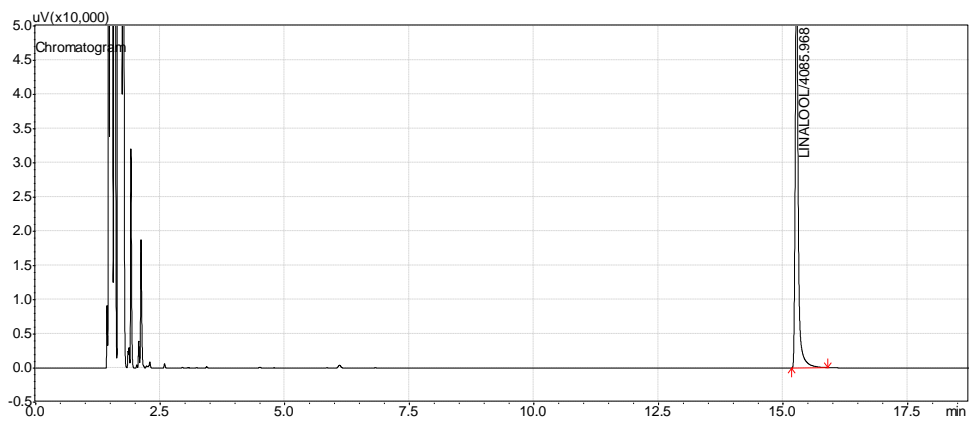
2000 ppm



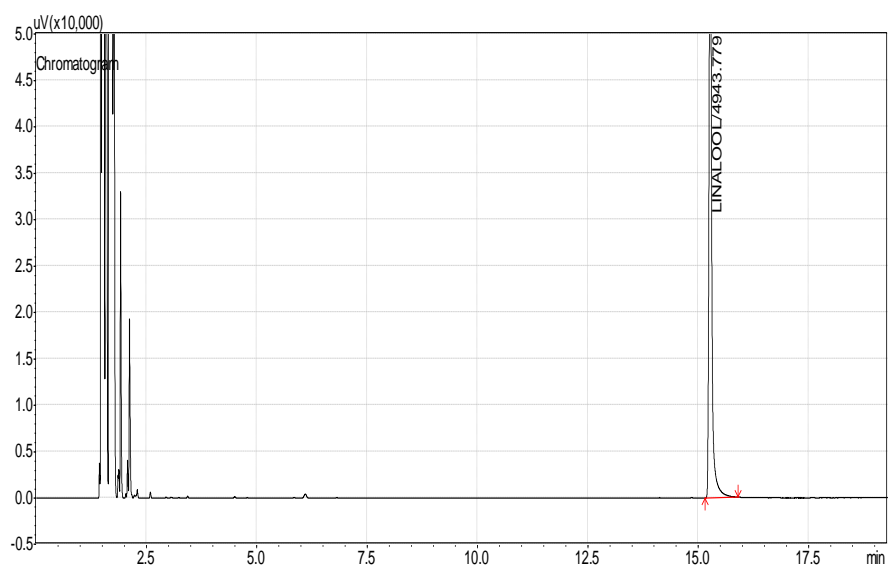
3000 ppm



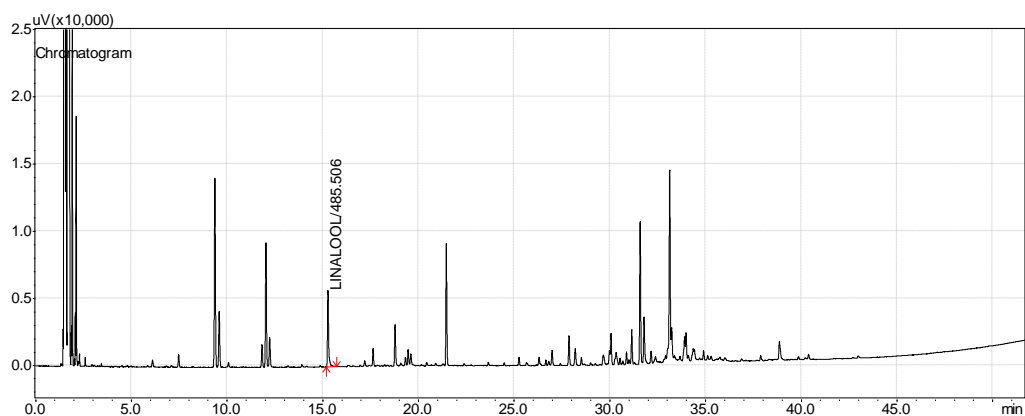
4000 ppm



5000 ppm

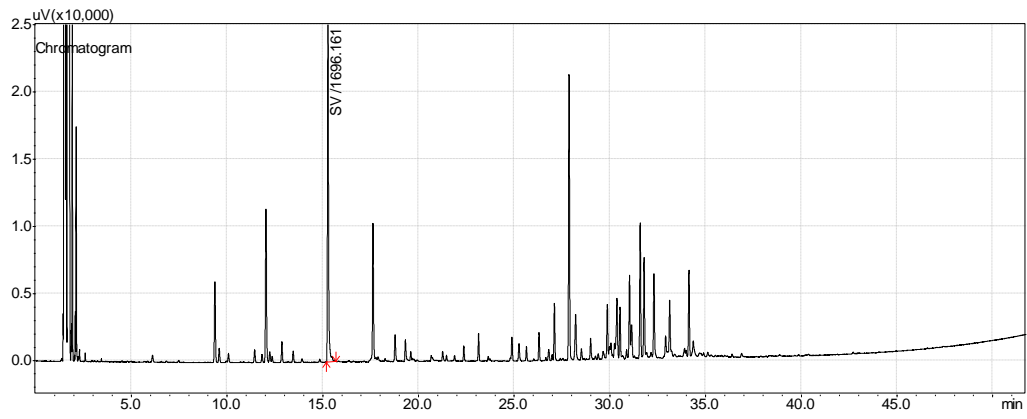


### Linalool en Hierba Buena



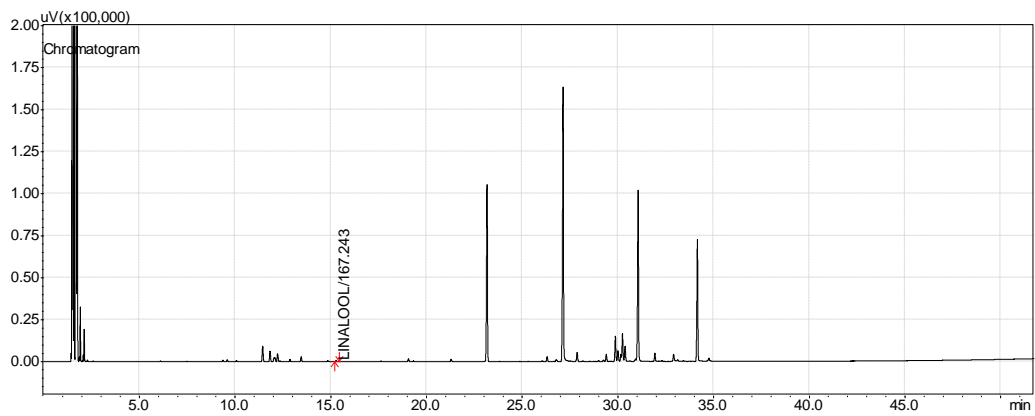
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Compound ID#	Compound Name
1	15.270	24112.2	5679.6	485.50591	ppm	1	LINALOOL

## Linalool en Limón Real



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Compound ID#	Compound Name
1	15.269	100278.5	25305.3	1696.16060	ppm	1	LINALOOL

## Linalool en Matico

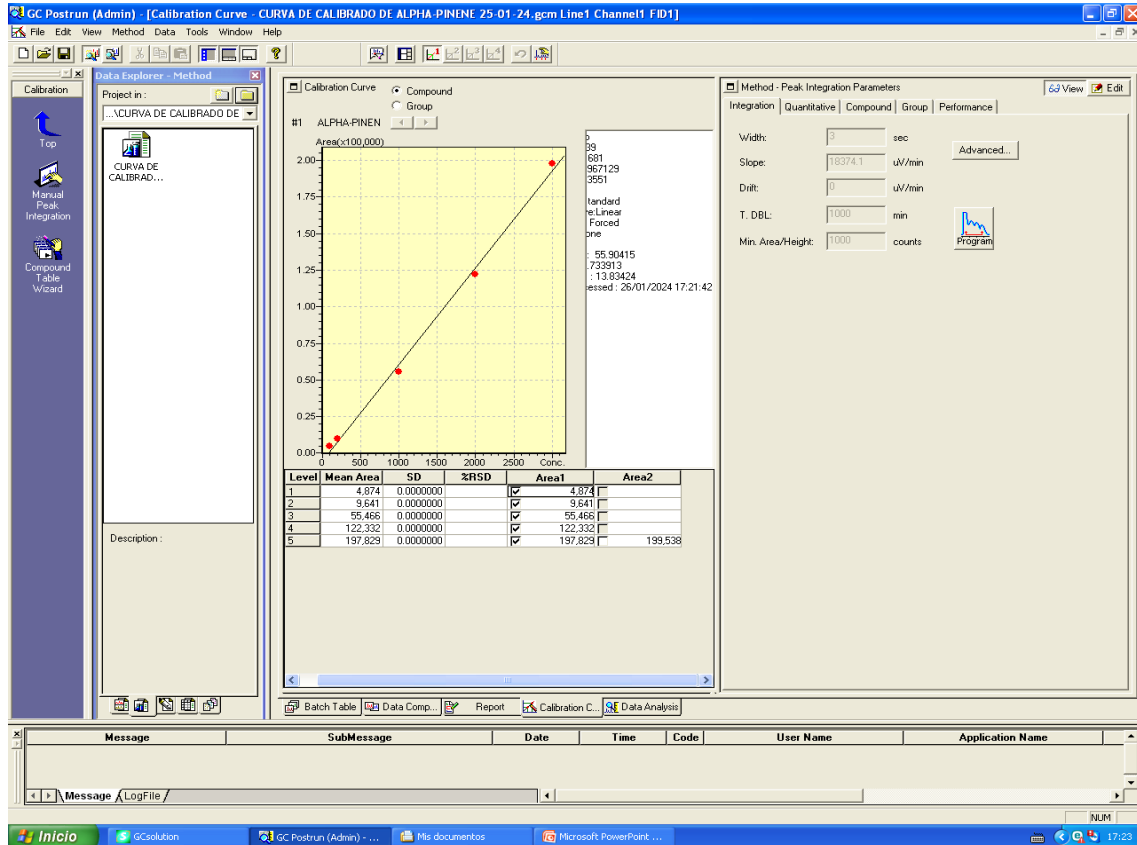


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Compound ID#	Compound Name
1	15.277	4089.2	919.1	167.24316	ppm	1	LINALOOL

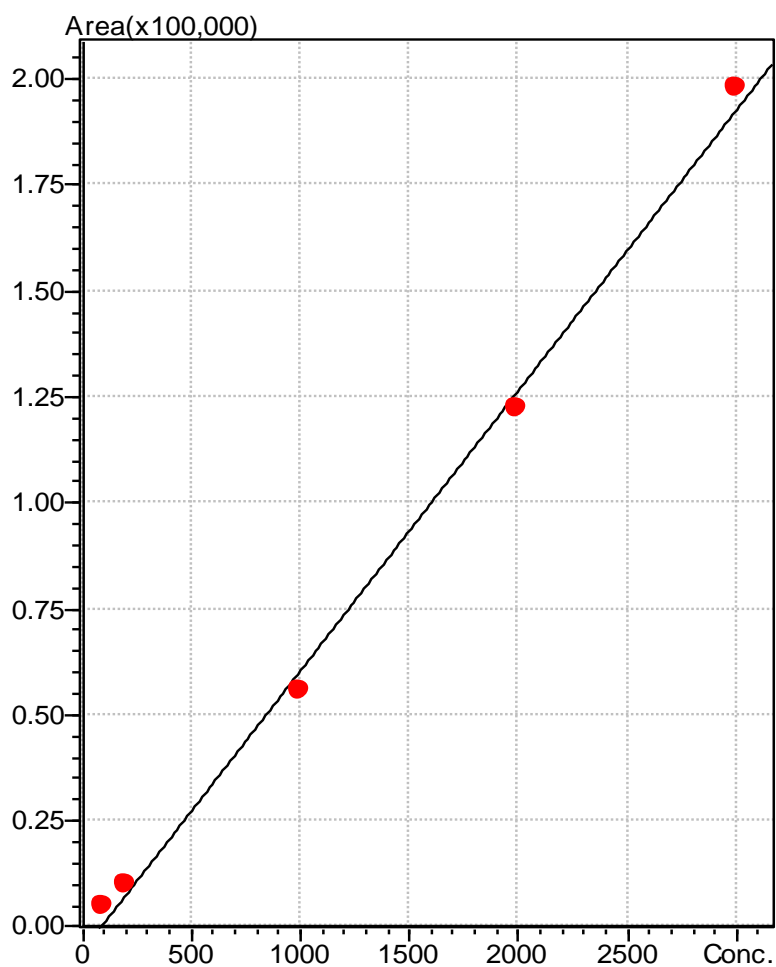
## Anexo 04: Identificación de $\alpha$ -Pinene

En las características físicoquímicas del aceite de Sacha Inchi, se tuvo diluciones a 200 ppm, 1000 ppm, 2000 ppm, 4000 ppm, y 5000 ppm, y se determinó sus correspondientes áreas bajo la curva en la cromatografía.

### Análisis de la Cromatografía de Gases



## Curva de Calibrado de $\alpha$ -Pinene



$$Y = aX + b$$

$$a = 66.1739$$

$$b = -5350.681$$

$$R^2 = 0.9967129$$

$$R = 0.9983551$$

External Standard

Calib.Curve:Linear

Origin:Not Forced

Weight:None

Mean RF : 55.90415

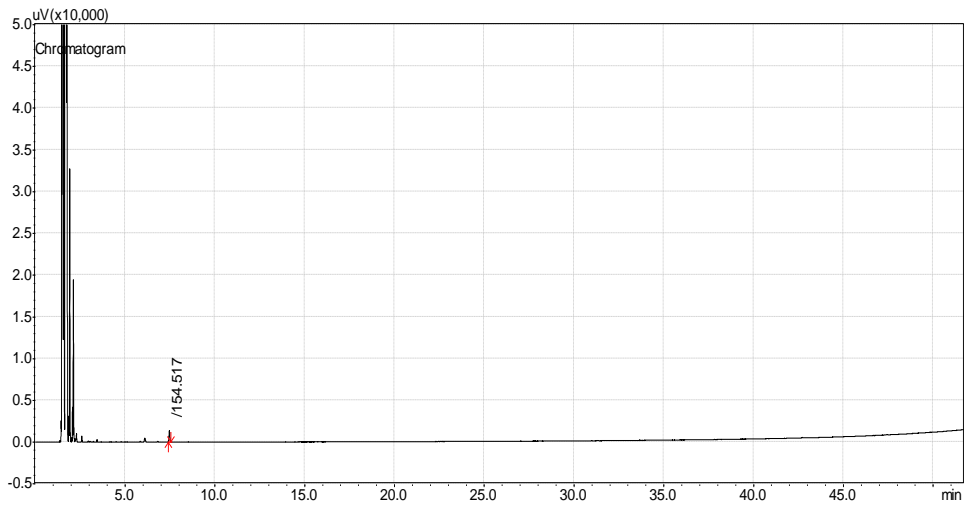
RF SD : 7.733913

RF %RSD : 13.83424

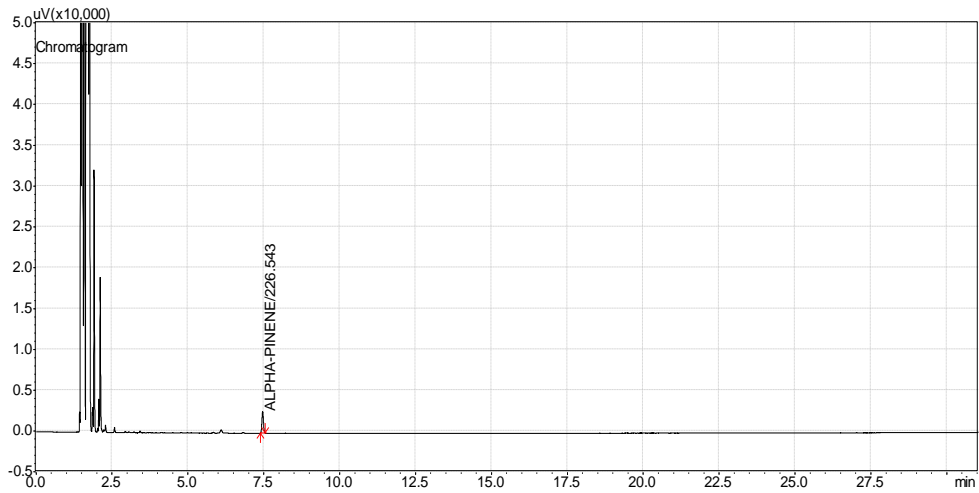
Date Processed : 26/01/2024 17:21:42

Level	Mean Area	SD	%RSD	Area1	Area2
1	4,874	0.0000000		<input checked="" type="checkbox"/> 4,874	<input type="checkbox"/>
2	9,641	0.0000000		<input checked="" type="checkbox"/> 9,641	<input type="checkbox"/>
3	55,466	0.0000000		<input checked="" type="checkbox"/> 55,466	<input type="checkbox"/>
4	122,332	0.0000000		<input checked="" type="checkbox"/> 122,332	<input type="checkbox"/>
5	197,829	0.0000000		<input checked="" type="checkbox"/> 197,829	<input type="checkbox"/> 199,538

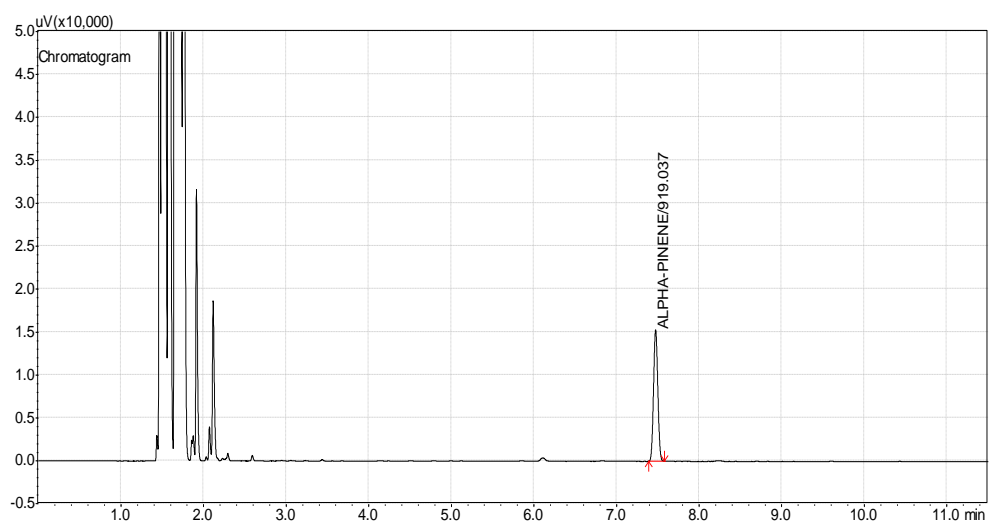
200 ppm



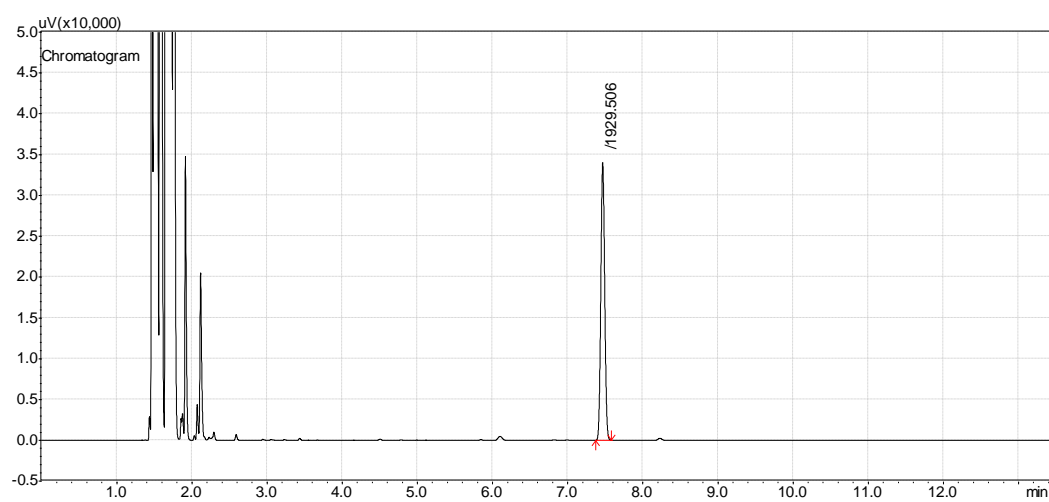
1000 ppm



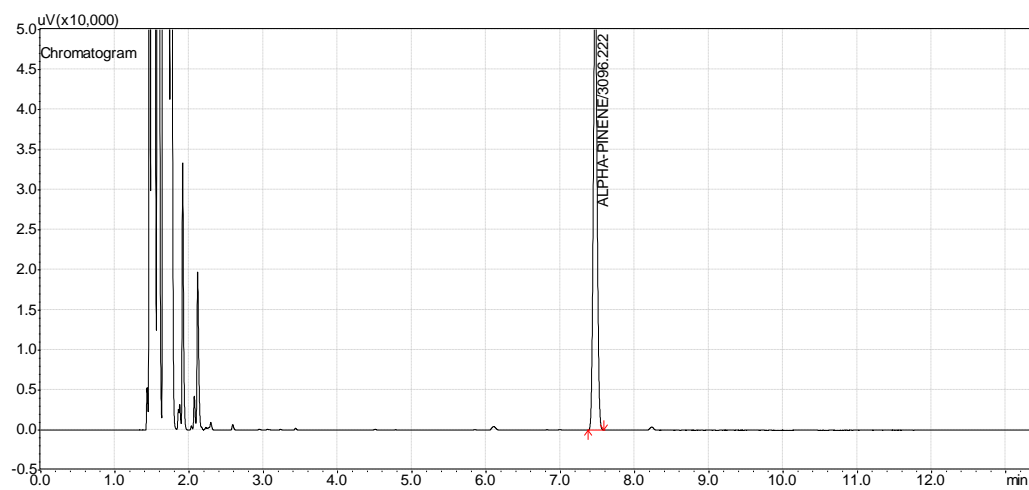
2000 ppm



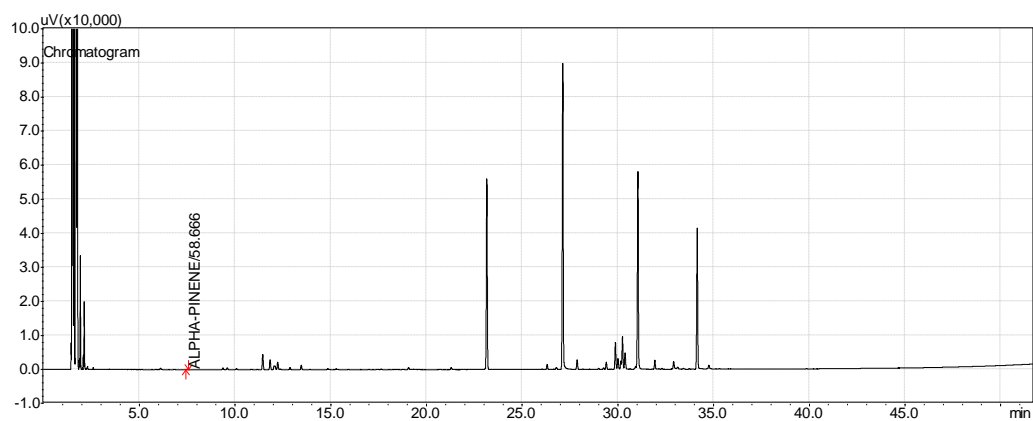
3000 ppm



4000 ppm

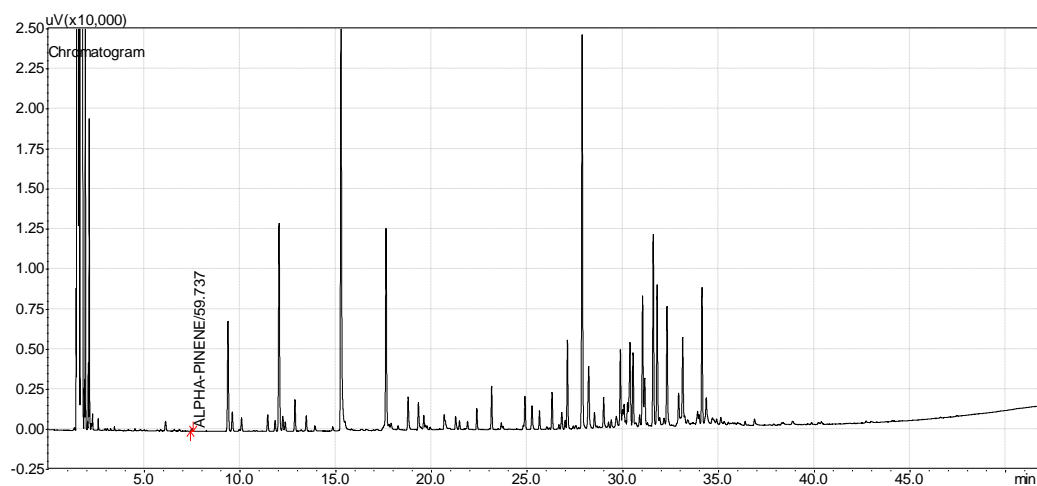


## $\alpha$ -Pinene en Matico



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Compound ID#	Compound Name
1	7.475	702.9	208.6	58.66634	ppm	1	ALPHA-PINENE

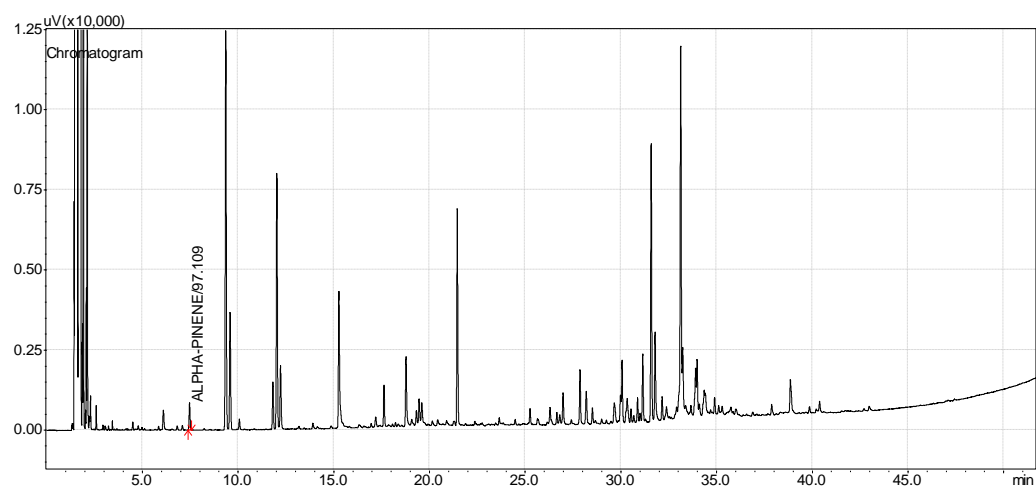
## $\alpha$ -Pinene en Limón Real



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Compound ID#	Compound Name
1	7.476	769.1	211.7	59.73663	ppm	1	ALPHA-PINENE



# $\alpha$ -Pinene en Hierba buena

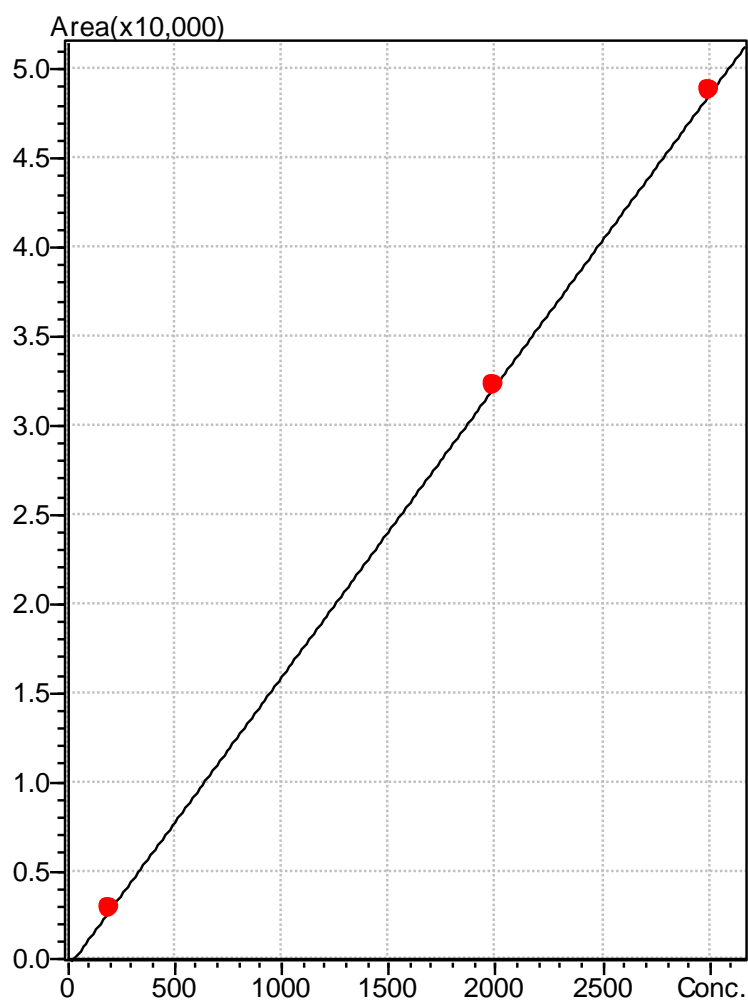


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Compound ID#	Compound Name
1	7.465	3079.5	846.6	97.10930	ppm	1	ALPHA-PINENE

## Anexo 05: Identificación de Citral

En las características físicoquímicas del aceite de Sacha Inchi, se tuvo diluciones a 200 ppm, 1000 ppm, 2000 ppm, 4000 ppm, y 5000 ppm, y se determinó sus correspondientes áreas bajo la curva en la cromatografía.

### Curva de Calibrado de Citral



$$Y = aX + b$$

$$a = 16.37101$$

$$b = -390.6949$$

$$R^2 = 0.9999871$$

$$R = 0.9999935$$

External Standard

Calib.Curve:Linear

Origin:Not Forced

Weight:None

Mean RF : 15.65892

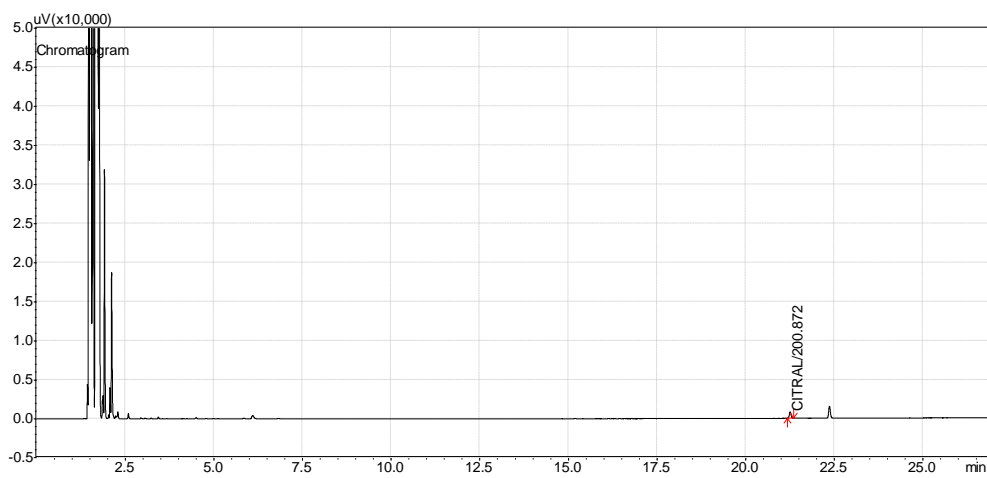
RF SD : 0.9302460

RF %RSD : 5.940677

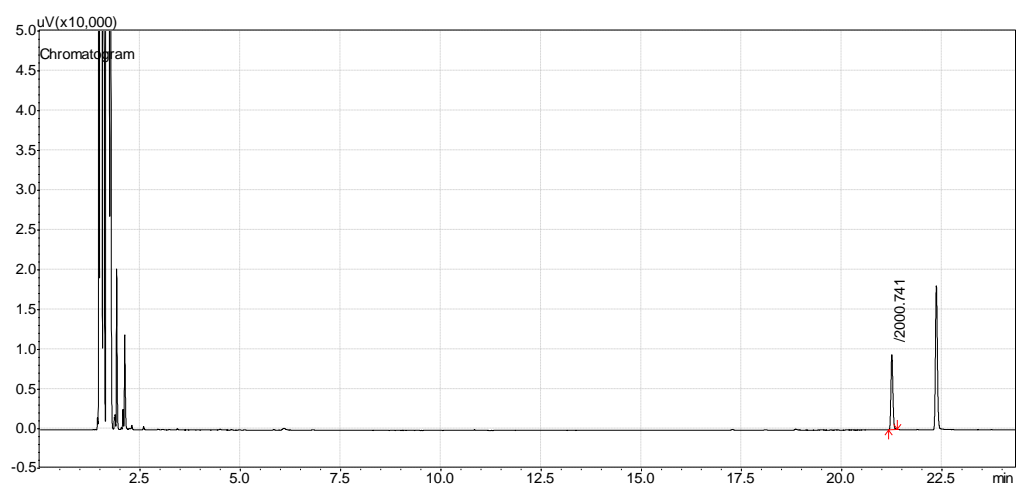
Date Processed : 26/01/2024 18:02:32

Level	Conc.		Area1
1	200.00	<input checked="" type="checkbox"/>	2.918
2	1,000.0	<input type="checkbox"/>	12.247
3	2,000.0	<input checked="" type="checkbox"/>	32.256
4	3,000.0	<input checked="" type="checkbox"/>	48.784
5	4,000.0	<input type="checkbox"/>	91.642
6	5,000.0	<input type="checkbox"/>	106.300

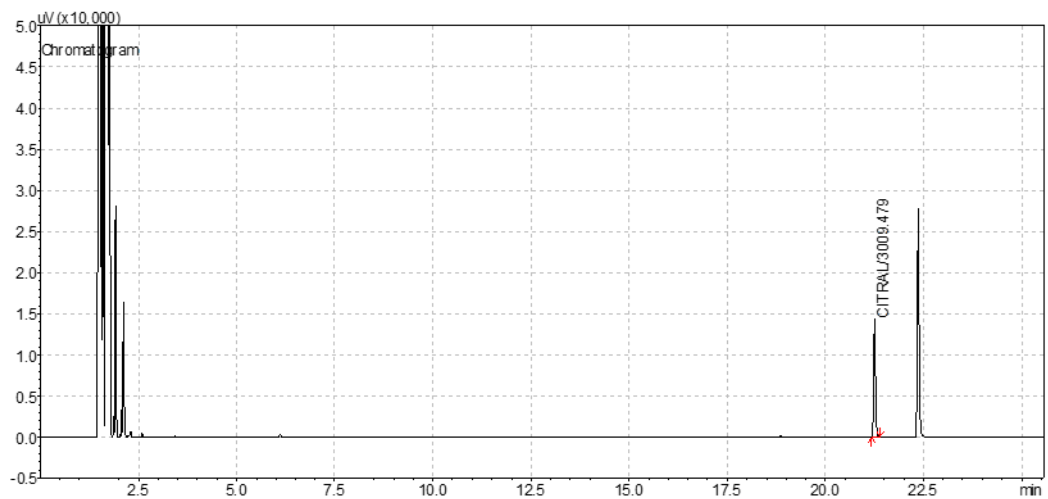
200 ppm



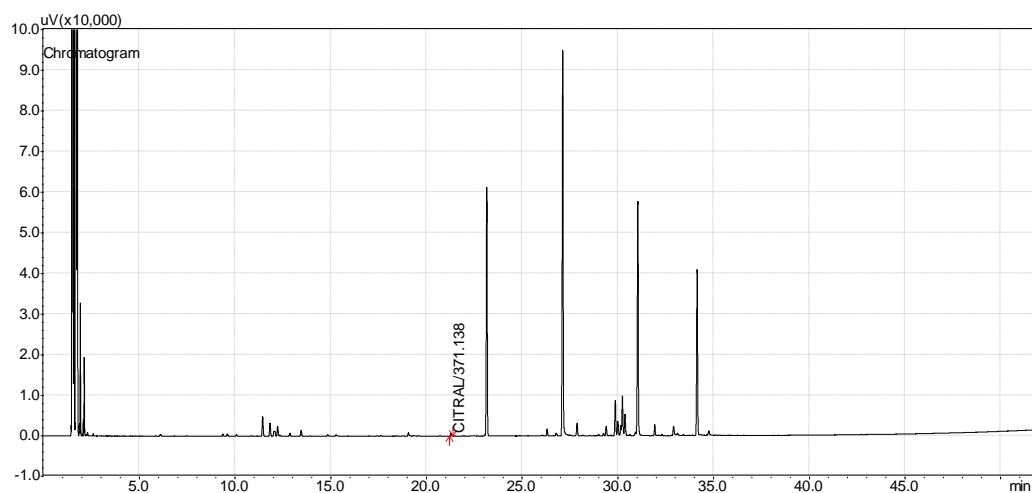
2000 ppm



3000 ppm

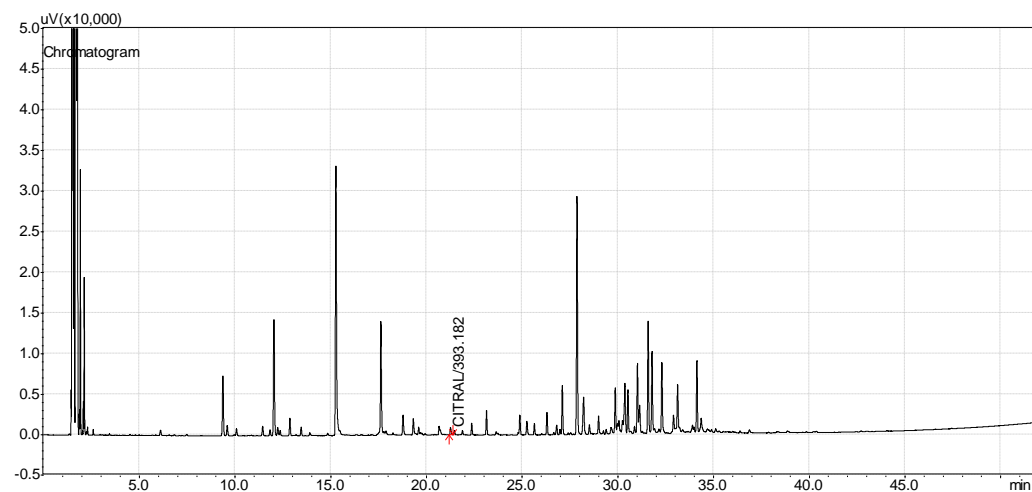


## Citral en Matico



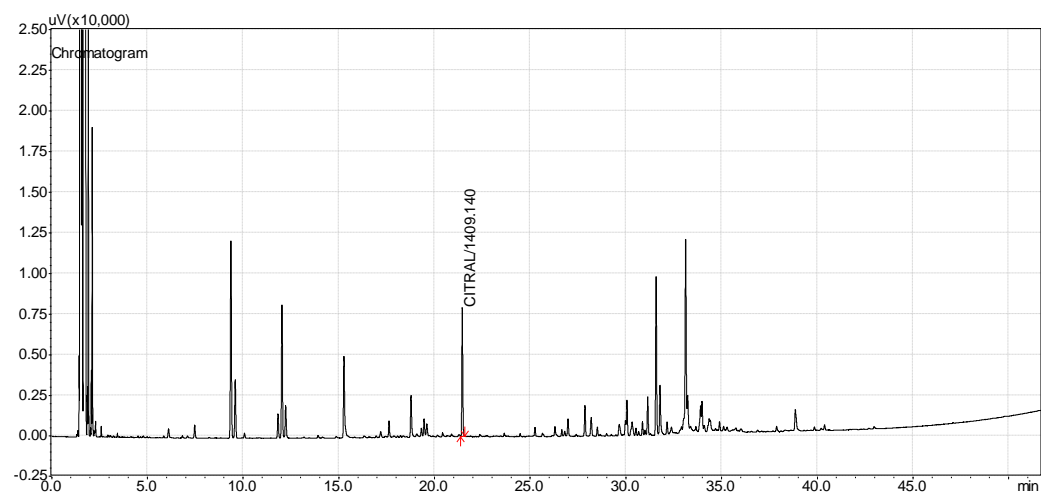
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Compound ID#	Compound Name
1	21.284	3327.6	815.0	371.13822	ppm	1	CITRAL

## Citral en Limón Real



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Compound ID#	Compound Name
1	21.256	3832.9	953.3	393.18183	ppm	1	CITRAL

# Citral en Hierba Buena

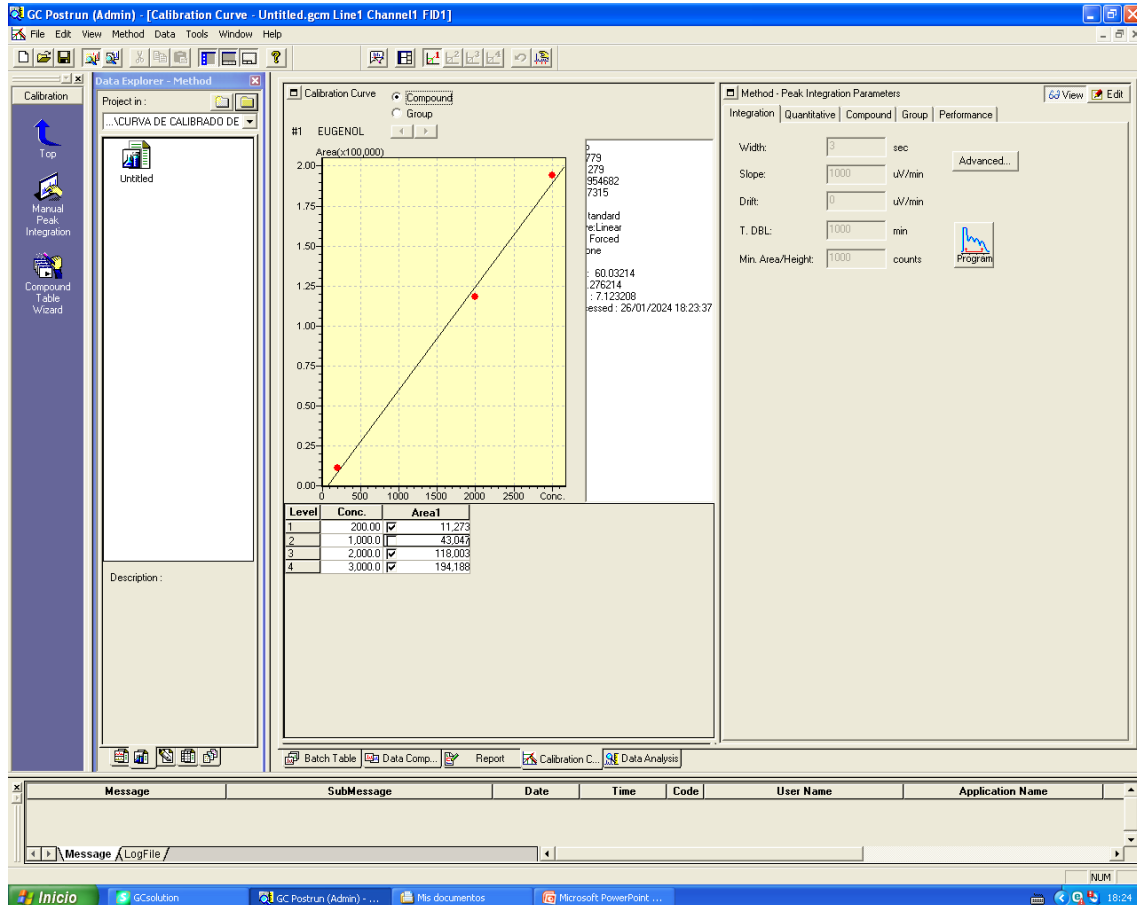


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Compound ID#	Compound Name
1	21.452	27123.1	7932.4	1409.13962	ppm	1	CITRAL

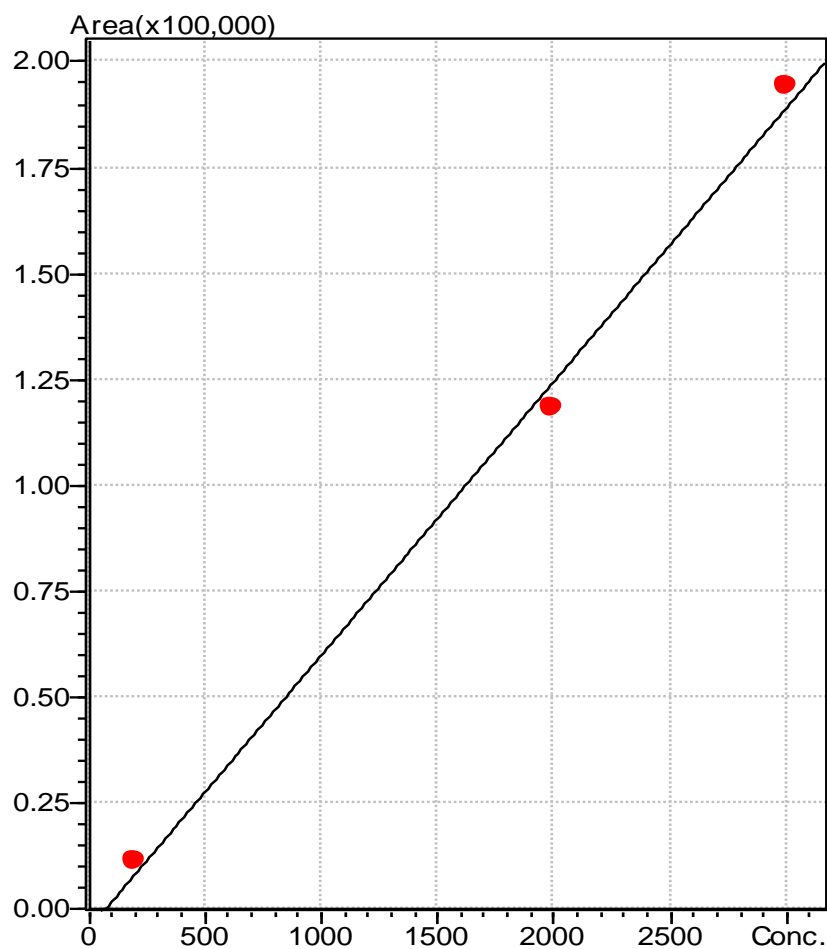
## Anexo 06: Identificación de Eugenol

En las características físicoquímicas del aceite de Sacha Inchi, se tuvo diluciones a 200 ppm, 1000 ppm, 2000 ppm, 4000 ppm, y 5000 ppm, y se determinó sus correspondientes áreas bajo la curva en la cromatografía.

### Análisis de la Cromatografía de Gases



### Curva de Calibrado de Eugenol



$$Y = aX + b$$

$$a = 64.60779$$

$$b = -4165.279$$

$$R^2 = 0.9954682$$

$$R = 0.9977315$$

External Standard

Calib.Curve:Linear

Origin:Not Forced

Weight:None

Mean RF : 60.03214

RF SD : 4.276214

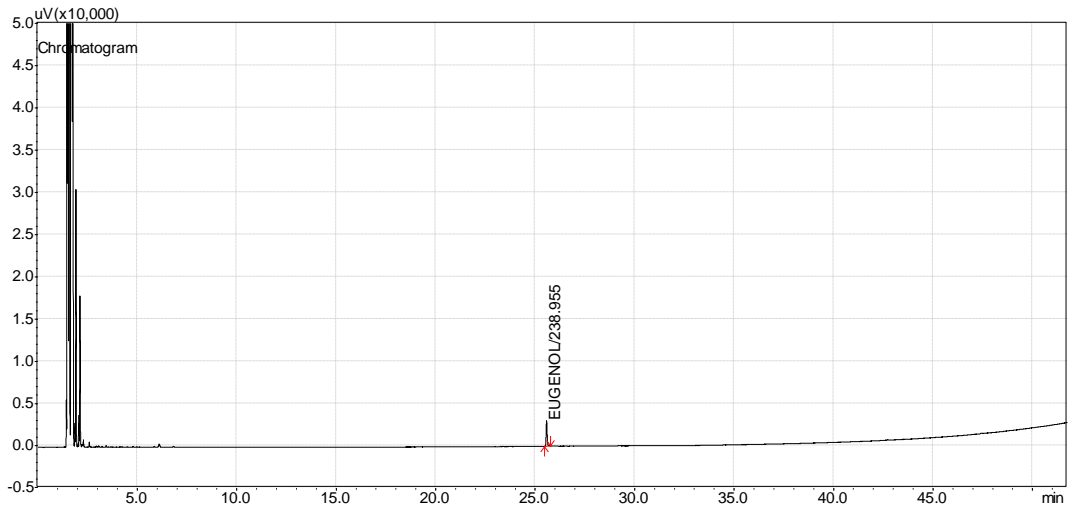
RF %RSD : 7.123208

Date Processed : 26/01/2024 18:23:37

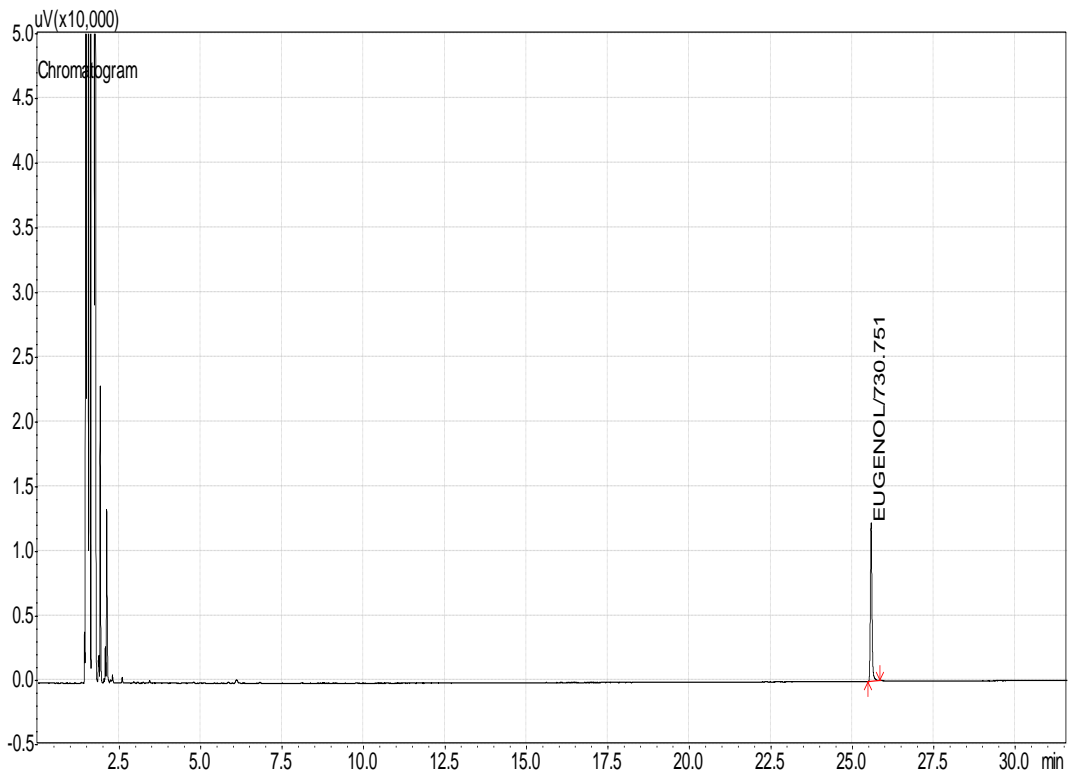


Level	Conc.		Area1
1	200.00	<input checked="" type="checkbox"/>	11,273
2	1,000.0	<input type="checkbox"/>	43,047
3	2,000.0	<input checked="" type="checkbox"/>	118,003
4	3,000.0	<input checked="" type="checkbox"/>	194,188

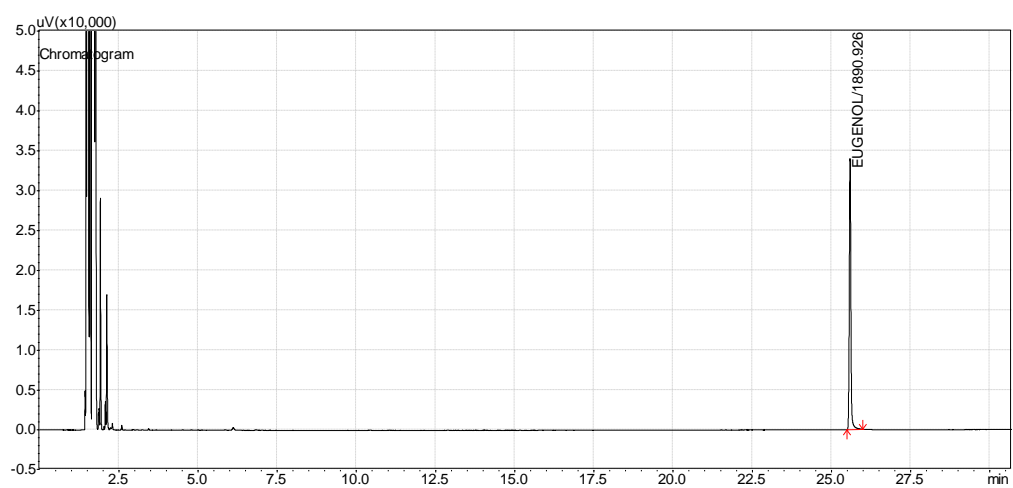
200 ppm



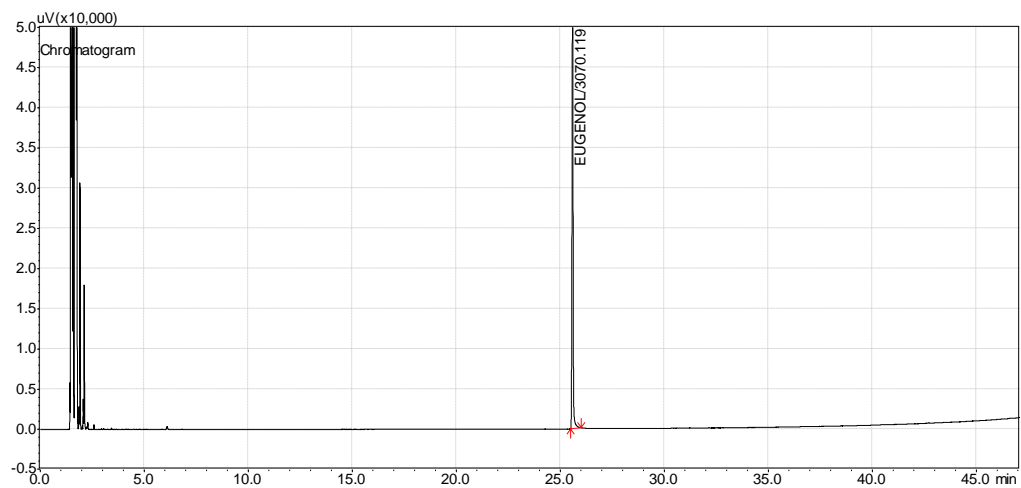
1000 ppm



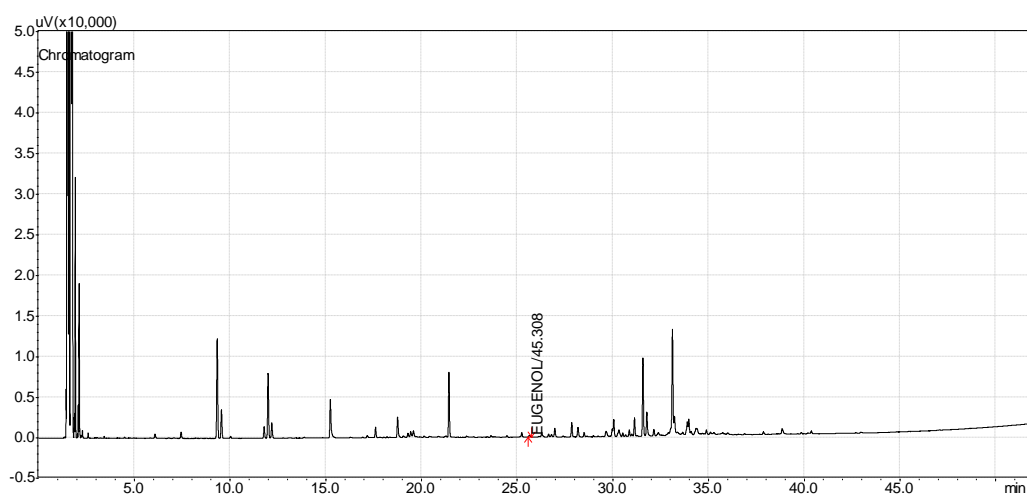
2000 ppm



3000 ppm

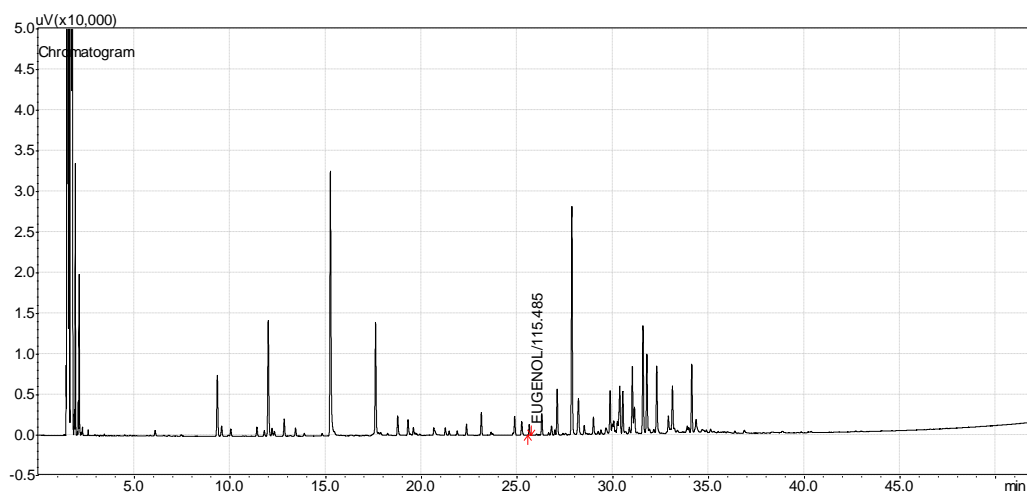


## Eugenol en Hierba buena



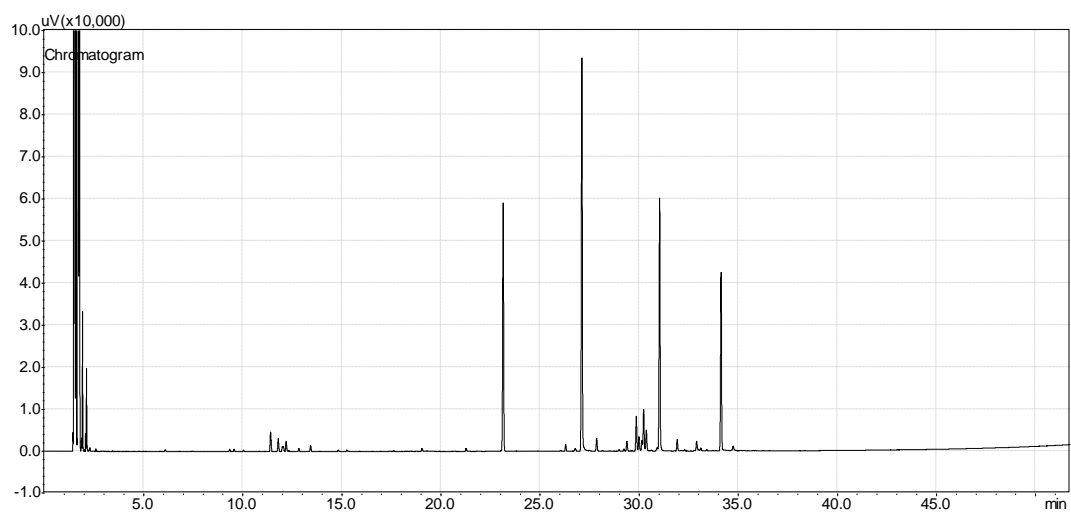
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Compound ID#	Compound Name
1	25.628	1173.3	210.7	45.30803	ppm	1	EUGENOL

## Eugenol en Limón Real



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Compound ID#	Compound Name
1	25.629	4476.1	1332.0	115.48536	ppm	1	EUGENOL

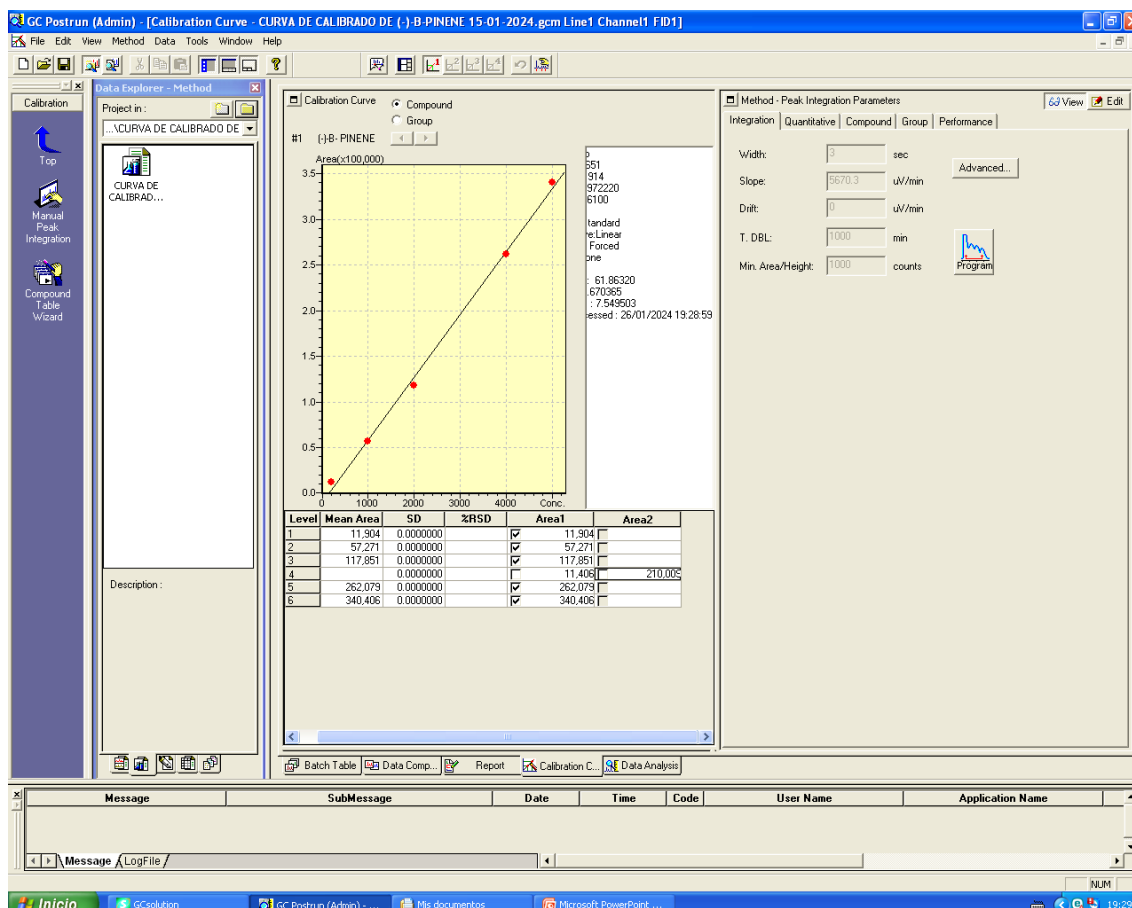
# Eugenol en Matico



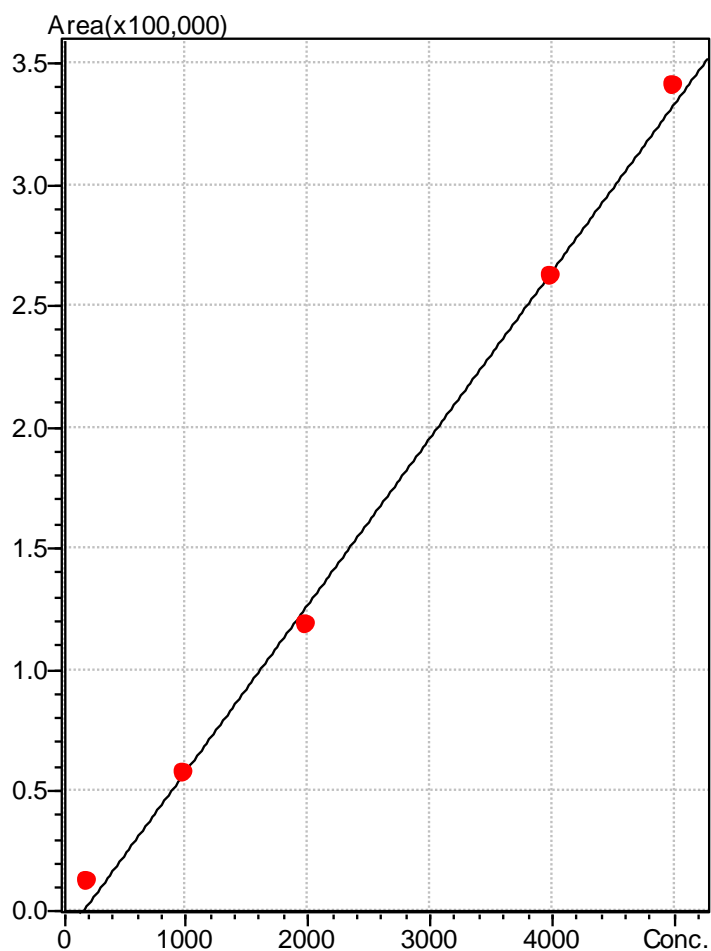
## Anexo 07: Identificación de (-)-β-Pinene

En las características físicoquímicas del aceite de Sacha Inchi, se tuvo diluciones a 200 ppm, 1000 ppm, 2000 ppm, 4000 ppm, y 5000 ppm, y se determinó sus correspondientes áreas bajo la curva en la cromatografía.

### Análisis de la Cromatografía de Gases



### Curva de Calibrado de (-)-B-Pinene



$$Y = aX + b$$

$$a = 68.78651$$

$$b = -9936.914$$

$$R^2 = 0.9972220$$

$$R = 0.9986100$$

External Standard  
Calib.Curve:Linear  
Origin:Not Forced  
Weight:None

Mean RF : 61.86320

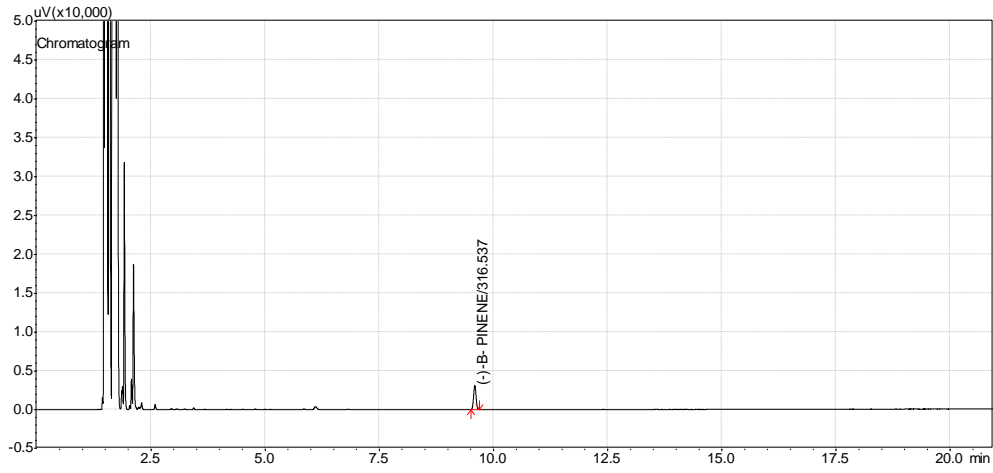
RF SD : 4.670365

RF %RSD : 7.549503

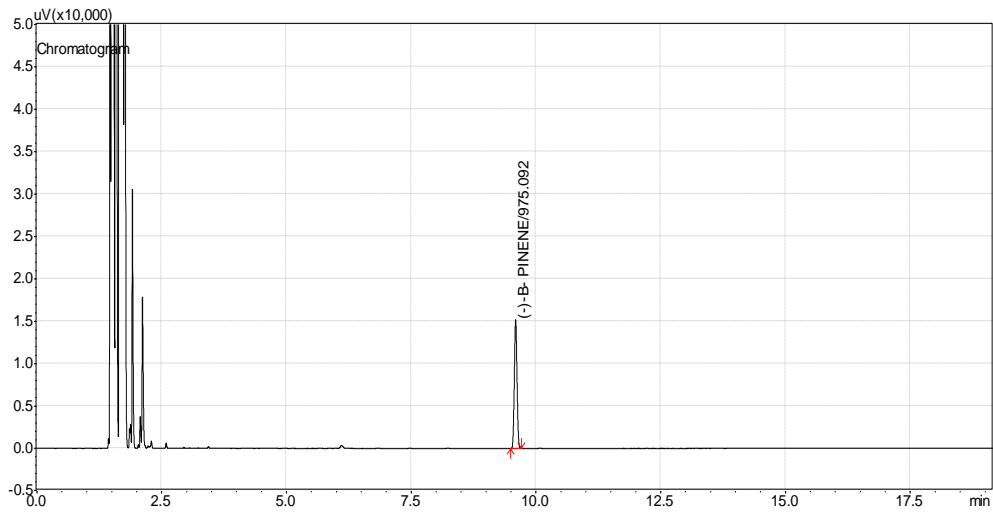
Date Processed : 26/01/2024 19:28:59

Level	Mean Area	SD	%RSD	Area1	Area2
1	11,904	0.0000000		<input checked="" type="checkbox"/>	11,904
2	57,271	0.0000000		<input checked="" type="checkbox"/>	57,271
3	117,851	0.0000000		<input checked="" type="checkbox"/>	117,851
4		0.0000000		<input type="checkbox"/>	11,406
5	262,079	0.0000000		<input checked="" type="checkbox"/>	262,079
6	340,406	0.0000000		<input checked="" type="checkbox"/>	340,406

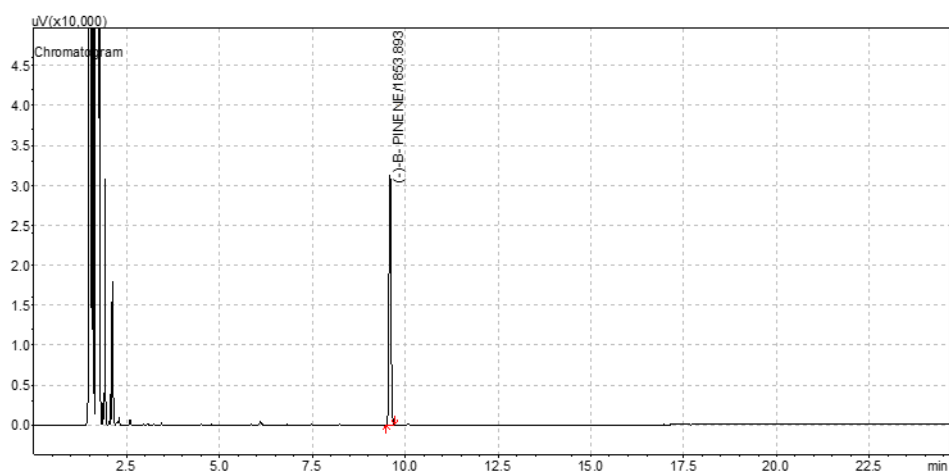
200 ppm



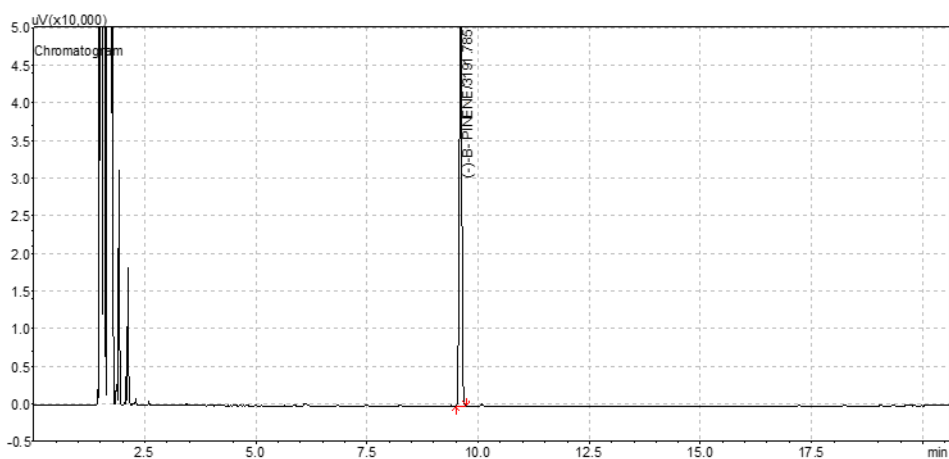
1000 ppm



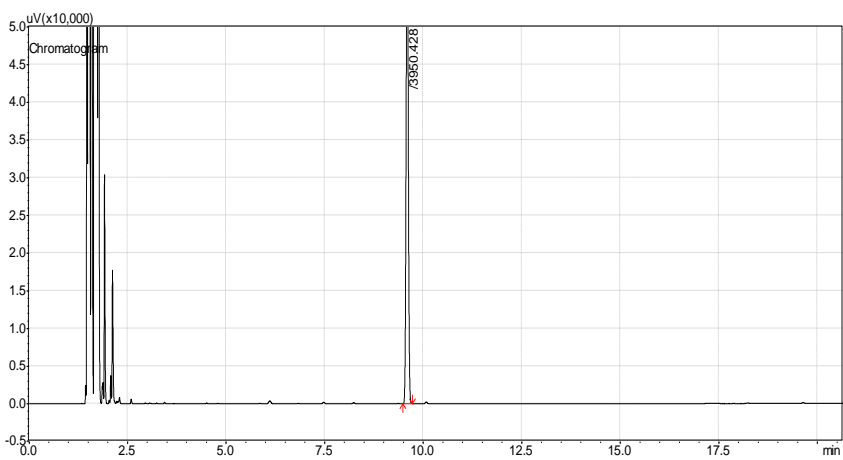
2000 ppm



3000 ppm

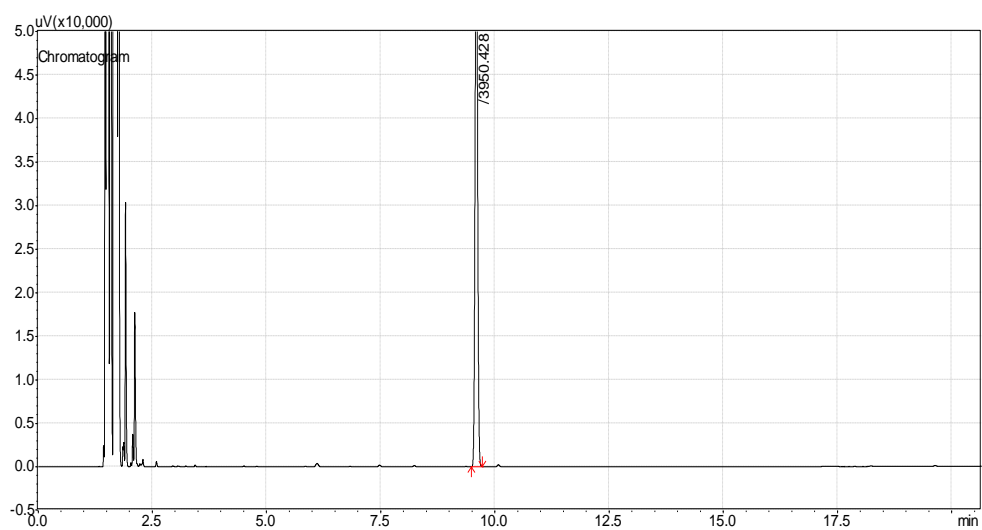


4000 ppm

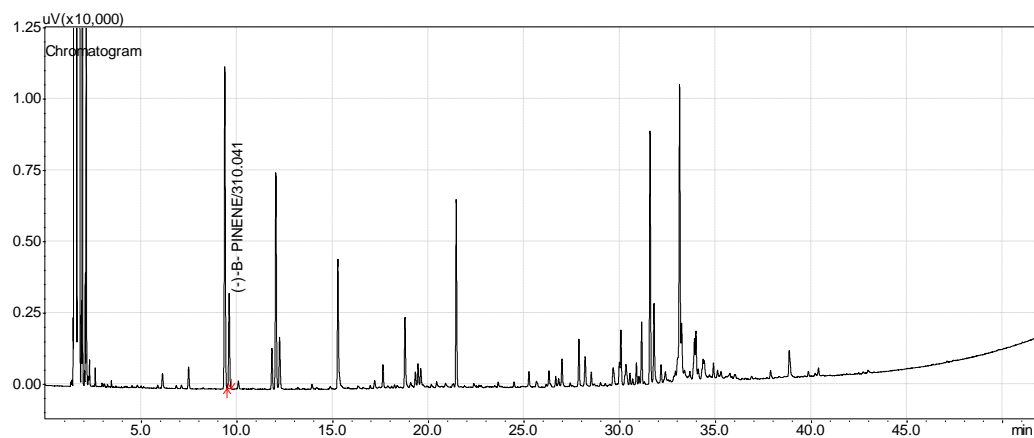




5000 ppm

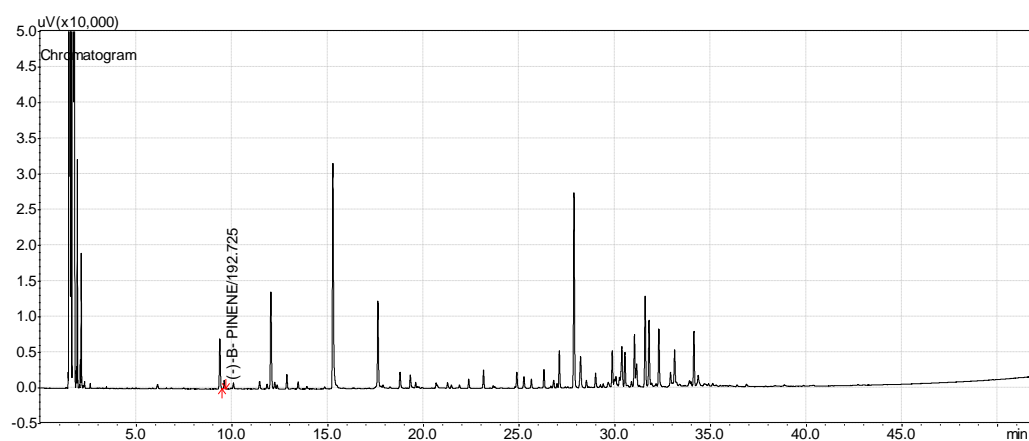


(-)-B-Pinene en Hierba buena



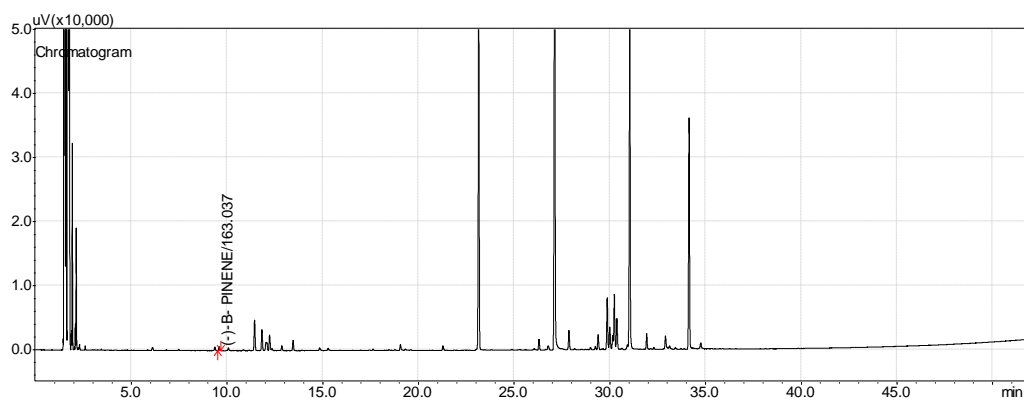
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Compound ID#	Compound Name
1	9.585	12801.5	3320.1	310.04091	ppm	1	(-)-B- PINENE

## (-)-B-Pinene en Limón Real



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Compound ID#	Compound Name
1	9.588	4686.7	1238.3	192.72512	ppm	1	(-)-B- PINENE

## (-)-B-Pinene en Matico



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Units	Compound ID#	Compound Name
1	9.587	2633.2	699.1	163.03722	ppm	1	(-)-B- PINENE

## Anexo 08: Análisis comparativo de la vida útil

### Tukey Post-Hoc Test – Horas de inducción a los 0, 7, 15, 30, 90 días

		SI 0.1% H 100°C	SI 0.1% H 110°C	SI 0.1% H 90°C	SI 0.1% L 100°C	SI 0.1% L 110°C	SI 0.1% L 90°C	SI 0.1% M 100°C	SI 0.1% M 110°C	SI 0.1% M 90°C	SI 0.3% H 100°C	SI 0.3% H 110°C	SI 0.3% H 90°C	SI 0.3% L 100°C	SI 0.3% L 110°C	SI 0.3% L 90°C	SI 0.3% M 100°C	SI 0.3% M 110°C	SI 0.3% M 90°C	SI 0.5% H 100°C	SI 0.5% H 110°C	SI 0.5% H 90°C	SI 0.5% L 100°C	SI 0.5% L 110°C	SI 0.5% L 90°C	SI 0.5% M 100°C	SI 0.5% M 110°C	SI 0.5% M 90°C		
SI 0.1% H 100°C	p-value	—	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	NaN	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	
SI 0.1% H 110°C	p-value		—	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
SI 0.1% H 90°C	p-value			—	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
SI 0.1% L 100°C	p-value				—	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
SI 0.1% L 110°C	p-value					—	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	NaN	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
SI 0.1% L 90°C	p-value						—	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
SI 0.1% M 100°C	p-value							—	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
SI 0.1% M 110°C	p-value								—	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
SI 0.1% M 90°C	p-value									—	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
SI 0.3% H 100°C	p-value										—	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
SI 0.3% H 110°C	p-value											—	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
SI 0.3% H 90°C	p-value												—	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
SI 0.3% L 100°C	p-value													—	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001



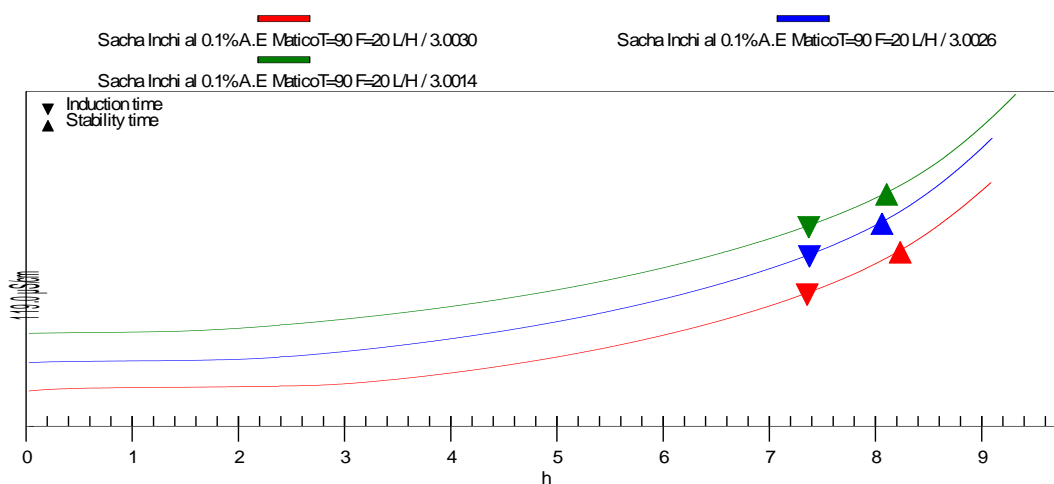
## Anexo 09: Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Matico 0.1% a 90 días

Sacha Inchi de 0.1% matico 90 días

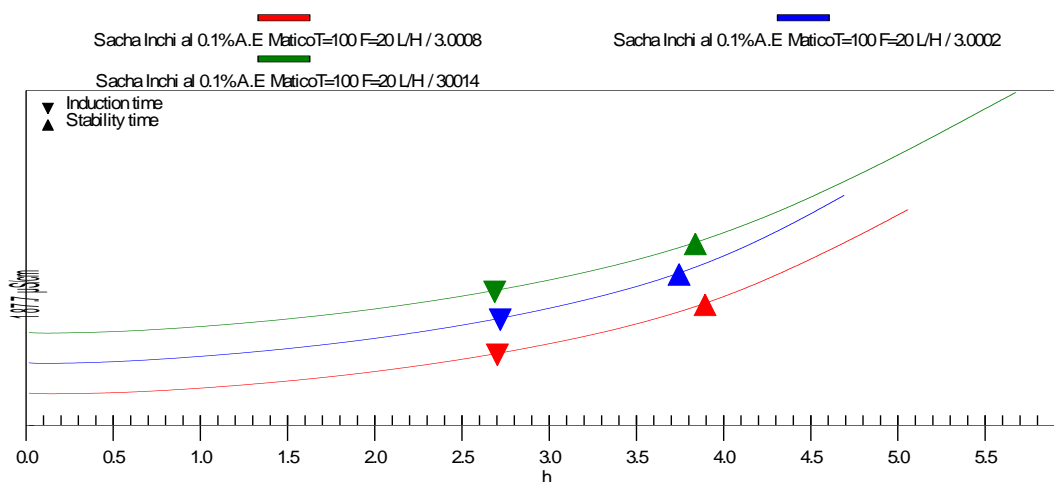
ID 1	ID 2	Determination date	Tempe	Evalua	Induction
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=90 F=20 L/H	3.0030	26.09.2023 18:43:19	90°C	1	7.34 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=90 F=20 L/H	3.0026	26.09.2023 18:43:07	90°C	1	7.36 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=90 F=20 L/H	3.0014	26.09.2023 18:42:56	90°C	1	7.35 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=100 F=20 L/H	3.0008	27.09.2023 10:28:41	100°C	1	2.69 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=100 F=20 L/H	3.0002	27.09.2023 10:28:38	100°C	1	2.71 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=100 F=20 L/H	30014	27.09.2023 10:28:33	100°C	1	2.68 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=110 F=20 L/H	3.0000	27.09.2023 10:28:51	110°C	1	0.94 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=110 F=20 L/H	3.0008	27.09.2023 10:28:48	110°C	1	0.95 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=110 F=20 L/H	3.0014	27.09.2023 10:28:45	110°C	1	0.95 h

El tiempo de inducción representa la vida útil del aceite, a mayor temperatura se reduce la vida útil

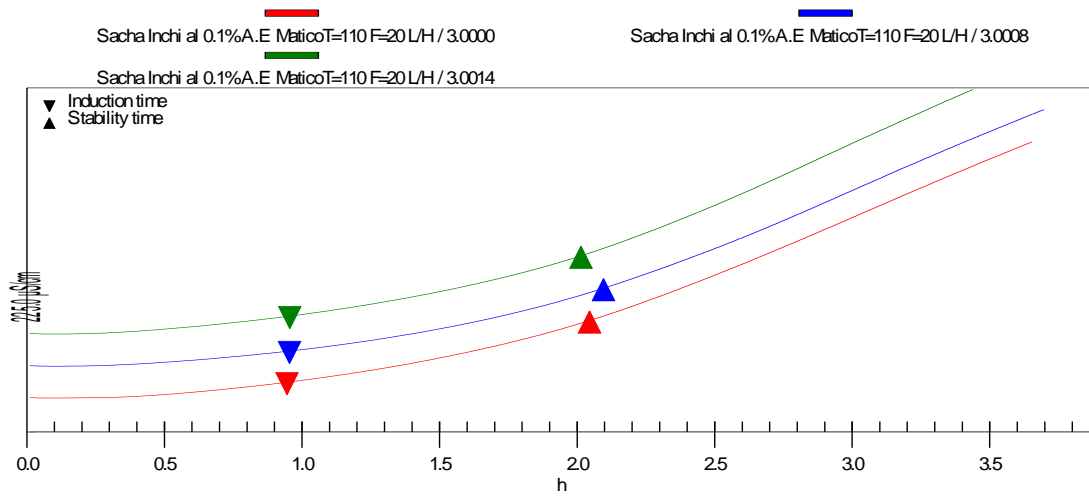
### Índice de estabilidad oxidativa a los 90°C



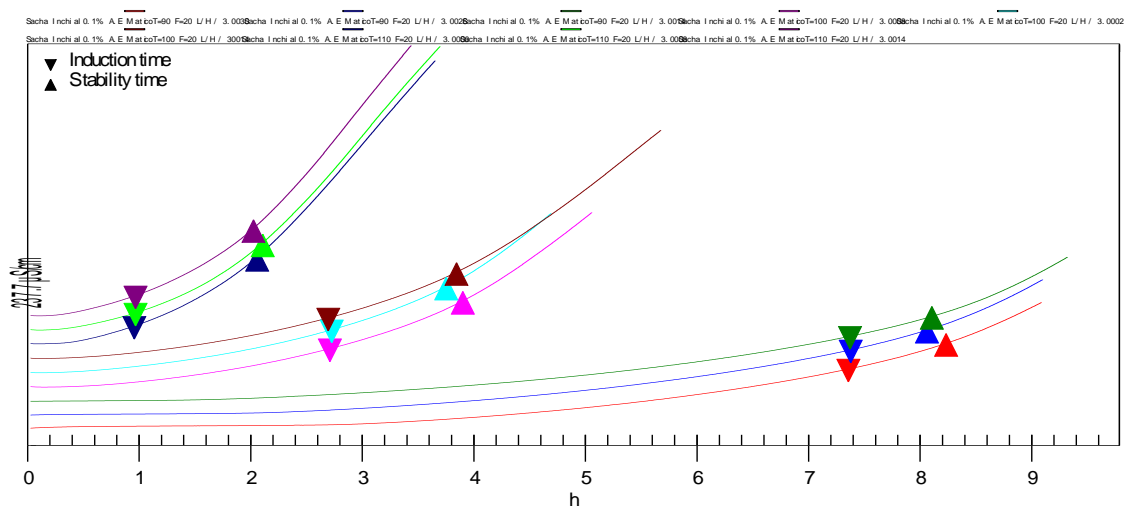
### Índice de estabilidad oxidativa a los 100°C



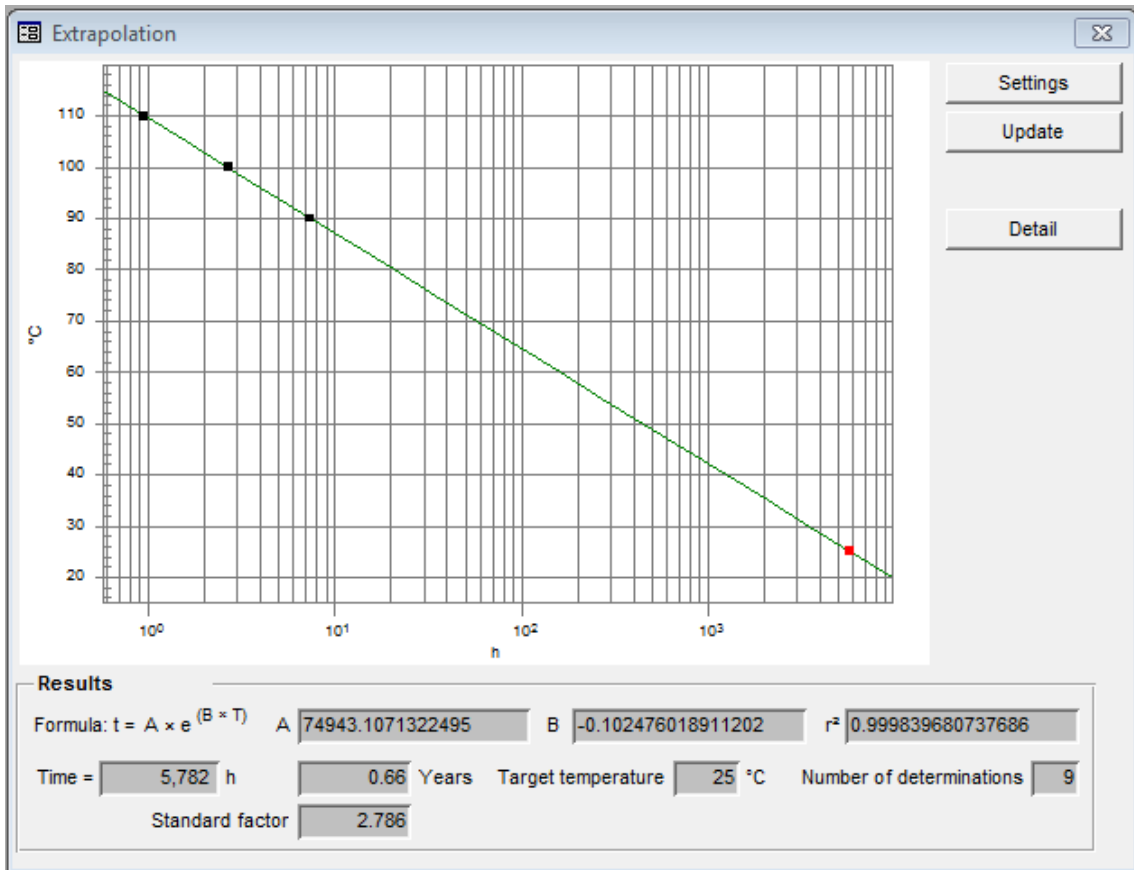
## Índice de estabilidad oxidativa a los 110°C



## Comparación de los índices de estabilidad oxidativa a los 110°C, 100°C y 90°C



# Gráfico de vida útil



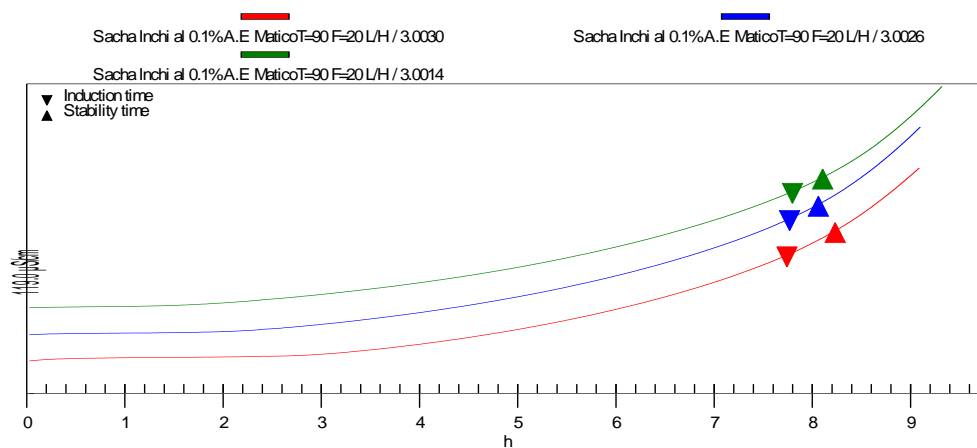
## Anexo 10: Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Matico 0.3% a 90 días

Sacha Inchi de 0.3% matico 90 días

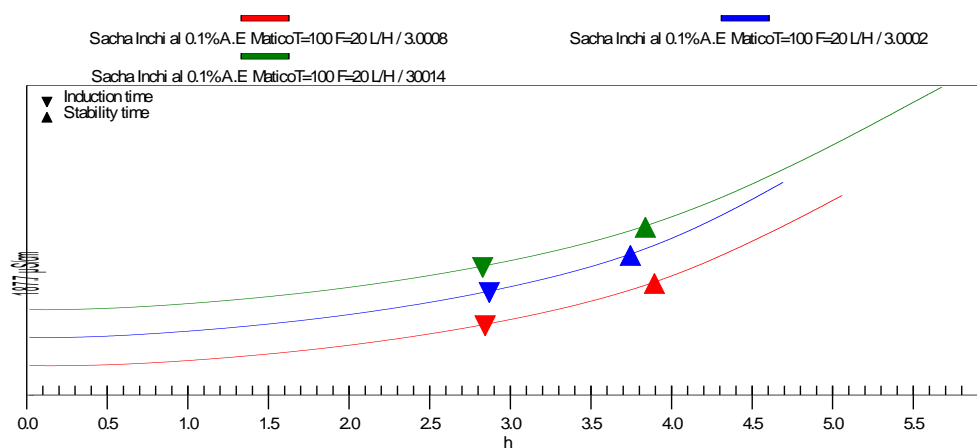
ID 1	ID 2	Determination date	Tempe	Evalua	Induction
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=90 F=20 L/H	3.0030	26.09.2023 18:43:19	90°C	1	7.72 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=90 F=20 L/H	3.0026	26.09.2023 18:43:07	90°C	1	7.75 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=90 F=20 L/H	3.0014	26.09.2023 18:42:56	90°C	1	7.78 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=100 F=20 L/H	3.0008	27.09.2023 10:28:41	100°C	1	2.83 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=100 F=20 L/H	3.0002	27.09.2023 10:28:38	100°C	1	2.86 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=100 F=20 L/H	30014	27.09.2023 10:28:33	100°C	1	2.82 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=110 F=20 L/H	3.0000	27.09.2023 10:28:51	110°C	1	0.98 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=110 F=20 L/H	3.0008	27.09.2023 10:28:48	110°C	1	0.98 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=110 F=20 L/H	3.0014	27.09.2023 10:28:45	110°C	1	0.99 h

Al aumentar la combinación el aceite de Sacha Inchi con el matico, mejora o alarga su vida útil

Índice de estabilidad oxidativa a los 90°C

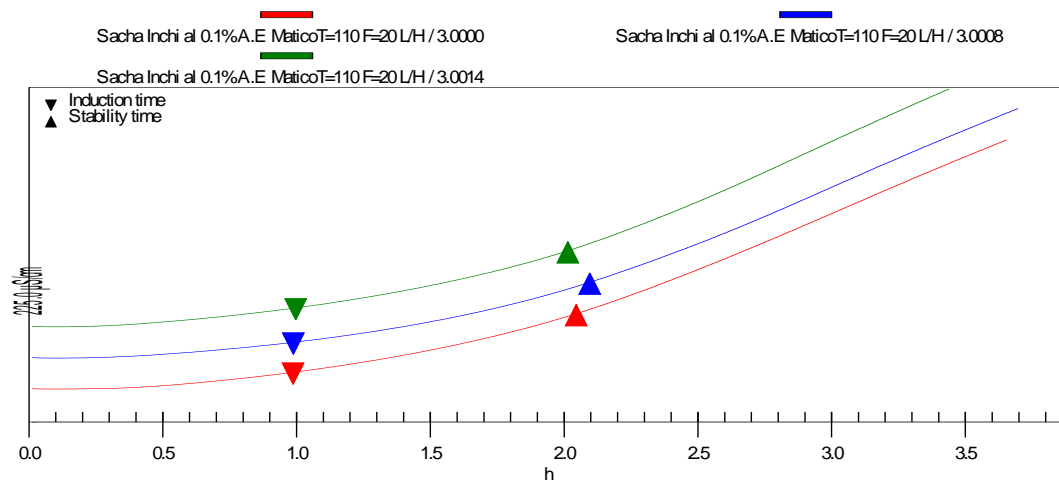


Índice de estabilidad oxidativa a los 100°C

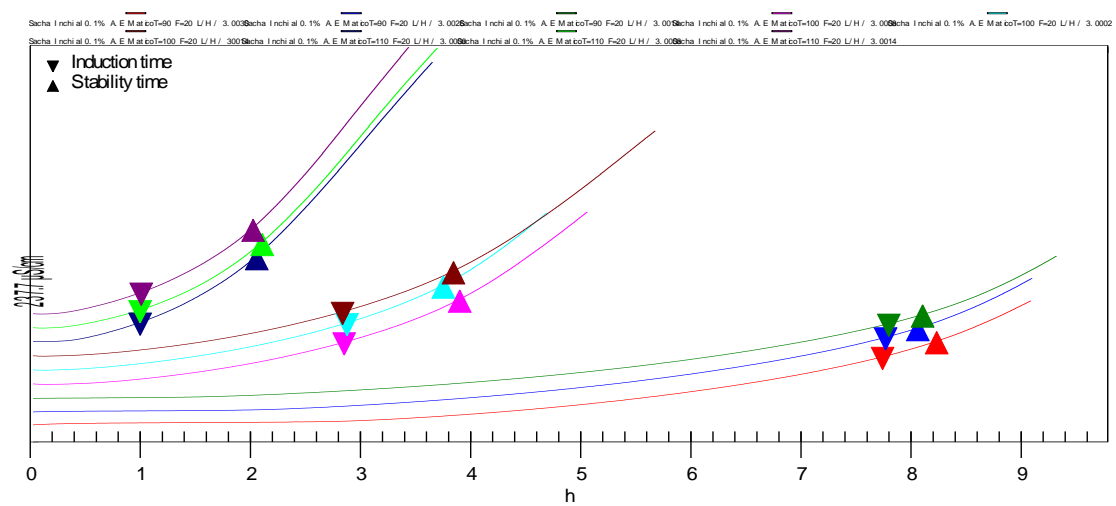




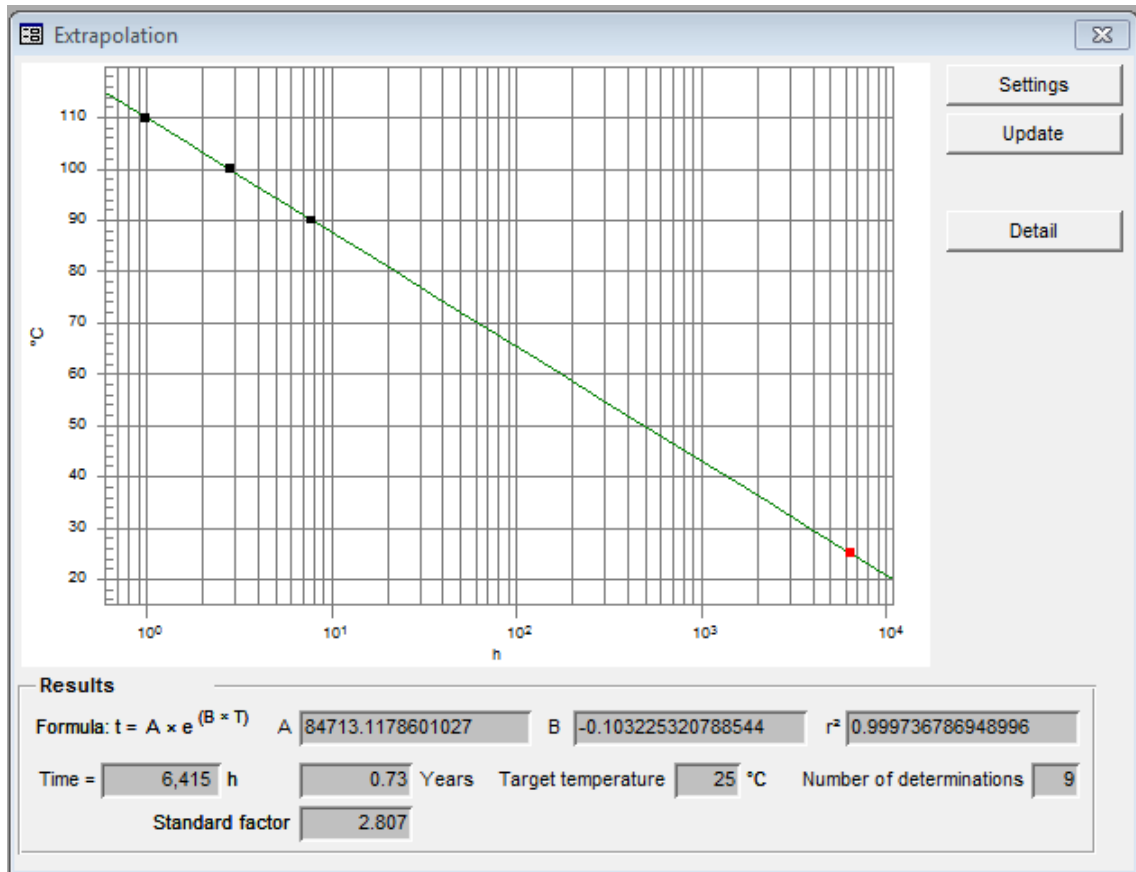
## Índice de estabilidad oxidativa a los 110°C



## Comparación de los índices de estabilidad oxidativa a los 110°C, 100°C y 90°C



# Gráfico de vida útil

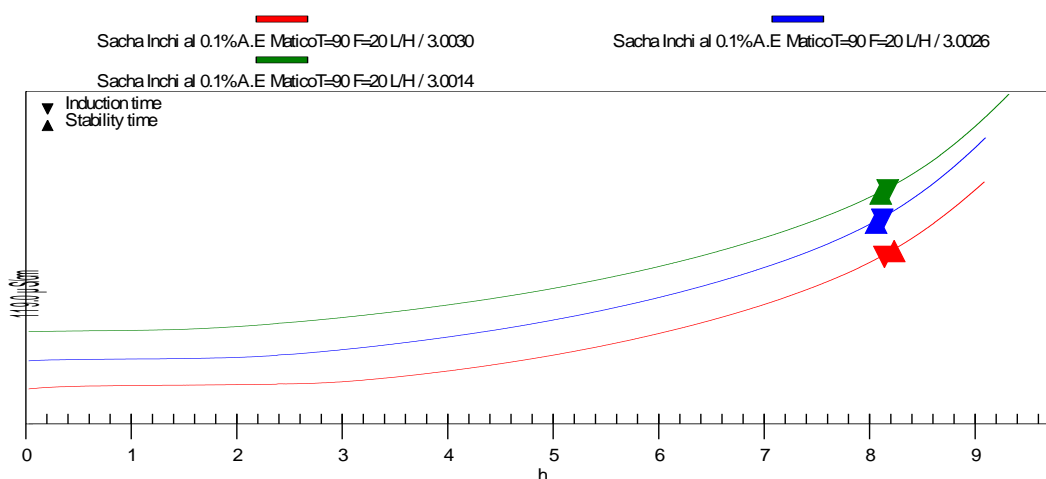


## Anexo 11: Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Matico 0.5% a 90 días

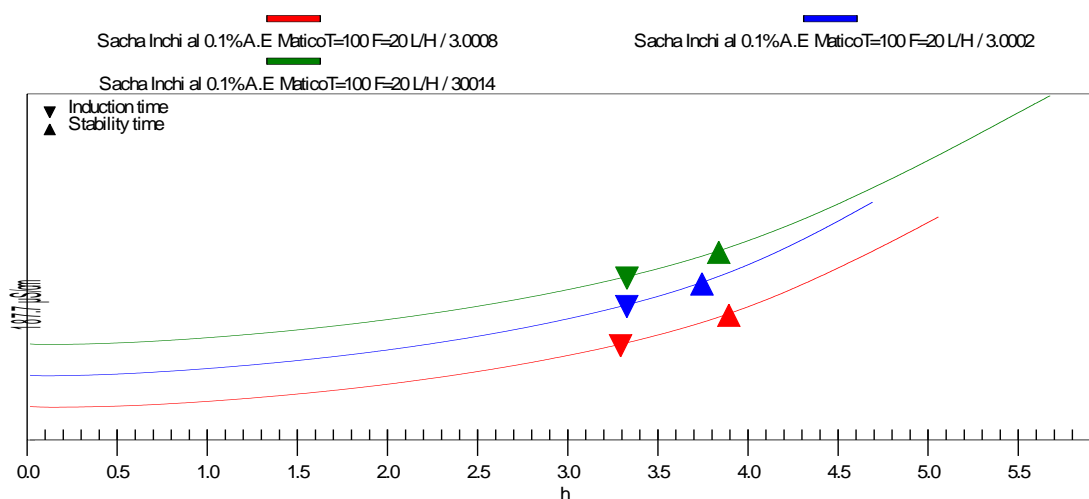
Sacha Inchi de 0.5% matico 90 días

ID 1	ID 2	Determination date	Tempe	Evalua	Induction
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=90 F=20 L/H	3.0030	26.09.2023 18:43:19	90°C	1	8.12 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=90 F=20 L/H	3.0026	26.09.2023 18:43:07	90°C	1	8.10 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=90 F=20 L/H	3.0014	26.09.2023 18:42:56	90°C	1	8.15 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=100 F=20 L/H	3.0008	27.09.2023 10:28:41	100°C	1	3.28 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=100 F=20 L/H	3.0002	27.09.2023 10:28:38	100°C	1	3.32 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=100 F=20 L/H	30014	27.09.2023 10:28:33	100°C	1	3.32 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=110 F=20 L/H	3.0000	27.09.2023 10:28:51	110°C	1	1.04 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=110 F=20 L/H	3.0008	27.09.2023 10:28:48	110°C	1	1.03 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E MaticoT=110 F=20 L/H	3.0014	27.09.2023 10:28:45	110°C	1	1.02 h

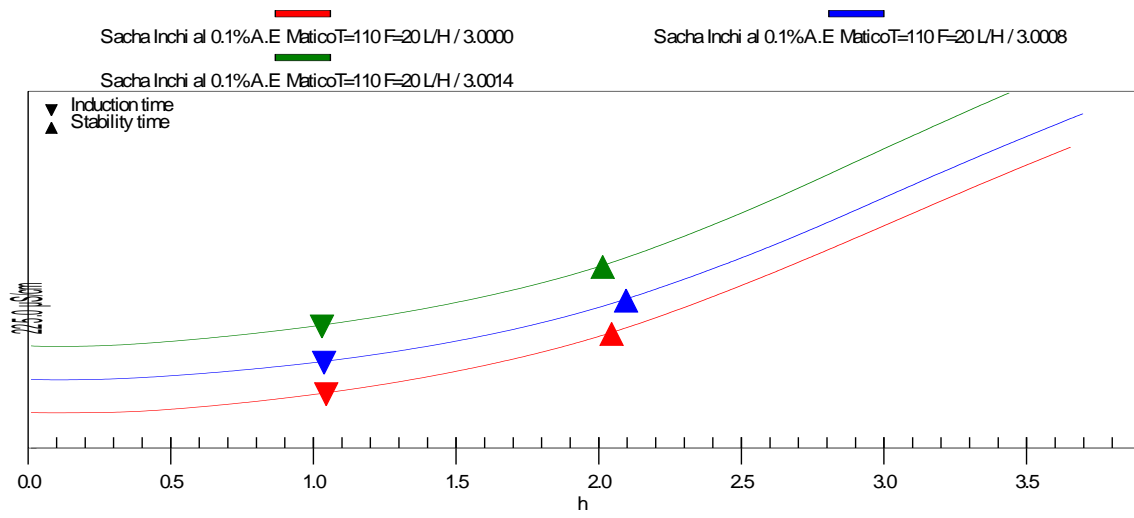
Índice de estabilidad oxidativa a los 90°C



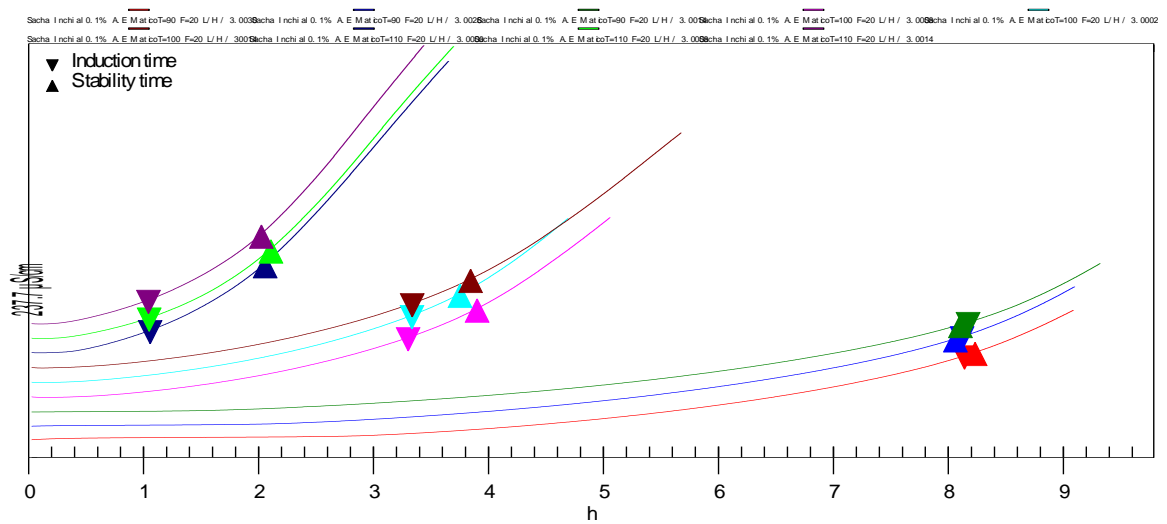
Índice de estabilidad oxidativa a los 100°C



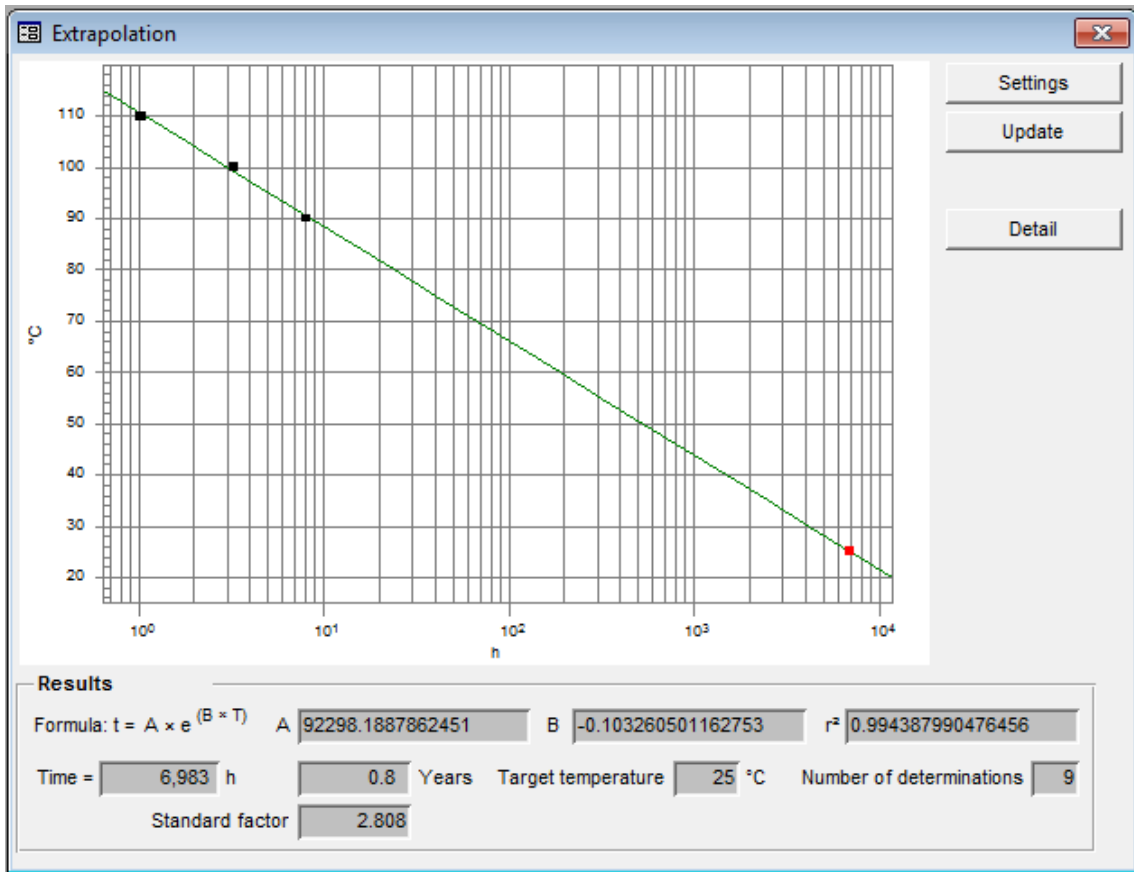
## Índice de estabilidad oxidativa a los 110°C



## Comparación de los índices de estabilidad oxidativa a los 110°C, 100°C y 90°C



# Gráfico de vida útil



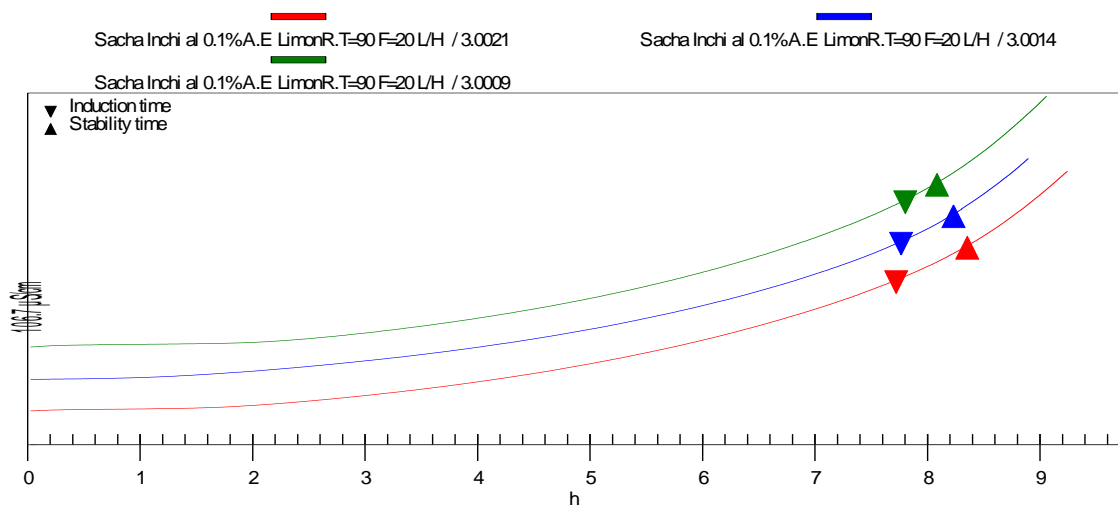
## Anexo 12: Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Limón

### Real 0.1% a 90 días

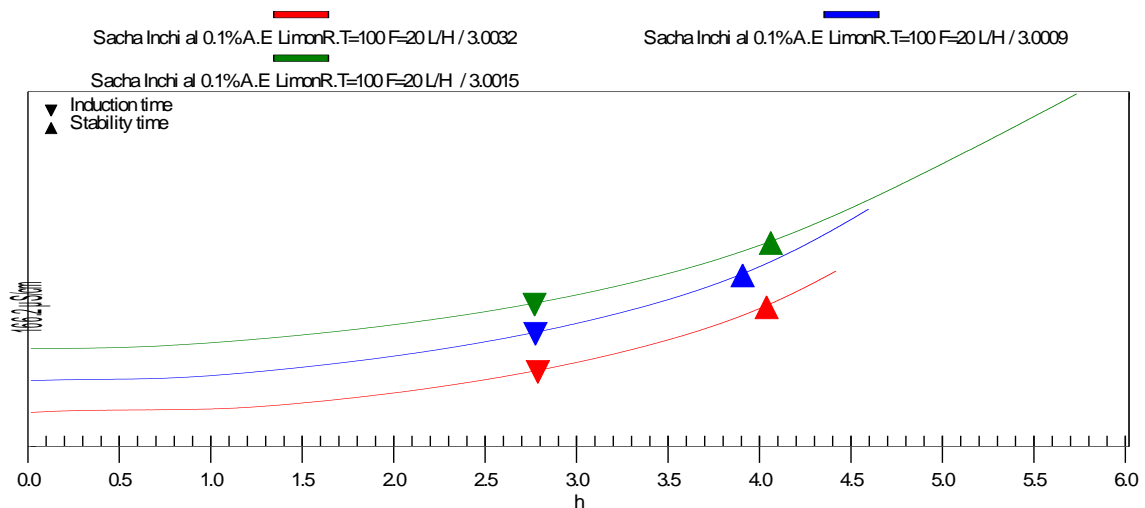
Sacha Inchi de 0.1% Limón real 90 días

ID 1	ID 2	Determination date	Tempe	Evalua	Induction
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=90 F=20 L/H	3.0021	12.10.2023 17:11:24	90°C	1	7.70 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=90 F=20 L/H	3.0014	12.10.2023 17:11:14	90°C	1	7.75 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=90 F=20 L/H	3.0009	12.10.2023 17:11:03	90°C	1	7.78 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=100 F=20 L/H	3.0032	12.10.2023 15:41:27	100°C	1	2.78 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=100 F=20 L/H	3.0009	12.10.2023 15:41:15	100°C	1	2.76 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=100 F=20 L/H	3.0015	12.10.2023 15:41:02	100°C	1	2.76 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=110 F=20 L/H	3.0009	12.10.2023 12:02:14	110°C	1	0.99 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=110 F=20 L/H	3.0002	12.10.2023 12:02:03	110°C	1	1.01 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=110 F=20 L/H	3.0021	12.10.2023 12:01:52	110°C	1	0.99 h

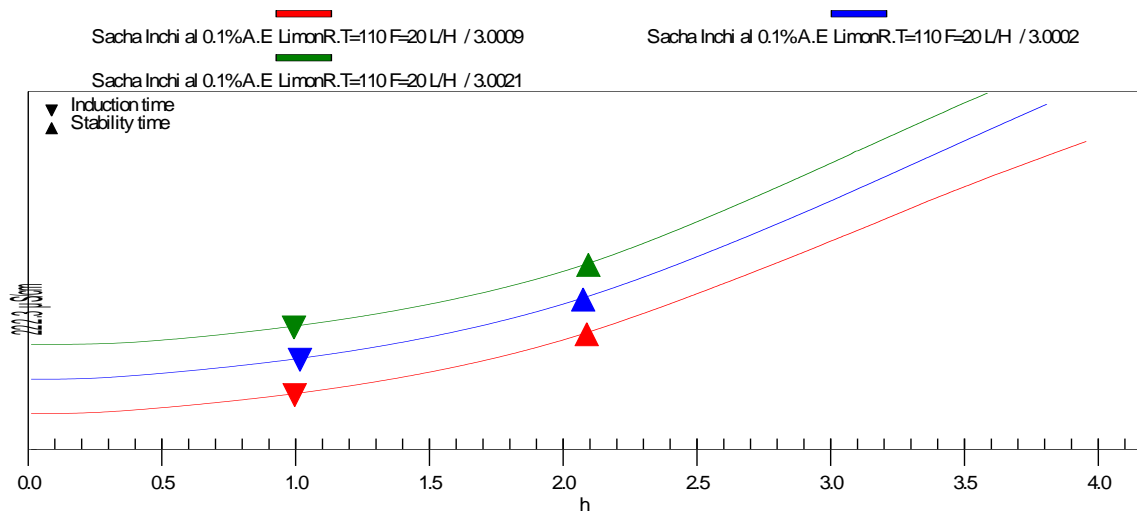
Índice de estabilidad oxidativa a los 90°C



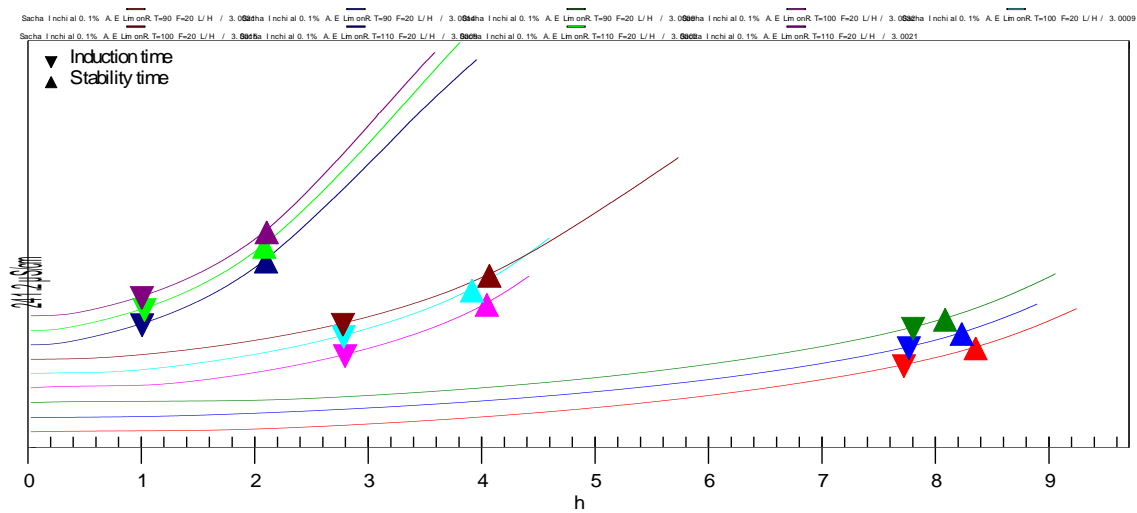
Índice de estabilidad oxidativa a los 100°C



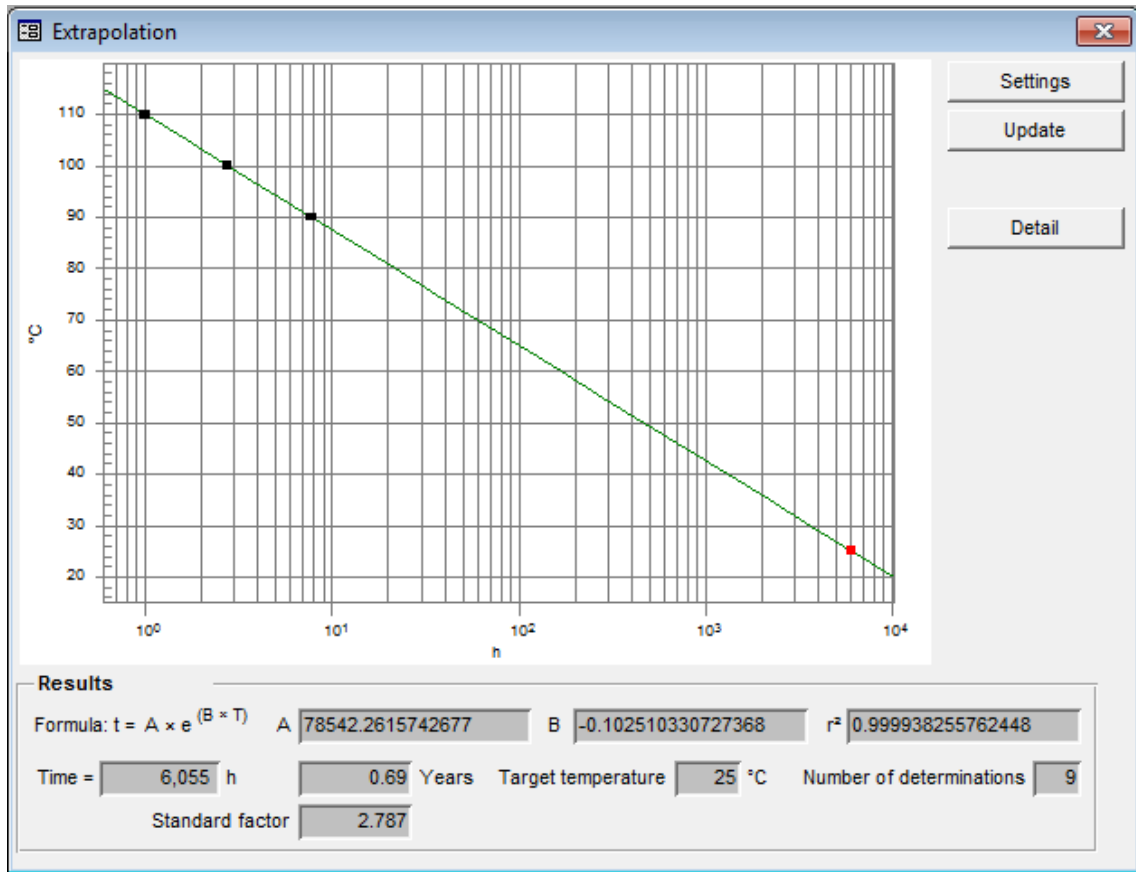
## Índice de estabilidad oxidativa a los 110°C



## Comparación de los índices de estabilidad oxidativa a los 110°C, 100°C y 90°C



# Gráfico de vida útil





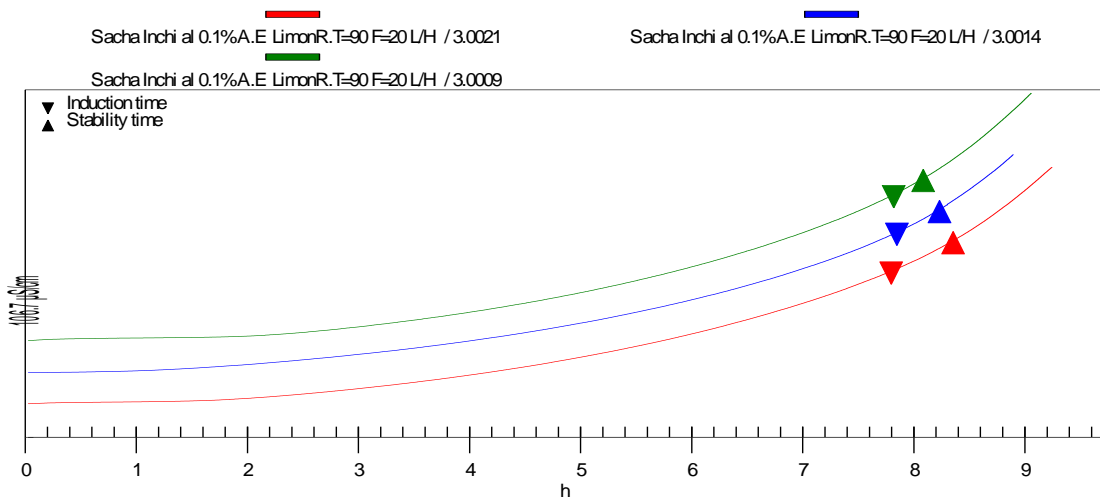
## Anexo 13: Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Limón

### Real 0.3% a 90 días

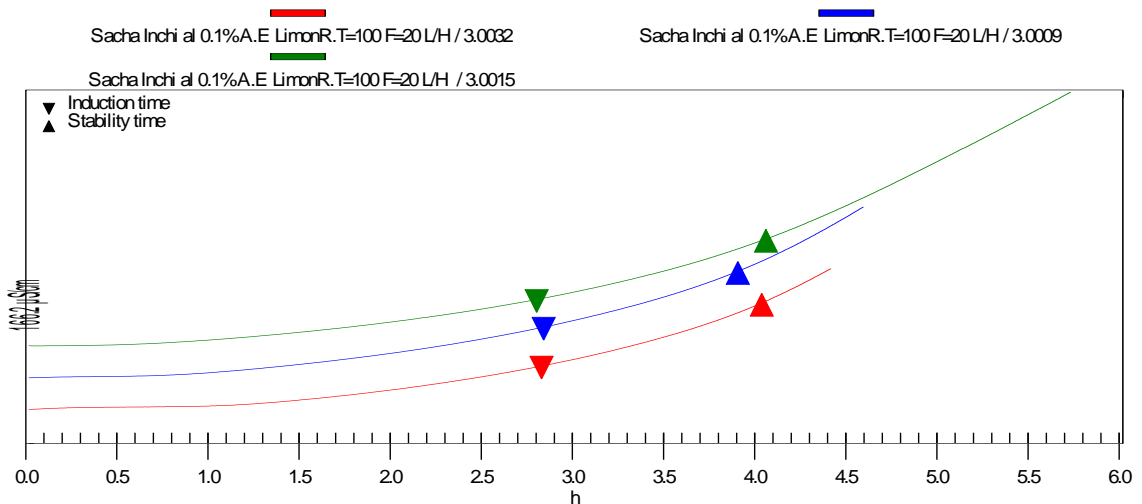
Sacha Inchi de 0.3% Limón real 90 días

ID 1	ID 2	Determination date	Tempe	Evalua	Induction
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=90 F=20 L/H	3.0021	12.10.2023 17:11:24	90°C	1	7.78 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=90 F=20 L/H	3.0014	12.10.2023 17:11:14	90°C	1	7.83 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=90 F=20 L/H	3.0009	12.10.2023 17:11:03	90°C	1	7.80 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=100 F=20 L/H	3.0032	12.10.2023 15:41:27	100°C	1	2.82 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=100 F=20 L/H	3.0009	12.10.2023 15:41:15	100°C	1	2.83 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=100 F=20 L/H	3.0015	12.10.2023 15:41:02	100°C	1	2.79 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=110 F=20 L/H	3.0009	12.10.2023 12:02:14	110°C	1	1.00 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=110 F=20 L/H	3.0002	12.10.2023 12:02:03	110°C	1	0.99 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=110 F=20 L/H	3.0021	12.10.2023 12:01:52	110°C	1	0.99 h

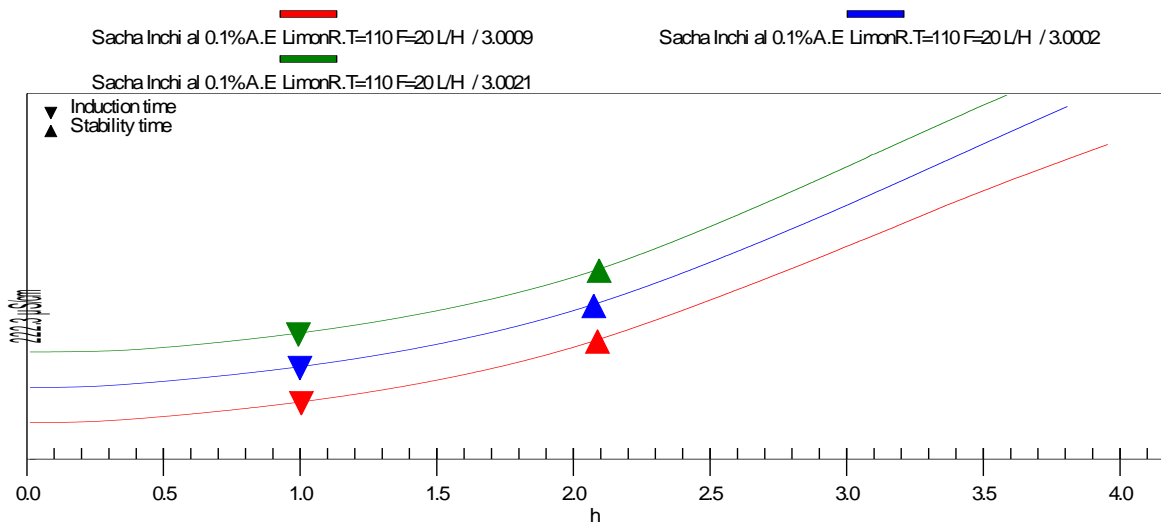
Índice de estabilidad oxidativa a los 90°C



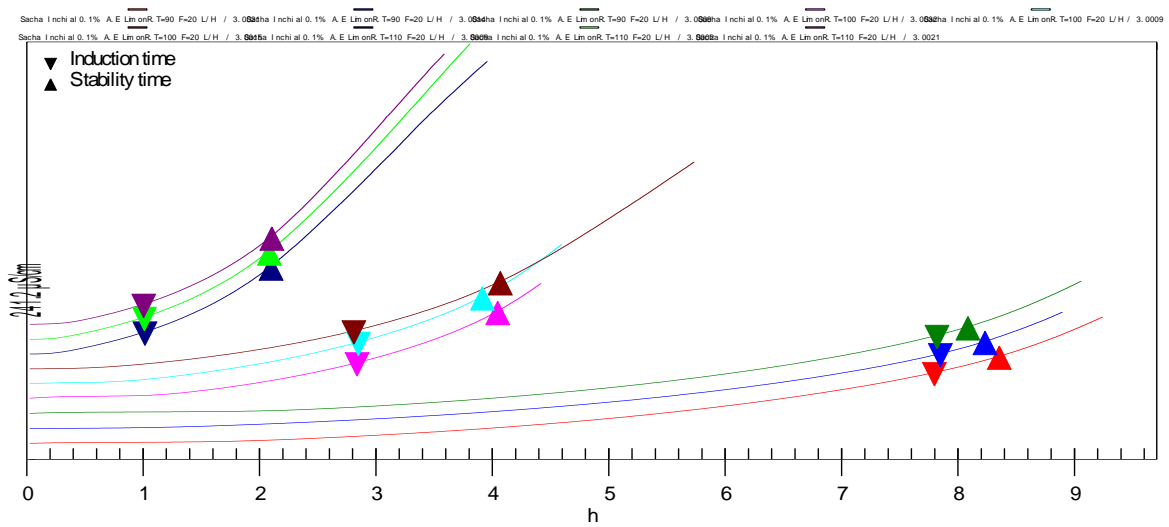
Índice de estabilidad oxidativa a los 100°C



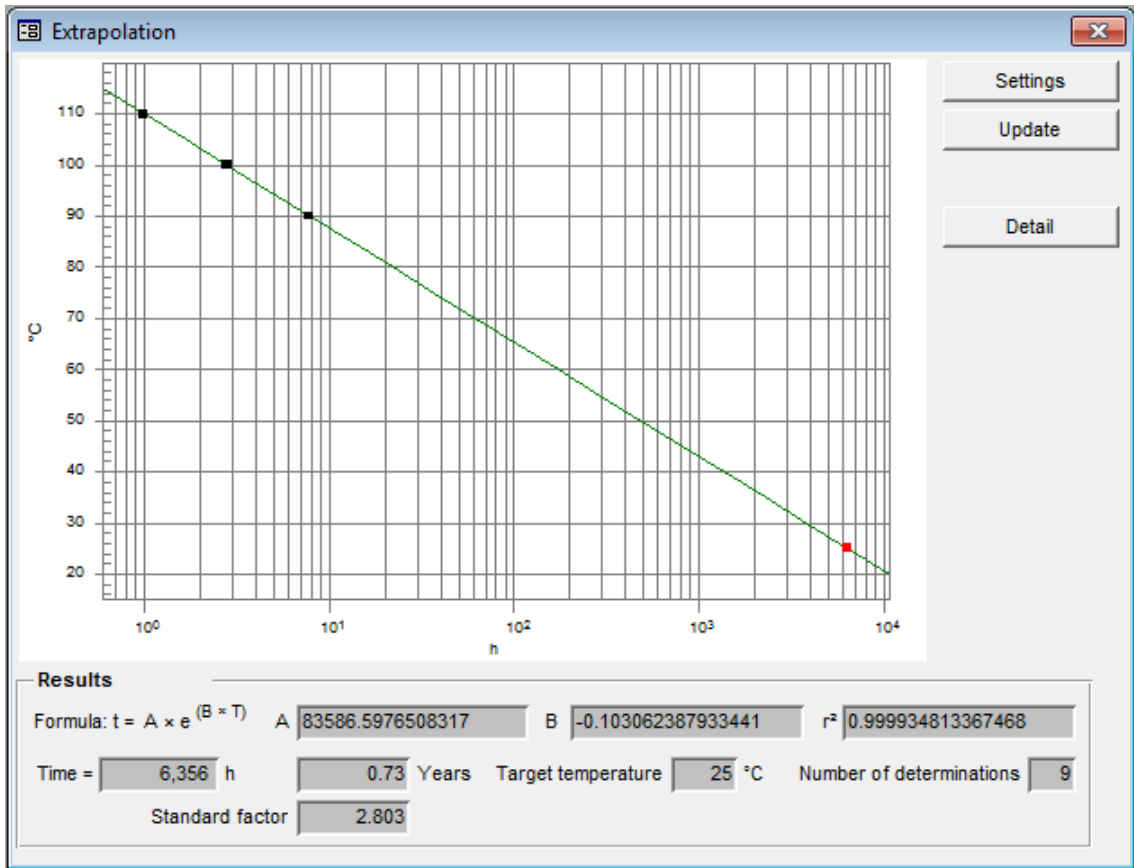
## Índice de estabilidad oxidativa a los 110°C



## Comparación de los índices de estabilidad oxidativa a los 110°C, 100°C y 90°C



# Gráfico de vida útil

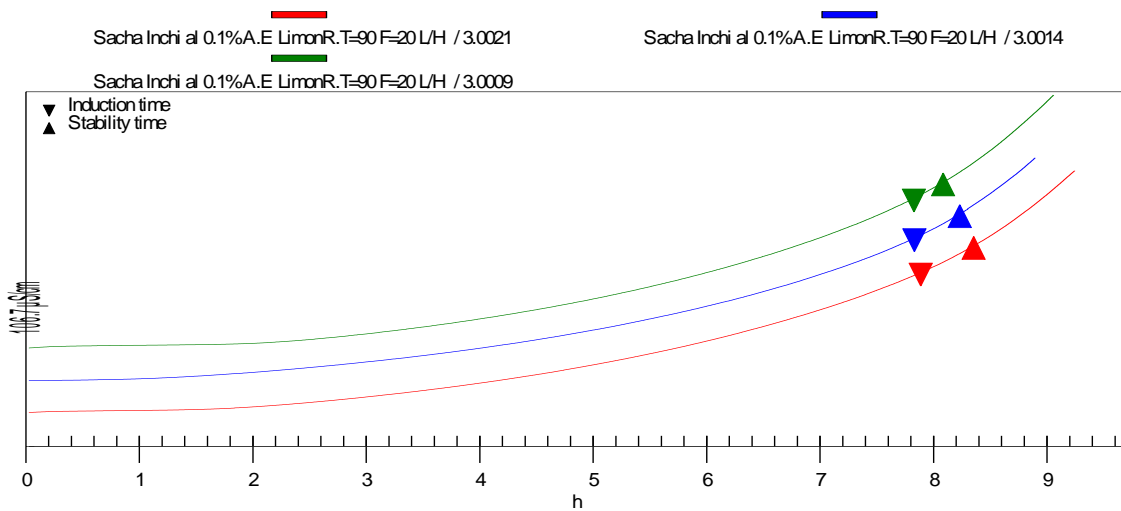


## Anexo 14: Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Limón Real 0.5% a 90 días

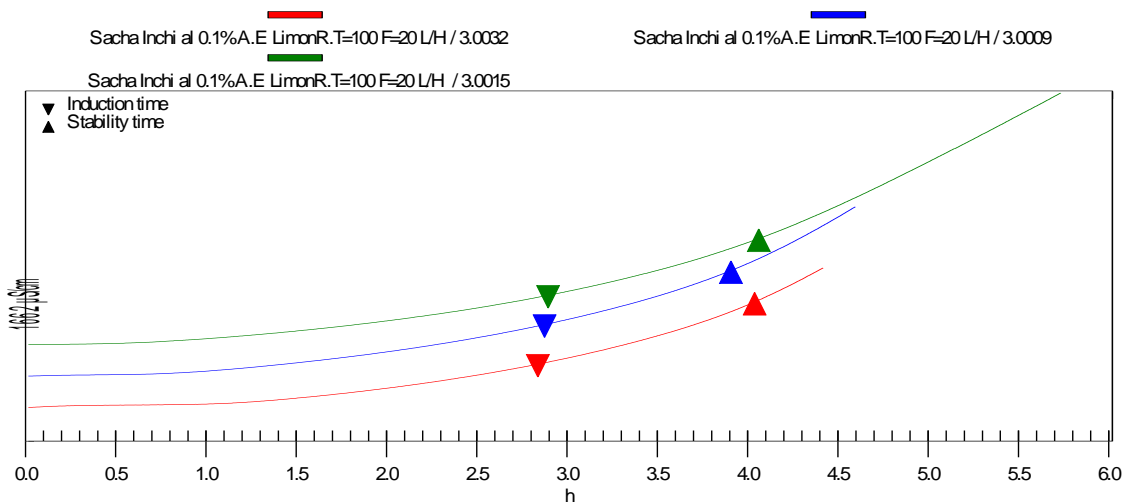
Sacha Inchi de 0.5% Limón real 90 días

ID 1	ID 2	Determination date	Tempe	Evalua	Induction
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=90 F=20 L/H	3.0021	12.10.2023 17:11:24	90°C	1	7.87 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=90 F=20 L/H	3.0014	12.10.2023 17:11:14	90°C	1	7.81 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=90 F=20 L/H	3.0009	12.10.2023 17:11:03	90°C	1	7.81 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=100 F=20 L/H	3.0032	12.10.2023 15:41:27	100°C	1	2.83 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=100 F=20 L/H	3.0009	12.10.2023 15:41:15	100°C	1	2.86 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=100 F=20 L/H	3.0015	12.10.2023 15:41:02	100°C	1	2.88 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=110 F=20 L/H	3.0009	12.10.2023 12:02:14	110°C	1	1.00 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=110 F=20 L/H	3.0002	12.10.2023 12:02:03	110°C	1	0.98 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E LimónR.T=110 F=20 L/H	3.0021	12.10.2023 12:01:52	110°C	1	0.97 h

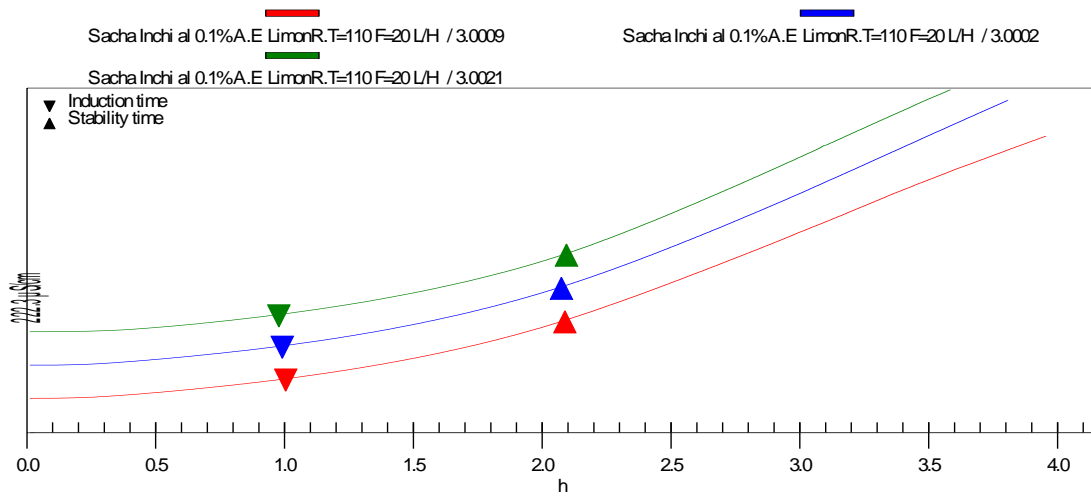
Índice de estabilidad oxidativa a los 90°C



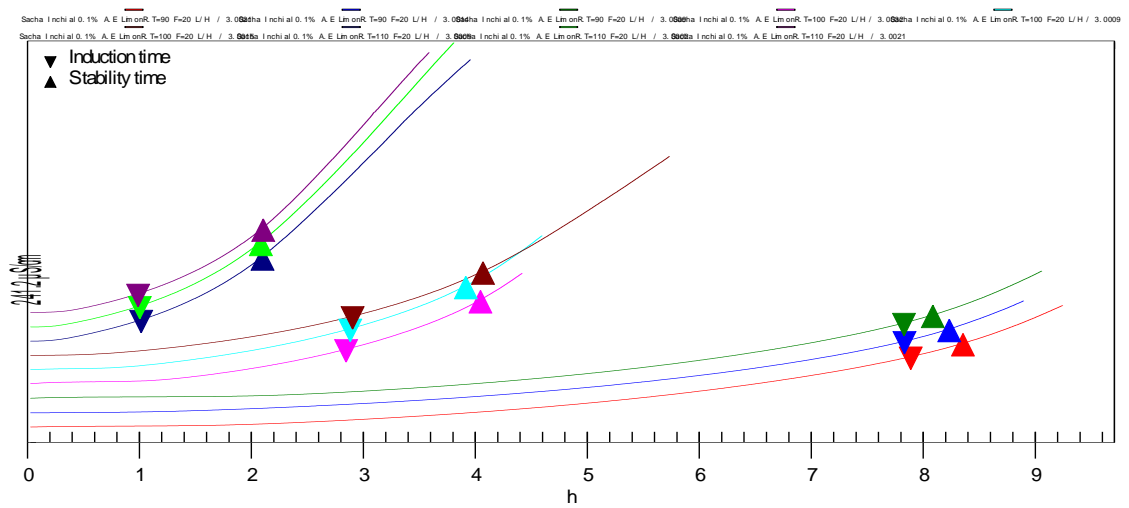
Índice de estabilidad oxidativa a los 100°C



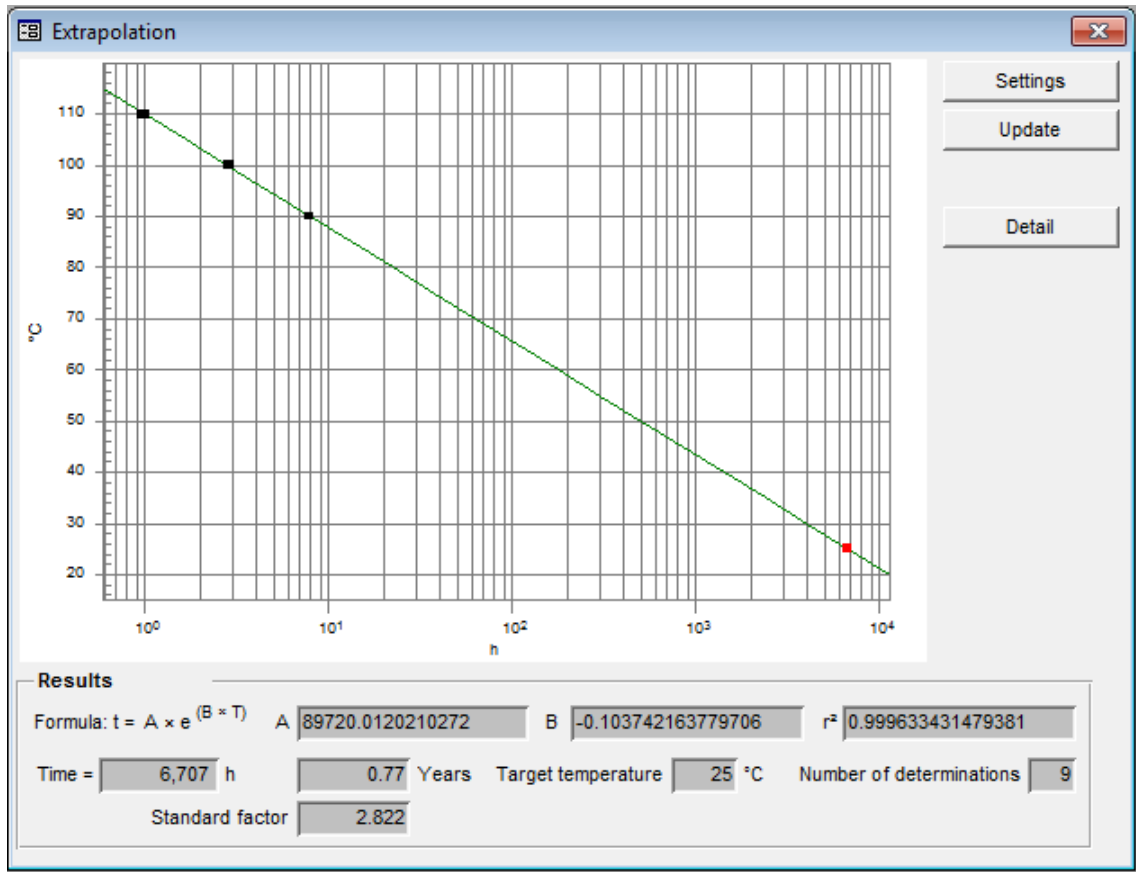
## Índice de estabilidad oxidativa a los 110°C



## Comparación de los índices de estabilidad oxidativa a los 110°C, 100°C y 90°C



# Gráfico de vida útil

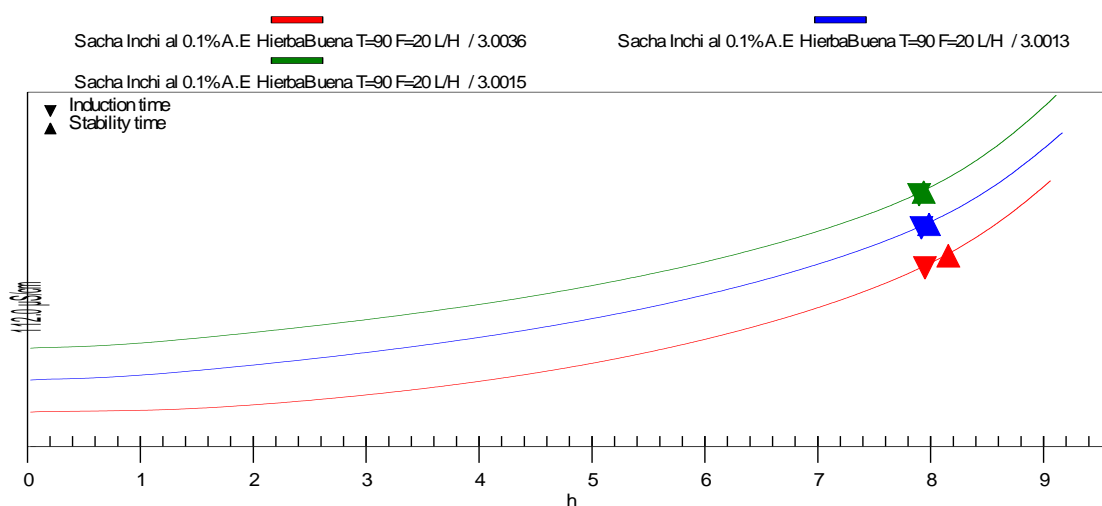


## Anexo 15: Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Hierba buena 0.1% a 90 días

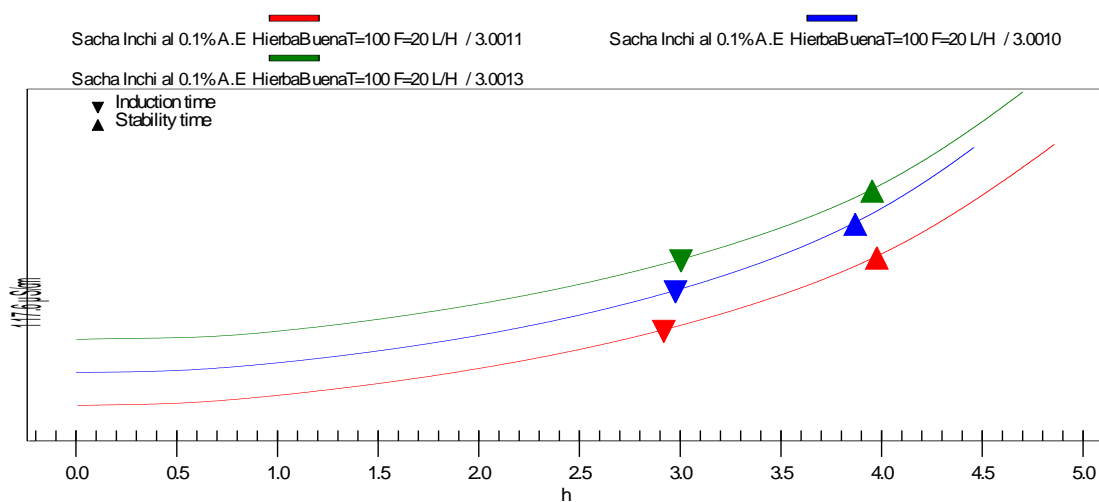
Sacha Inchi de 0.1% hierba buena 90 días

ID 1	ID 2	Determination date	Tempe	Evalua	Induction
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuenaT=90 F=20 L/H	3.0036	16.10.2023 19:21:41	90°C	1	7.93 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuenaT=90 F=20 L/H	3.0013	16.10.2023 19:21:28	90°C	1	7.90 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuenaT=90 F=20 L/H	3.0015	16.10.2023 19:21:13	90°C	1	7.88 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuenaT=100 F=20 L/H	3.0011	17.10.2023 12:20:57	100°C	1	2.91 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuenaT=100 F=20 L/H	3.0010	17.10.2023 12:20:54	100°C	1	2.97 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuenaT=100 F=20 L/H	3.0013	17.10.2023 12:20:49	100°C	1	2.99 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuenaT=110 F=20 L/H	3.0023	17.10.2023 12:21:09	110°C	1	1.03 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuenaT=110 F=20 L/H	3.0000	17.10.2023 12:21:06	110°C	1	1.01 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuenaT=110 F=20 L/H	3.0012	17.10.2023 12:21:02	110°C	1	1.00 h

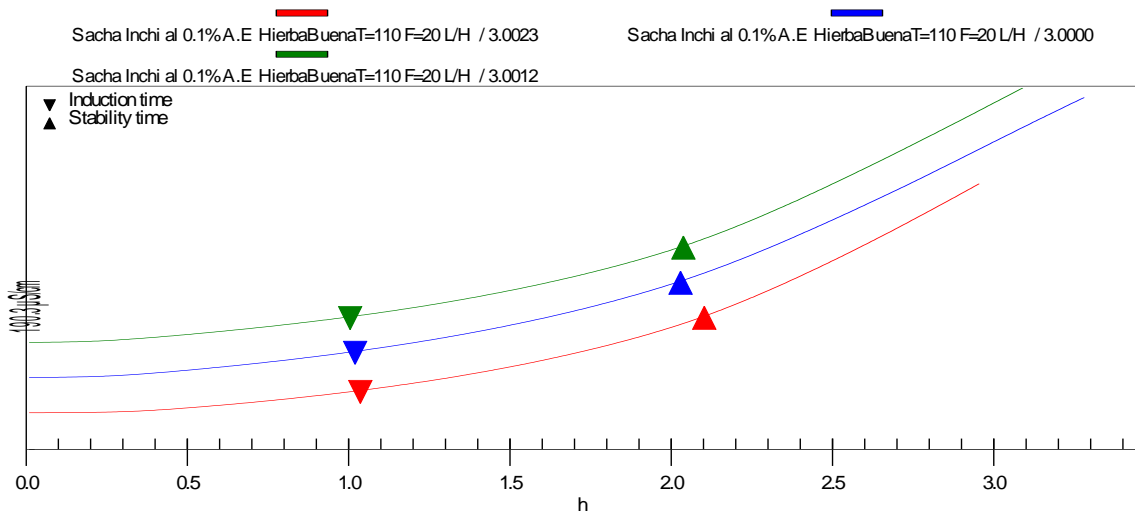
### Índice de estabilidad oxidativa a los 90°C



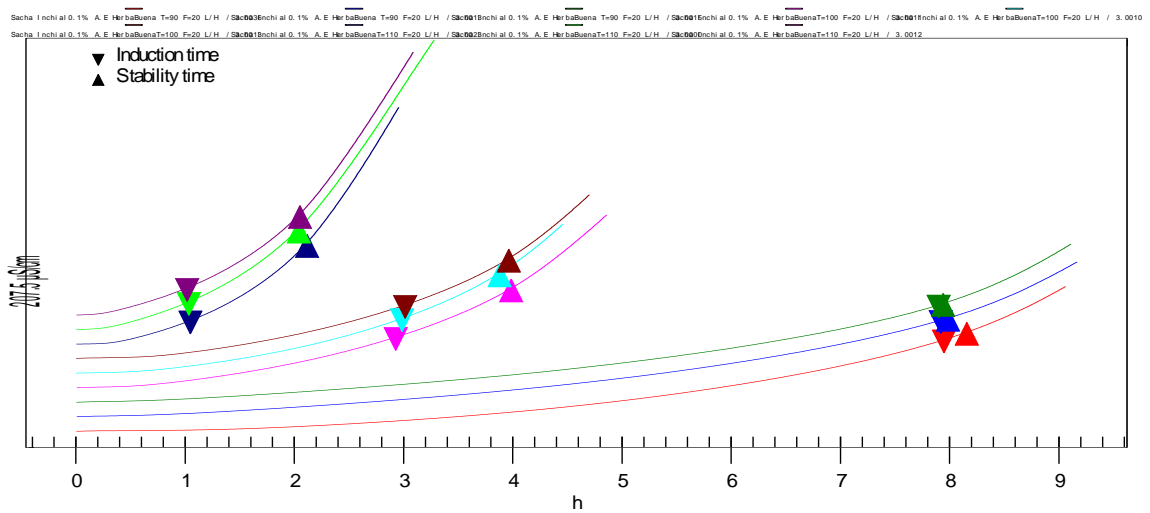
### Índice de estabilidad oxidativa a los 100°C



## Índice de estabilidad oxidativa a los 110°C

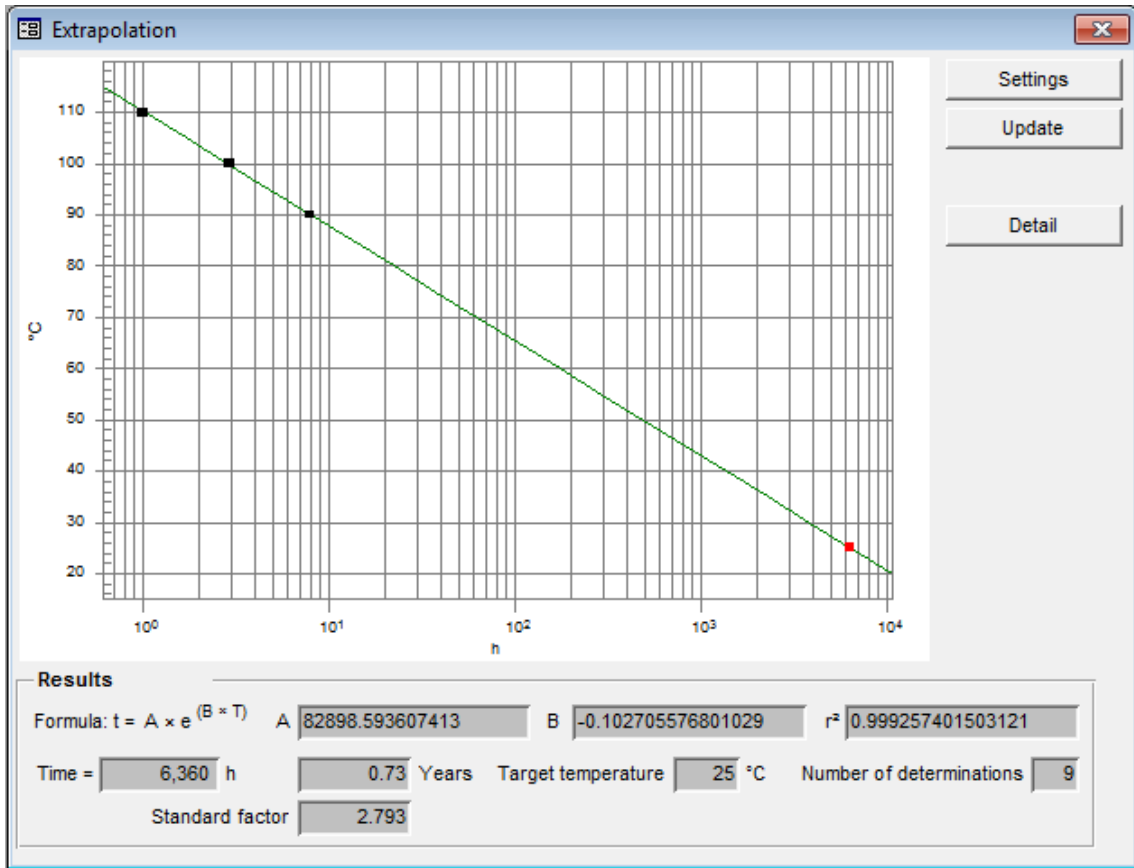


## Comparación de los índices de estabilidad oxidativa a los 110°C, 100°C y 90°C





# Gráfico de vida útil

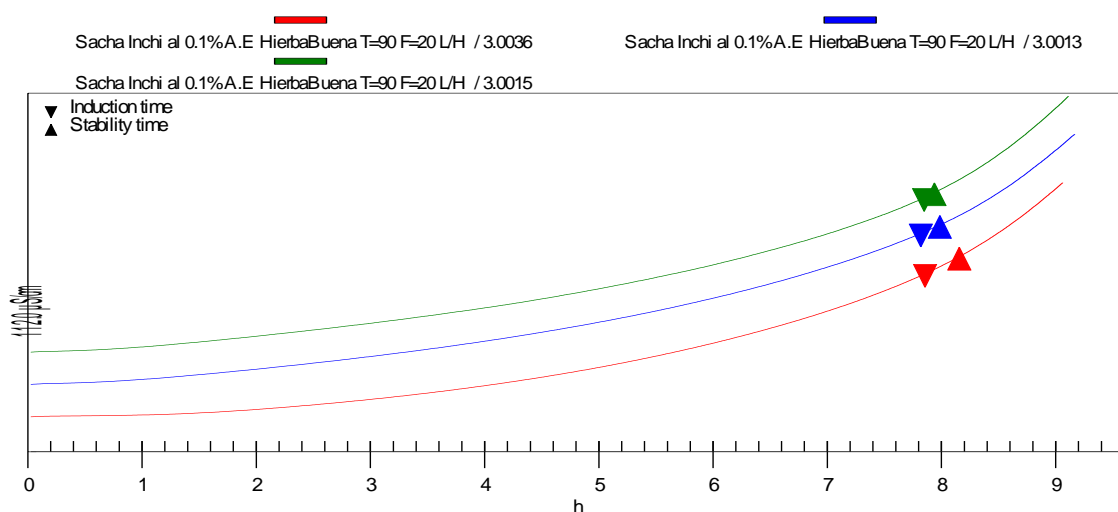


## Anexo 16: Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Hierba buena 0.3% a 90 días

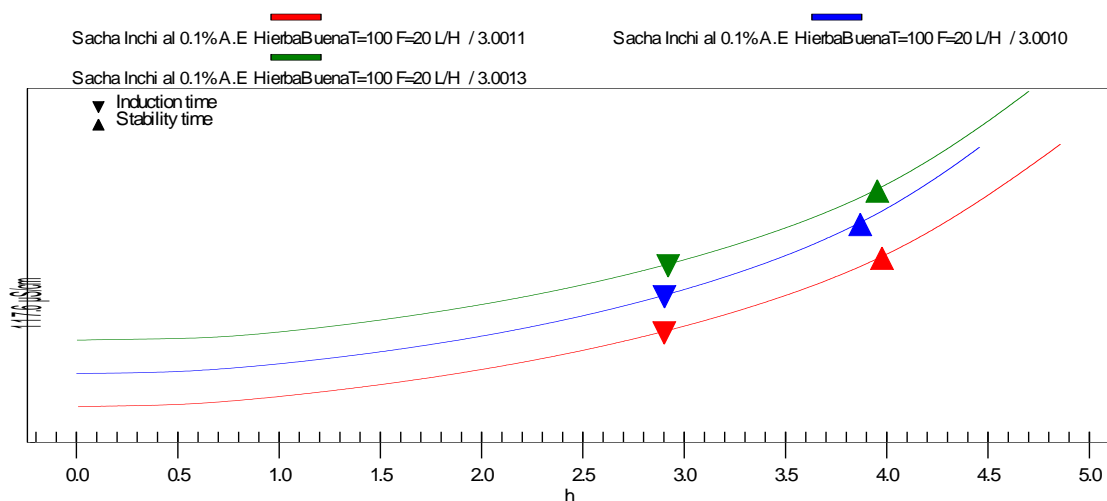
Sacha Inchi de 0.3% hierba buena 90 días

ID 1	ID 2	Determination date	Tempe	Evalua	Induction
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuena T=90 F=20 L/H	3.0036	16.10.2023 19:21:41	90°C	1	7.84 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuena T=90 F=20 L/H	3.0013	16.10.2023 19:21:28	90°C	1	7.80 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuena T=90 F=20 L/H	3.0015	16.10.2023 19:21:13	90°C	1	7.83 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuenaT=100 F=20 L/H	3.0011	17.10.2023 12:20:57	100°C	1	2.89 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuenaT=100 F=20 L/H	3.0010	17.10.2023 12:20:54	100°C	1	2.89 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuenaT=100 F=20 L/H	3.0013	17.10.2023 12:20:49	100°C	1	2.91 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuenaT=110 F=20 L/H	3.0023	17.10.2023 12:21:09	110°C	1	1.02 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuenaT=110 F=20 L/H	3.0000	17.10.2023 12:21:06	110°C	1	0.99 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuenaT=110 F=20 L/H	3.0012	17.10.2023 12:21:02	110°C	1	1.00 h

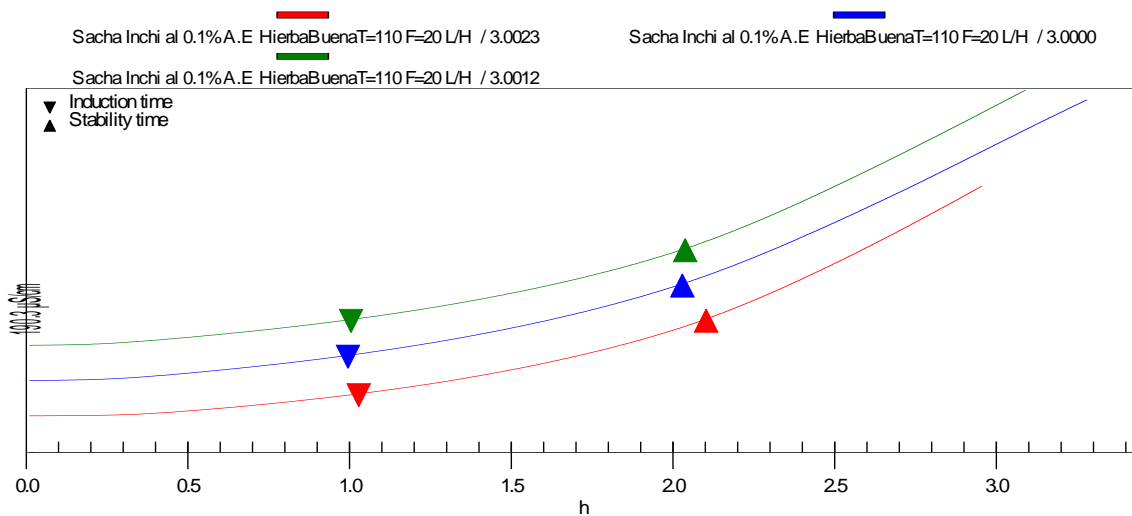
Índice de estabilidad oxidativa a los 90°C



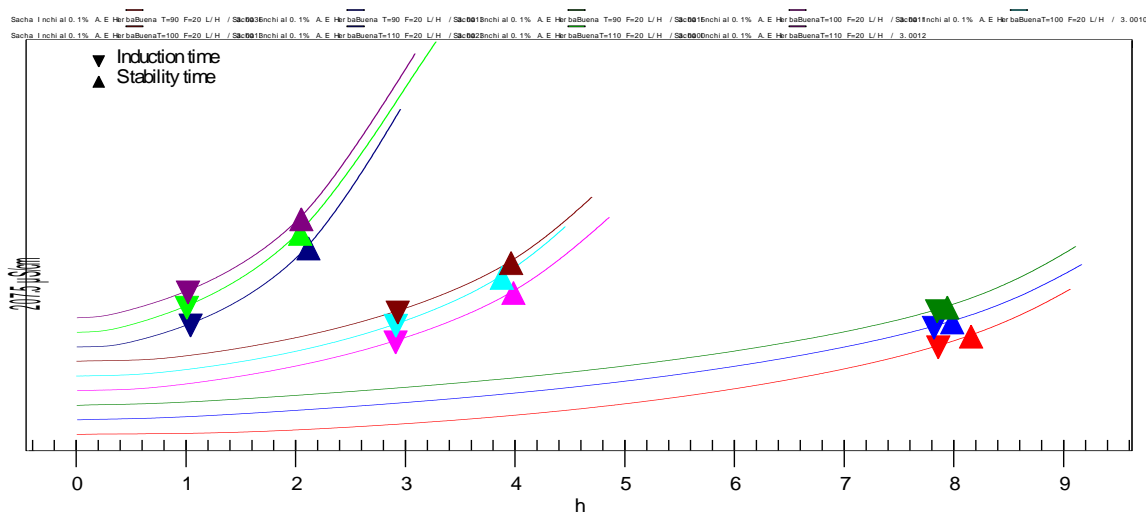
Índice de estabilidad oxidativa a los 100°C



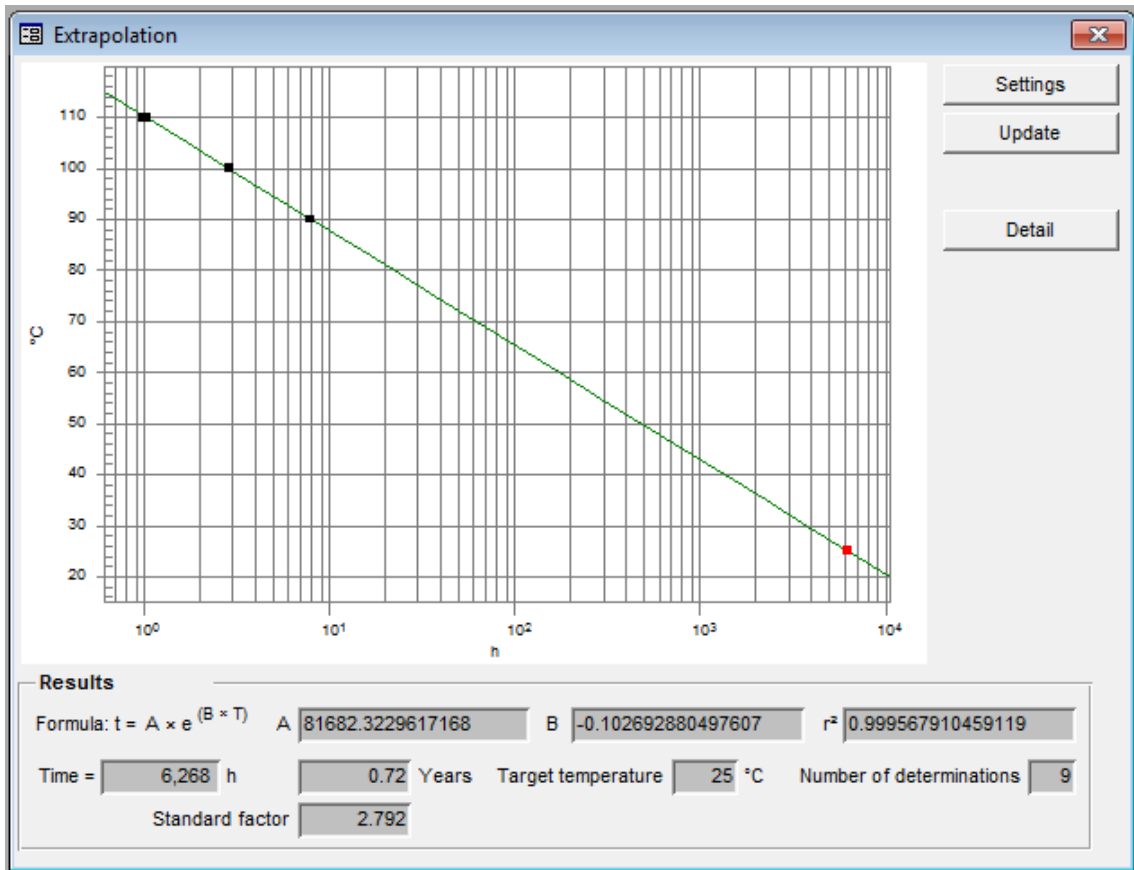
## Índice de estabilidad oxidativa a los 110°C



## Comparación de los índices de estabilidad oxidativa a los 110°C, 100°C y 90°C



# Gráfico de vida útil

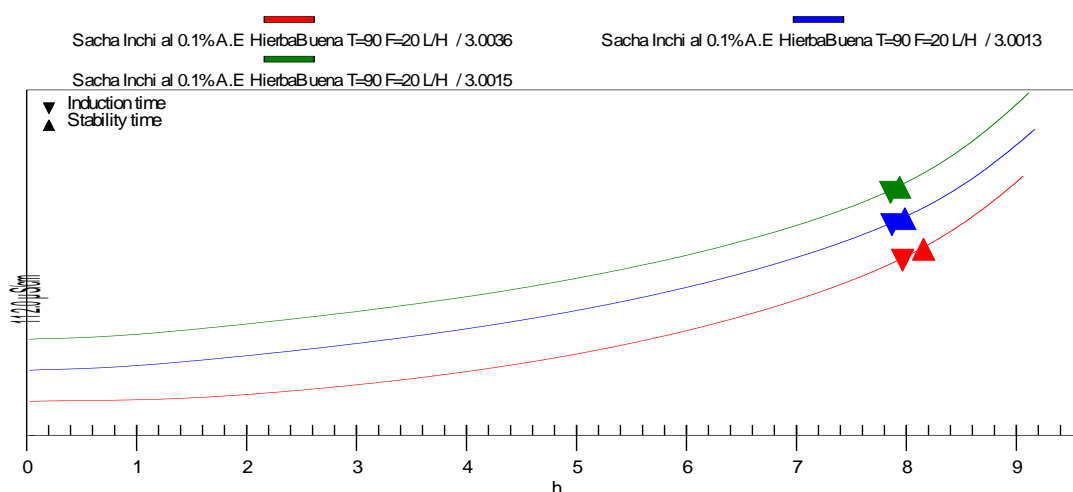


## Anexo 17: Análisis Rancimat para la vida útil del Sacha Inchi con Hierba buena 0.5% a 90 días

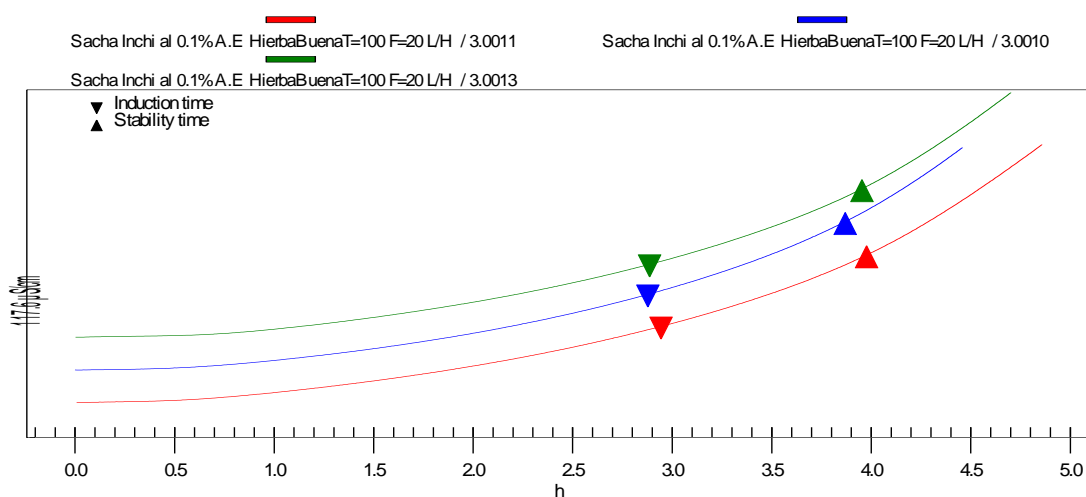
Sacha Inchi de 0.5% hierba buena 90 días

ID 1	ID 2	Determination date	Tempe	Evalua	Induction
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuena T=90 F=20 L/H	3.0036	16.10.2023 19:21:41	90°C	1	7.95 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuena T=90 F=20 L/H	3.0013	16.10.2023 19:21:28	90°C	1	7.85 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuena T=90 F=20 L/H	3.0015	16.10.2023 19:21:13	90°C	1	7.84 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuenaT=100 F=20 L/H	3.0011	17.10.2023 12:20:57	100°C	1	2.93 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuenaT=100 F=20 L/H	3.0010	17.10.2023 12:20:54	100°C	1	2.87 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuenaT=100 F=20 L/H	3.0013	17.10.2023 12:20:49	100°C	1	2.88 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuenaT=110 F=20 L/H	3.0023	17.10.2023 12:21:09	110°C	1	1.01 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuenaT=110 F=20 L/H	3.0000	17.10.2023 12:21:06	110°C	1	0.99 h
Sacha Inchi al 0.1% A.E HierbaBuenaT=110 F=20 L/H	3.0012	17.10.2023 12:21:02	110°C	1	0.96 h

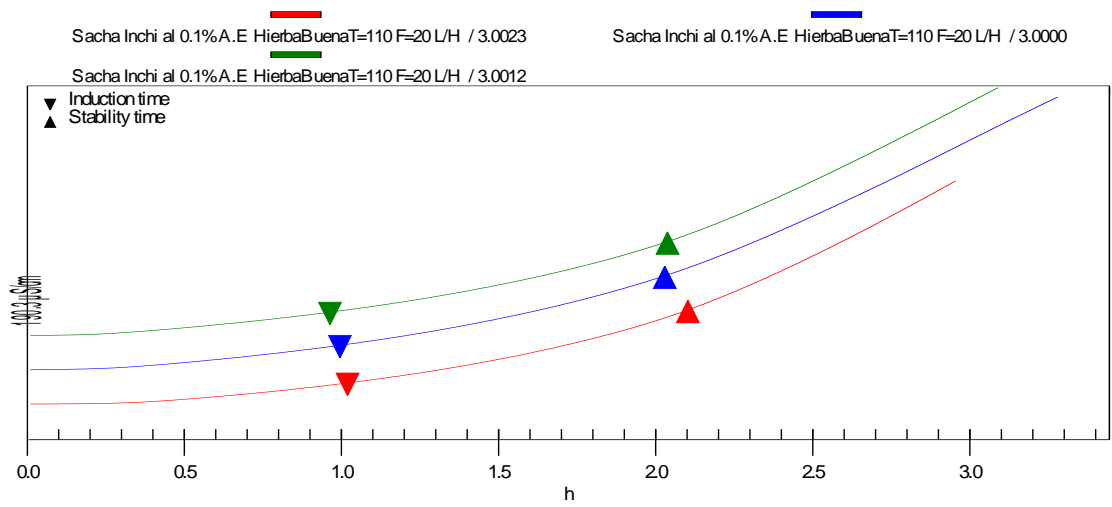
Índice de estabilidad oxidativa a los 90°C



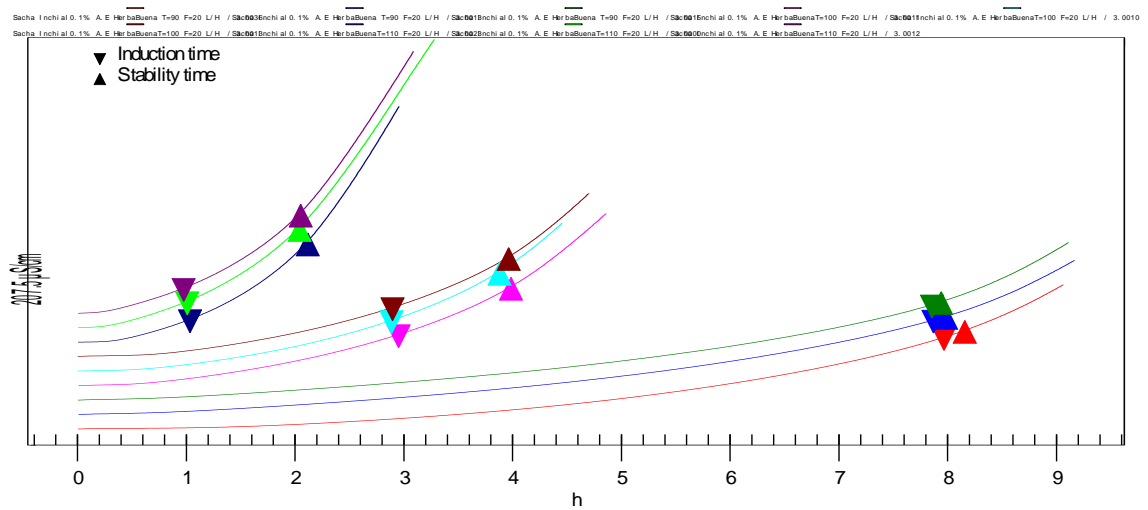
Índice de estabilidad oxidativa a los 100°C



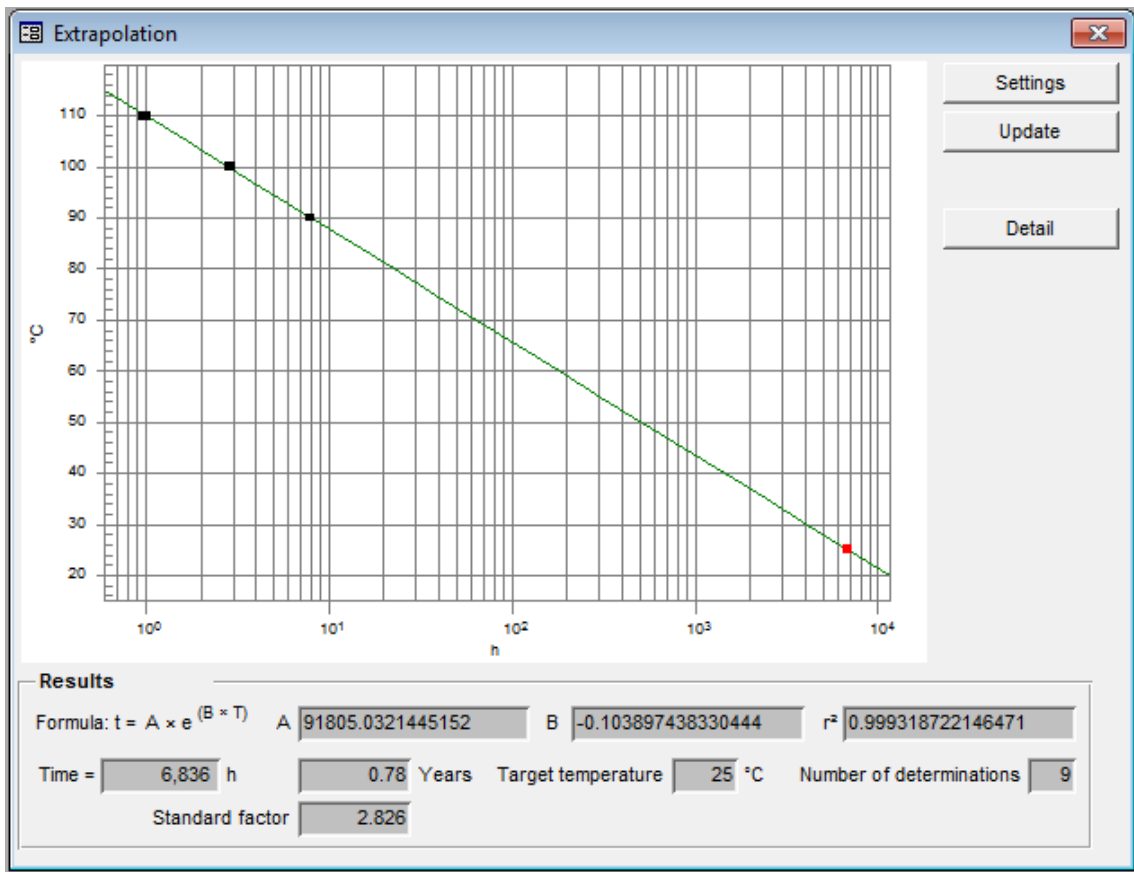
## Índice de estabilidad oxidativa a los 110°C



## Comparación de los índices de estabilidad oxidativa a los 110°C, 100°C y 90°C



# Gráfico de vida útil





## ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, Dra. Elza Berta Aguirre Vargas Asesor de la Unidad de Investigación de la

Facultad	Ciencias		Educación		Ingeniería	X
Departamento académico		Ingeniería de Alimentos				
Escuela de posgrado		Maestría			Doctorado	X

Programa: Doctorado de Ingeniería de Alimentos

De la Universidad Nacional del Santa Asesor / Unidad de Investigación revisora del trabajo de Investigación intitulado:

“Estabilidad oxidativa y calidad sensorial del aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L) por acción de cinco aceites esenciales provenientes de especies aromáticas de Jaén, Perú”.

Del estudiante: Dra. M.Sc. MARIA ALINA CUEVA RIOS

De la escuela departamento académico: Doctorado de Ingeniería de Alimentos

Constato que la investigación presentada tiene un porcentaje de similitud del 9 % el cual se verifica con el reporte de originalidad de la aplicación Turnitin adjunto.

Quién suscribe la presente, declaro el haber analizado dicho reporte y concluyo que las coincidencias detectadas no se conforman como plagio. A mi claro saber y entender, la investigación cumple con las normas de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, Abril de 2024

Firma:

Nombre del asesor: Dra. ELZA BERTA AGUIRRE VARGAS

DNI: 19096335





## DECLARACION JURADA DE AUTORÍA

Yo, María Alina Cueva Ríos

Estudiante del Doctorado de Ingeniería de Alimentos

Facultad	Ciencias		Educación		Ingeniería	X
Escuela Profesional		Doctorado				
Departamento Académico		Ingeniería de Alimentos				
Escuela de Posgrado		Maestría		Doctorado	X	

Programa: Doctorado de Ingeniería de Alimentos

De Universidad Nacional del Santa; Declaro que el trabajo de investigación intitulado:

“Estabilidad oxidativa y calidad sensorial del aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L) por acción de cinco aceites esenciales provenientes de especies aromáticas de Jaén, Perú”

Presentado en 224 folios, para la obtención del grado académico

X

Título profesional

Investigación anual

- He citado todas las fuentes empleadas, no he utilizado otra fuente distinta a las declaradas en el presente trabajo.
- Este trabajo de investigación no ha sido presentado con anterioridad, ni completa, ni parcialmente para la obtención de grado académico o titula profesional.
- Comprendo que el trabajo de investigación será público, por lo tanto, sujeto a ser revisado electrónicamente para la detección de plagio por el VRIN.
- De encontrarse uso de material intelectual sin el reconocimiento de su fuente o autor me someto a las sanciones determinan el caso

Nuevo Chimbote, abril 2024

Firma:

Nombres y Apellidos: MARIA ALINA CUEVA RÍOS