

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



TESIS

**EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE LOS FRUTOS MADUROS
DE MOLLE (*Schinus molle*) MEDIANTE DESTILACIÓN POR ARRASTRE
DE VAPOR**

PRESENTADO POR:

Br. ALISON CUSIHUAMAN CALLAÑAUPA

Br. ROSALINA FLORES RIBBECK

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO QUÍMICO**

ASESOR:

MSc. URIEL RAUL FERNANDEZ BERNAOLA

CUSCO-PERÚ

2025



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor ' URIEL RAÚL FERNÁNDEZ BERNALDA
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL
DE LOS FRUTOS MADUROS DE MOLLE (Schinus molle)
..... MEDIANTE DESTILACIÓN POR ARRASTRE DE VAPOR.

Presentado por: ALISON COSIHUAHAN CALLADAUPA DNI N° 74998492 ;
presentado por: ROSALINA FLORES RIBBECK DNI N°: 23994061
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO QUÍMICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6º del *Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 8%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 26 de ENERO de 2026

Firma

Post firma: URIEL RAÚL FERNÁNDEZ BERNALDA

Nro. de DNI: 431 808 55

ORCID del Asesor: 0000 - 0002-9386-702X

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 272591548868869

Cusihuaman Callañaupa - Flores Ribbeck

EXTRACCION DE ACEITE ESENCIAL DE LOS FRUTOS MADUROS DE MOLLE (*Schinus molle*)-TESIS.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:548868869

123 páginas

Fecha de entrega

23 ene 2026, 8:36 p.m. GMT-5

23.137 palabras

131.348 caracteres

Fecha de descarga

23 ene 2026, 8:45 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

EXTRACCION DE ACEITE ESENCIAL DE LOS FRUTOS MADUROS DE MOLLE (*Schinus molle*)-TESIS.pdf

Tamaño del archivo

3.0 MB

8% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Exclusiones

- ▶ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

7%	 Fuentes de Internet
0%	 Publicaciones
4%	 Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

PRESENTACIÓN

Señor Decano y Docentes de la Facultad de Ingeniería de Procesos de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

En cumplimiento a lo dispuesto por el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de Procesos de la escuela profesional de Ingeniería Química presentamos a vuestra consideración la tesis titulada “Evaluación del rendimiento en el proceso de extracción de aceite esencial de los frutos maduros de molle (*Schinus molle*) por destilación de arrastre de vapor” para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico.

Esperando que la siguiente observación sirva de consulta y motivo para próximas investigaciones.

DEDICATORIA

*A mi hijo Samuel por ser mi motor y motivo,
para enseñarle con la perseverancia a
alcanzar sus metas y sueños.*

Br. Rosalina Flores Ribbeck

*Primeramente, dedico este trabajo a mis
padres, Jorge Cusihuaman Soto y Ascencia
Callañaupa LLancay, por su incontables
consejos y profundo amor, porque me
enseñaron el valor del esfuerzo; a mis
hermanos, Karin Mayela y Jorge André, que
me inspiran a ser mejor.*

*A mis abuelos, Vicente Callañaupa, Luisa
Llancay, Raquel Soto y Antonio Cusihuaman
que, a pesar de no estar, están. Y por, sobre
todo, dedicó este trabajo a la pequeña
Alison de 9 años que en un momento de
niñez soñó con este momento
¡ves que si pudimos!...*

Br. Alison Cusihuaman Callañaupa

AGRADECIMIENTO

Le agradecemos a Dios por darnos fuerzas para cumplir una meta muy importante y bendecirnos al haber puesto muchas personas buenas en nuestro camino, guiarnos en todo momento para tomar buenas decisiones.

A nuestro asesor Msc. Uriel Fernández Bernaola por las observaciones y recomendaciones, ya que gracias a su mentoría y orientación desarrollamos esta presente investigación.

A nuestros docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Química por sus enseñanzas, motivación y dedicación en nuestra formación académica.

A nuestro entrañable tio Julio Yaco Ramos por habernos prestado su laboratorio, su paciencia, amistad y apoyo incondicional.

Br. Cusihuaman Callañaupa, Alison

Br. Flores Ribbeck, Rosalina

RESUMEN

El presente trabajo experimental ha sido realizado con el fin de aportar información inédita sobre las condiciones ideales de extracción del aceite esencial de molle (*Schinus molle*) con el objetivo de lograr un mayor rendimiento, se utilizó el método de extracción por arrastre de vapor y diseño factorial con tres niveles de la forma 3^2 , se pesaron 90 kg de molle distribuidas en 18 corridas, con cargas de 3 kg, 5 kg ,y 7 kg a presiones de 0.3 atm, 0 .6 atm y 0.9 atm en 45 min de tiempo de extracción.

El rendimiento en porcentaje mayor fue de 5.33%, la presión optima de 0.5815 y una carga de materia vegetal de 4.5855kg. Se caracterizo el fruto maduro de Molle (*Schinus molle*) resultando con un porcentaje de humedad de 8.37 %, proteína 13.85 %, grasa 6.13 %, ceniza 4.28 %, fibra 18.30 % y carbohidratos 67.37 %. Se caracterizó el aceite esencial de Molle (*Schinus molle*) por medio de la cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) y se identificaron 14 componentes, siendo el minoritario Guaia-9,11-diene (0.439 %) y el mayoritario α -phelandrene (30.548 %), siendo uno de los principales responsables de las características organolépticas.

ABSTRACT

This experimental work was conducted to provide unprecedented information on the ideal extraction conditions for the essential oil of the molle (*Schinus molle*) plant. The aim was to achieve a higher yield. The steam extraction method and a three-level factorial design (Form 32) were used. 90 kg of molle were weighed in 18 runs, with loads of 3 kg, 5 kg, and 7 kg at pressures of 0.3 atm, 0.6 atm, and 0.9 atm in 45 min of extraction time.

The highest yield was 5.33%, the optimal pressure was 0.5815, and the plant material load was 4.5855 kg. The ripe fruit of the Molle (*Schinus molle*) was characterized, resulting in a moisture content of 8.37%, protein 13.85%, fat 6.13%, ash 4.28%, fiber 18.30%, and carbohydrates 67.37%. The essential oil of the Molle (*Schinus molle*) was characterized using high-performance liquid chromatography (HPLC), and 14 components were identified. Guaia-9,11-diene (0.439%) was the minor component and α-phelandrene (30.548%) was the major component responsible for the organoleptic characteristics.

Keywords: Essential oil, Steam, Water, Molle

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
INTRODUCCIÓN	13
CAPITULO I. GENERALIDADES	16
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.1.2. APLICACIONES DE LOS ACEITES ESENCIALES EN LA INDUSTRIA	18
1.1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.1.3.1. PROBLEMA GENERAL	20
1.1.3.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	20
1.1.4. OBJETIVOS	21
1.1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	21
1.1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
1.2. JUSTIFICACIÓN	21
1.2.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	21
1.2.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	22
1.2.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL.....	22
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	24
2.1. ANTECEDENTES	24
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	24
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	26
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	32
2.2. FUNDAMENTO TEÓRICO	34

2.2.1. ACEITE ESENCIAL	34
2.2.1.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEITES ESENCIALES.....	35
2.2.1.2. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS ACEITES ESENCIALES	36
2.2.2. <i>SCHINUS MOLLE</i>	37
2.2.2.1. TAXONOMÍA.....	37
2.2.3. COMPOSICIÓN DEL FRUTO MADURO DE MOLLE	39
2.2.4. APLICACIONES DEL ACEITE ESENCIAL	42
2.2.5. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA.....	43
2.2.6. METABOLITOS SECUNDARIOS.....	44
2.2.6.1. QUIRALIDAD MOLECULAR Y ENANTIÓMEROS	47
2.2.6.2. TIEMPO DE RETENCIÓN.....	48
2.2.7. IMPORTANCIA DEL ACEITE ESENCIAL.....	49
2.2.8. MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE ACEITES ESENCIALES	51
2.2.8.1. EXTRACCIÓN POR EXTRUSIÓN	52
2.2.8.2. HIDRODESTILACIÓN	52
2.2.8.3. EXTRACCIÓN CON DISOLVENTES	53
2.2.8.4. EXTRACCIÓN CON DIÓXIDO DE CARBONO EN ESTADO SUPERCRÍTICO	54
2.2.8.5. ENFLEURAGE	55
2.2.8.6. DESTILACIÓN POR ARRASTRE DE VAPOR DE AGUA.....	55
2.2.9. LEY DE DALTON	60
2.2.10. DISEÑO DEL EXPERIMENTO.....	61
CAPITULO III. MATERIALES Y METODOS.....	65
3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO.....	65
3.2. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	65
3.3. TAMAÑO DE MUESTRA.....	65
3.4. MATERIALES DE USO	66
3.4.1. EQUIPOS.....	66
3.4.2. INSTRUMENTOS	66
3.4.3. MATERIAL DE VIDRIO Y OTROS	67
3.5. METODOLOGÍA.....	68

3.5.1. METODOLOGIA PARA CARACTERIZAR EL FRUTO MADURO DE MOLLE-ANALISIS FISICO-QUIMICO	69
3.5.1.1. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD (MÉTODO AOAC, 2005)	69
3.5.1.2. DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA (MÉTODO AOAC, 2005)	69
3.5.1.4. DETERMINACIÓN DE FIBRA (MÉTODO AOAC, 2005).....	70
3.5.1.5. DETERMINACIÓN DE CENIZA (MÉTODO AOAC, 2005)	70
DETERMINACIÓN DE CARBOHIDRATOS (MÉTODO AOAC, 2005).....	71
3.5.2. METODOLOGÍA PARA CARACTERIZAR EL ACEITE ESENCIAL DE <i>SCHINUS MOLLE</i>	71
3.5.2.1. DENSIDAD	74
3.5.2.2. ÍNDICE DE REFRACCIÓN	74
3.5.3. DISEÑO EXPERIMENTAL ESTADÍSTICO.....	75
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	77
4.1. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL FRUTO MADURO DE MOLLE (<i>SHINUS MOLLE</i>)	77
4.2. DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA PRESIÓN Y LA CARGA DE MATERIA EN EL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE MOLLE	78
4.2.1. VARIABLES INDEPENDIENTES	78
4.2.2. VARIABLES DEPENDIENTES.....	78
4.2.3. VARIABLES OPERACIONALES.....	78
4.2.4. EXTRACCIÓN DE ACEITE DE MOLLE POR ARRASTRE DE VAPOR.....	79
4.2.4.1. ACONDICIONAMIENTO DEL FRUTO MADURO DE MOLLE	80
4.2.4.2. RECOLECCIÓN DEL FRUTO MADURO DE MOLLE	81
4.2.4.3. SELECCIÓN DE LOS FRUTOS	82
4.2.4.4. TRITURACIÓN	82
4.2.4.5. PESAJE.....	83
4.2.4.6. SEPARACIÓN POR DECANTACIÓN	84
4.2.4.7. FILTRACIÓN DEL ACEITE ESENCIAL.....	85
4.2.4.8. RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE LOS ACEITES ESENCIALES	86
4.2.5. BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA.....	88
4.3. RENDIMIENTO EN LA EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE MOLLE....	92

4.4. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL	104
4.4.1. PARÁMETROS DE CONTROL DE CALIDAD.....	108
CONCLUSIONES	111
RECOMENDACIONES	112
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113
ANEXOS	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Usos del molle en la medicina tradicional del Cusco	23
Tabla 2.	Grupos funcionales de los aceites esenciales	35
Tabla 3.	Contenido porcentual de aceite esencial de <i>Schinus molle</i> (registrado por varios autores)	41
Tabla 4.	Composición del Aceite Esencial de Molle.....	50
Tabla 5.	Diseño factorial 3^2 en dos notaciones.	62
Tabla 6.	Matriz de diseño factorial	72
Tabla 7.	Matriz de Diseño para los resultados de la prueba y réplica.....	73
Tabla 8.	Operacionalización de las variables.....	76
Tabla 9.	Análisis fisicoquímico de los frutos maduros de molle (<i>Schinus molle</i>)	77
Tabla 10.	Resultados de los 18 tratamientos en la extracción de aceite esencial de molle	93
Tabla 11.	Resultados de la extracción en la prueba de aceite esencial de molle.	94
Tabla 12.	Cuadro de ANOVA para la hipótesis general	95
Tabla 13.	Punto Óptimo de extracción de aceite esencial del molle	103
Tabla 14.	Resultados obtenidos de los componentes del aceite esencial de molle....	105
Tabla 15.	Componentes mayoritarios presentes en el aceite esencial de molle.....	106
Tabla 16.	Componentes minoritarios presentes en el aceite esencial de molle.....	107

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Árbol de <i>Schinus molle</i>	39
<i>Figura 2</i> Frutos del árbol <i>Schinus molle</i>	39
<i>Figura 3</i> Diferenciación de las partes del fruto del molle	40
<i>Figura 4</i> Estructura molecular de los componentes predominantes del aceite esencial de molle	46
<i>Figura 5</i> Equipo de Destilación por arrastre de vapor a nivel laboratorio.....	56
<i>Figura 6</i> Equipo de Destilación por arrastre de vapor.....	58
<i>Figura 7</i> Diagrama de flujos del proceso de extracción del aceite esencial de molle .	81
<i>Figura 8</i> Fruto maduro de molle recolectado	82
<i>Figura 9</i> Muestra de fruto maduro de molle molido.....	83
<i>Figura 10</i> Pesaje de fruto maduro de molle molido.....	83
<i>Figura 11</i> Carga de materia al reactor de destilación a 3 kg, 5 kg y 7 kg	84
<i>Figura 12</i> Separación del aceite esencial de molle en la pera de decantación.....	85
<i>Figura 13</i> Filtración del aceite esencial	85
<i>Figura 14</i> Papel filtro con partículas de agua extraídas del aceita esencial	86
<i>Figura 15</i> Almacenamiento de las muestras en botellas ámbar neutralizadas	86
<i>Figura 16</i> <i>Diagrama de flujos con equipo de extracción de aceite esencial de molle</i> ...	89
<i>Figura 17</i> Diagrama de Pareto para los efectos.....	96
<i>Figura 18</i> Diagrama de efectos del rendimiento en la extracción de aceite esencial de molle	99
<i>Figura 19</i> Diagrama de respuesta superficie y contornos	101
<i>Figura 20</i> Diagrama de contornos de la extracción de aceite esencial de molle	102
<i>Figura 21</i> Determinación de la viscosidad del aceite esencial de molle	109
<i>Figura 22</i> Índice de refracción para el aceite esencial de molle.....	109

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la fitoquímica aplicada, el estudio de los aceites esenciales representa un campo de investigación de notable trascendencia, dado su potencial como insumos bioactivos en diversas industrias. Dentro de este espectro, el *Schinus molle*, comúnmente conocido como molle, se destaca como una especie perenne cuyas hojas y frutos albergan una compleja matriz de compuestos volátiles de alta significancia funcional y económica. El proceso de extracción de su aceite esencial, particularmente mediante destilación por arrastre de vapor, requiere un diseño experimental que contemple la interacción de variables operativas críticas para maximizar el rendimiento y preservar la integridad molecular de sus componentes más valiosos.

El *Schinus molle*, se erige como una fuente fitogénica prometedora, reconocida por su contenido de monoterpenos como el α-phelandrene y el β-phelandrene, compuestos que destacan por su prominencia porcentual en la composición del aceite esencial extraído. Estas moléculas no solo constituyen marcadores de calidad, sino que también son responsables de propiedades bioactivas y sensoriales clave (Castro, 2018).

La presente investigación se centra en la evaluación del rendimiento del aceite esencial de molle, abordando la influencia sinérgica de dos parámetros fundamentales del proceso extractivo: la presión del vapor y la carga de material vegetal. Estas variables independientes actúan como determinantes clave en la dinámica de transferencia de masa y calor, regulando tanto la eficiencia en la liberación de

compuestos volátiles como su recuperación en la fase líquida condensada. Por su parte, el rendimiento, entendido como la relación entre la cantidad de aceite esencial obtenido y la masa inicial de materia prima, se constituye como la variable dependiente que sintetiza la respuesta del sistema ante las condiciones impuestas.

A través de un enfoque metodológico riguroso, se plantea determinar las mejores condiciones para un mayor rendimiento. Para ello, se emplearon herramientas analíticas avanzadas, como la cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas (LC-MS), que permitieron caracterizar la composición química del aceite esencial obtenido y evaluar posibles variaciones asociadas a las condiciones de extracción.

Este estudio trasciende el análisis empírico, proponiendo un marco de referencia de los procesos extractivos en sistemas vegetales complejos. Los resultados no solo aportarán información inédita sobre las condiciones ideales de extracción del aceite esencial de molle, sino que también sentarán las bases para el desarrollo de estrategias industriales más eficientes y sostenibles, destacando el potencial biotecnológico de esta especie en mercados emergentes.

En esta investigación, se opta por extraer el aceite esencial a través de la destilación por arrastre de vapor, este método es considerado como uno de los más favorables, que utiliza como único solvente al agua y además de ello con un rendimiento mayor al 1% (Bautista, 2020). Por lo tanto, esta investigación se enfoca en el aprovechamiento del molle como planta medicinal y aromática con un enfoque

multidisciplinario aplicado a diversas industrias tales como la farmacéutica, cosmética y medicinal.

CAPITULO I. GENERALIDADES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Los aceites esenciales son líquidos oleosos volátiles que son extraídos de varias partes de una planta y se utilizan ampliamente en distintos rubros farmacéutico, agrícola, industria alimentaria, aromaterapia y productos naturales. Según los estudios realizados acerca del aceite esencial de molle ha demostrado que presenta propiedades farmacológicas, antioxidante, antiinflamatoria, antimicrobiana, antifúngicos, y otros como insecticida (Neves, 2020).

En la actualidad, existe un amplio estudio de los usos de aceites esenciales aislado de plantas, por lo cual ello conlleva a cuidar el desarrollo agroforestal sostenible, que conserve los recursos naturales y minimice los impactos ambientales (Aguilar, 2018). El estudio de aceite esencial extraído de plantas aromáticas está emergiendo como un campo de investigación y desarrollo significativo debido a su amplia utilidad en diversos sectores (Bermudo, 2019). Para la obtención de estos aceites esenciales se puede utilizar distintos métodos de extracción, como el arrastre de vapor, la destilación molecular, la extracción con solvente, el uso de microondas y fluidos supercríticos, (Sevillano, 2019). La selección de cada método es crucial ya que está vinculada a la composición y la variabilidad del aceite esencial, siendo el método más utilizado industrialmente para aceites esenciales el arrastre de vapor (Sadhe et al., 2019).

Schinus molle L., es un árbol perteneciente a la familia Anacardiaceae, crece principalmente en las regiones subtropicales de América del Sur y es conocido comúnmente con el nombre de pimienta. Según los estudios realizados al fruto de molle (*Schinus molle*), revelaron un contenido de aceite significativo, junto con un aroma picante agradable y propiedades antifúngicas y antimicrobianas. Este se caracteriza por contener componentes como limoneno, a-felandreno, b-felandreno y mirceno (Bautista, 2020). Sin embargo, hoy en día el aceite esencial del fruto maduro de molle no ha sido aun patentado, por lo que no ha tenido gran importancia en su estudio en la industria; todas las partes del árbol son utilizadas en la medicina popular (Yueqin, 2007) y más allá el molle es considerado como una de las plantas nativas que no ha sido valorada aún.

Si bien es cierto, muchas de las industrias optan por extraer el aceite de molle de las hojas, muy pocas son las que deciden extraerla a partir de los frutos, y más aún cuando solamente esta sección del árbol es usada como insumo culinario.

Perú es conocido como uno de los países con gran biodiversidad a nivel mundial, teniendo especies vegetales que se pueden aprovechar de forma sostenible, una opción dentro de estas es el árbol nativo *Schinus molle*, que cuenta con aplicaciones medicinales, del cual se puede extraer aceite esencial con potencial antimicrobiano y antifúngico (Llanos Arapa, 2012).

1.1.2. APLICACIONES DE LOS ACEITES ESENCIALES EN LA INDUSTRIA

Los aceites esenciales, en realidad, tienen amplias y variadas aplicaciones en la industria. Los aceites pueden ser empleados como materia prima en diferentes tipos de industria, esto dependiendo de su tipo y calidad.

Su uso popular principalmente es medicinal, se utilizan las hojas, cortezas, frutos, semillas y oleoresina. La mayoría de estas son usadas como eficaces cicatrizantes, antiinflamatorias y antirreumáticas.

También los frutos, bayas desecadas, se utilizan como sustitutos culinarios y condimentos; como es el caso de la pimienta y la hoja seca empleada como colorante. En América los frutos macerados en almíbar o vinagre se emplean en la preparación de diferentes bebidas para el tratamiento de procesos inflamatorios, como afecciones reumáticas y patologías inflamatorias de la piel (Yueqin, 2007).

En la actualidad, todas las partes del arbol de molle son utilizadas en la medicina popular, sin embargo destacan principalmente los siguientes:

- Base para chicle: usada principalmente en America del Sur como goma de mascar, la resina natural del arbol *Schinus molle* es similar a la almáciga considerada como una resina exudada del tronco del arbol esta se caracteriza por ser aromático y con un toque picante similar a la semilla. La extracción principal de esta resina aun se sigue realizando en paises como México y Perú.
- Colorante: las hojas, corteza y raíz son usadas para el teñido de lana,color amarillento pálido.

- Condimento: el fruto es usado como sustituto de la pimienta negra por su sabor semejante.
- Cosmético e higiene personal: el aceite aromatizante extraído es usado en enjuagues bucales y como dentrífico. Las semillas también contienen un fijador, hoy en día es ampliamente usado en la elaboración de lociones, perfumes, cremas y desodorantes.

El *Schinus molle* tiene varios usos en la industria farmaceútica debido a sus propiedades medicinales. Algunos de los compuestos bioactivos presentes en la planta tienen:

- Actividad antiinflamatoria: los hace útiles para el tratamiento de afecciones para el tratamiento de músculos y articulaciones como la artritis, reumatismo y trastornos inflamatorios como la hinchazón.
- También se suele usar como expectorante; ya que ayuda a expulsar la mucosidad.
- Actividad antimicrobiana: lo hace útil para el tratamiento de afecciones virales, bacterianas y fungicas. Como son el caso de los resfriados comunes, asma y bronquitis.
- Actividad antioxidante : ayudan a proteger enfermedades relacionadas al estrés oxidativo, y equilibra los desordenes menstruales, amenorrea, síntomas post-parto y menopausia. Ayuda en casos de hipertensión, arritmia y problemas cardíacos.

El aceite esencial de *Schinus molle* se utiliza en la industria farmaceútica por sus propiedades curativas, aunque también es empleada en la industria cosmética, como base y composición de perfumes, repelentes, cremas y champús. Hoy en día, esta rama propone más usos beneficios en el cuidado de la piel y el cabello debido a sus propiedades antioxidantes, hidratantes y de suavización.

1.1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.3.1. Problema General

¿Cuál es el mayor rendimiento en la extracción de aceite esencial de los frutos maduros de molle (*Schinus molle*) por destilación de arrastre de vapor?

1.1.3.2. Problemas Específicos

- ¿Cuáles son las características físico químicas de los frutos maduros de molle (*Schinus molle*)?
- ¿Cuál es el efecto de la presión de vapor en el rendimiento de extracción de aceite esencial de molle?
- ¿Cuál es el efecto de la carga de materia prima en el rendimiento de extracción de aceite esencial de molle?
- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del aceite de molle obtenido por destilación de arrastre de vapor?

1.1.4. OBJETIVOS

1.1.4.1. Objetivo general

- Determinar el mayor rendimiento en el proceso de extracción de aceite esencial de los frutos maduros de molle (*Schinus molle*) por destilación de arrastre de vapor.

1.1.4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar fisicoquímicamente los frutos maduros de molle (*Schinus molle*).
- Determinar el efecto de la presión de vapor en el rendimiento de la extracción de aceite de molle (*Schinus molle*).
- Determinar el efecto de la carga de materia prima en el rendimiento de la extracción de aceite de molle (*Schinus molle*).
- Caracterizar el aceite esencial de molle (*Schinus molle*) obtenido.

1.2.JUSTIFICACIÓN

1.2.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Los aceites esenciales presentan una gran demanda, tanto en la industria cosmética como en la alimenticia, por tecnologías ecológicas como es el caso de arrastre por vapor. El aceite esencial extraído de los frutos de árbol de molle (*Schinus molle*), tiene uso efectivo para fracturas, enfermedades respiratorias; además sirve de antiinflamatoria muscular y cutáneo, antibióticos, en los medicamentos ha demostrado

gran eficacia antibacteriana y antimicrobiana. Se destaca que el aceite esencial de molle también ha mostrado efectos antivirales contra diversos tipos de virus (Angulo, 2015).

1.2.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

La presente investigación permite determinar el mayor rendimiento en la extracción de aceite esencial de los frutos maduros de molle (*Schinus molle*) por destilación por arrastre de vapor; así como, llevar a cabo su caracterización fisicoquímica. En tal sentido, la investigación propuesta no solo busca entender mejor el proceso de extracción de aceite esencial del molle, sino que también tiene implicaciones prácticas significativas en términos de garantía de calidad del producto y su desarrollo de aplicaciones industriales. Estos aspectos destacan la importancia del estudio en el contexto de la industria y la innovación tecnológica.

La presente tesis contribuye a realizar futuras investigaciones, en el que se busca aportar conocimiento teórico y experimental en la industrialización productiva de los frutos de molle a nivel regional y nacional, de esta manera se busca generar ingresos económicos mayores a las familias que obtén por cultivar esta planta andina.

1.2.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Los aceites esenciales han sido reconocidos por sus propiedades medicinales y curativas desde tiempos antiguos, como se muestra en la Tabla 01. Se ha demostrado que estos aceites poseen una variedad de beneficios para la salud, que van desde propiedades antiinflamatorias y analgésicas hasta efectos calmantes y estimulantes del

sistema inmunológico, además se utiliza en las industrias química, cosmética y aromaterapia (Angulo, 2015).

En este contexto, el estudio propuesto no solo busca determinar el mayor rendimiento en la extracción de aceite esencial, sino que también tiene implicaciones significativas en términos de generación de ingresos locales, sostenibilidad ambiental y enriquecimiento cultural a través de la preservación de conocimientos tradicionales. Estos aspectos destacan la importancia social del proyecto y su potencial para contribuir al bienestar y desarrollo sostenible de la comunidad.

Tabla 1.

Usos del molle en la medicina tradicional del Cusco

Parte de la planta	Forma de preparar	Uso	Descripción Terapéutica
Planta entera	Decocción	Externo	Antipirético (hervido en baños)
Hojas	Decocción	Externo	Aplicado en fracturas
Ramas jóvenes	Decocción	Externo	Antiséptico veterinario
Hojas	Decocción	Interno	Antiséptico de la cavidad oral
Hojas	Decocción	Interno	Hipotensiva para gonorrea
Hojas	Infusión	Interno	Antirreumático, condimento
Frutos	Decocción	Externo	—

Nota: Tomado de Viturro et al. (2010) Citado por Llanos Arapa (2012, p. 23)

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Murrieta et al. (2023) llevaron a cabo un estudio con el objetivo de caracterizar el perfil fitoquímico del aceite esencial extraído de las hojas de *Schinus molle*, utilizando dos métodos de destilación y variando los tiempos de extracción. Para ello, utilizaron un destilador discontinuo Rayleigh de escala intermedia y un aparato Clevenger para extraer aceite esencial de las hojas de *Schinus molle* recolectadas en la región central de México. Los resultados obtenidos se sometieron a análisis mediante cromatografía de gases; así como, por espectrometría de masas (GC-MS). Aunque el destilador Rayleigh demostró una mayor capacidad de extracción, se observó que su rendimiento fue un 0.6% menor ($p = 0.05$) en comparación con el aparato Clevenger después de 120 minutos de extracción. Durante el análisis, se identificaron un total de 37 compuestos, notando que los sesquiterpenos presentaron un incremento proporcional al tiempo de extracción, mientras que los sesquiterpenos oxigenados manifestaron una disminución. Asimismo, análisis reveló que el aceite esencial exhibió una predominancia de monoterpenos hidrogenados, entre los que se destacan el canfeno, α -felandreno, limoneno + β -felandreno, α -pineno, β -pineno y β -mirceno. En conclusión, los hallazgos de este estudio sugieren que comprender el proceso de extracción y el perfil químico del aceite esencial de *Schinus molle* podría contribuir significativamente a su aprovechamiento en diferentes aplicaciones.

Valle et al. (2023) llevaron a cabo un estudio cuantitativo, experimental y descriptivo, el cual se enfocó en obtener y analizar aceites esenciales de diversas plantas de especies forestales como eucalipto y molle; así como, de especies arbustivas como Romero y Cedrón, con el objetivo de determinar sus propiedades físicas, químicas y usos potenciales. Mediante la técnica de extracción de aceites por arrastre a vapor, se revelaron rendimientos variables entre las especies estudiadas, como el 12% para el eucalipto, 7% para el molle, 2% para el cedrón y 0.60% para el romero. Además, se identificaron diferencias en la composición química, destacando la presencia de compuestos como cineol, pineno y terpineol en el eucalipto. Las conclusiones resaltaron la diversidad de propiedades y aplicaciones potenciales de los aceites esenciales, subrayando su importancia como recursos naturales con múltiples aplicaciones. Se destacó la relevancia de explorar la extracción de aceites esenciales como una alternativa para la conservación ambiental y su aplicación en sectores como la medicina, la fitoterapia y la perfumería. En resumen, la investigación contribuyó al conocimiento sobre las propiedades de los aceites esenciales, sus rendimientos y composiciones químicas, resaltando su potencial impacto en la conservación del medio ambiente.

Pereira de Menezes et al. (2020) en su investigación propusieron evaluar la actividad antifúngica de los aceites esenciales extraídos de las hojas y tallos de *Schinus molle* sobre cepas de hongos del género *Aspergillus*; así como, determinar el nivel de inhibición del crecimiento de las colonias fungosas sometidas al tratamiento en comparación con un grupo de control. Esta investigación cuantitativa y experimental, se desarrolló mediante la recolección y herborización del material vegetal, obtenidos en el

área de cultivo del Instituto Federal Goiano, en Brasil, seguida de la extracción de los aceites esenciales por hidrodestilación a partir de las hojas y tallos de la planta. La evaluación de la actividad antifúngica se llevó a cabo in vitro en cepas de *Aspergillus flavus*, *niger* y *fumigatus*, utilizando diferentes concentraciones de aceite esencial diluido. Los resultados revelaron una significativa actividad antifúngica de los aceites esenciales de *Schinus molle* sobre las tres cepas de *Aspergillus* evaluadas, destacando una alta eficacia en la inhibición del crecimiento de *Aspergillus flavus* y *Aspergillus niger*, y una eficacia intermedia en *Aspergillus fumigatus*. El rendimiento de los aceites extraídos para las hojas y tallos fue del 0.97% y 0.61%, respectivamente. Se empleó el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial (PIC) para evaluar la actividad antifúngica y se realizó un análisis estadístico comparando los tratamientos con aceites esenciales y un fungicida comercial. En conclusión, los resultados sugieren que los aceites esenciales de *Schinus molle* podrían ser una fuente potencial para la producción de agentes antifúngicos con aplicaciones agrícolas y farmacéuticas. Sin embargo, se recomienda realizar más investigaciones para evaluar su comportamiento fungistático en diferentes ambientes, como invernaderos y campos, así como en modelos animales, ampliando así el conocimiento sobre su uso y aplicabilidad en el control de hongos patógenos.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Ruiz y Salazar (2022), buscaron determinar la composición química y el efecto antibacteriano de los aceites esenciales de varias plantas medicinales, entre ellas el *Schinus molle*, para lo cual emplearon la cromatografía de gases o espectrometría de

masas. El enfoque adoptado para la recolección y el análisis de datos fue cuantitativo, de naturaleza analítica, cuasiexperimental y prospectiva. Dichas plantas fueron obtenidas entre noviembre y febrero del 2018 en diferentes partes del Perú (Amazonas, Lima y Piura). Las muestras de plantas se recolectaron entre los meses de noviembre y febrero de 2018 en diversas regiones del Perú, incluyendo Lima, Amazonas y Piura. Se utilizaron hojas de las diferentes plantas, incluido el *Schinus molle*, como material vegetal para la extracción de los aceites esenciales, los cuales se obtuvieron mediante hidrodestilación a partir de 4.12 kg de hojas de *Schinus molle*. De esa manera, se obtuvo 37 componentes para *Schinus molle*, destacando principalmente α-felandreno, canfeno y α-pineno, con porcentajes de 19.59%, 19.10% y 16.56%, respectivamente. Con respecto a las concentraciones mínimas inhibitorias (CMIs) para los aceites esenciales de las plantas incluyendo *Schinus molle*, se encontraron valores inferiores a 2,5 $\mu\text{L}/\text{mL}$. Estos resultados respaldan la notable capacidad antibacteriana de los aceites esenciales investigados, destacando su potencial en este aspecto.

Bautista (2020), se propuso evaluar la actividad antifúngica del aceite esencial de molle (*Schinus molle L.*), sobre *Colletotrichum spp.* in vitro. Esta investigación se enmarcó en un enfoque cuantitativo de tipo experimental, centrándose en los frutos recolectados en el distrito de Chiclayo. En el desarrollo de la investigación, se empleó una muestra que constaba de 5 kg de estos frutos y la extracción del aceite esencial se llevó a cabo utilizando el método de arrastre de vapor. Para este fin, se seleccionaron muestras de 100 g de frutos de molle que presentaban diferentes niveles de humedad, específicamente del 7% y del 13%. Estas muestras fueron trituradas de manera gruesa y procesadas durante intervalos de 15, 30, 45 y 60 minutos para la extracción. Como

resultado, se logró obtener aceite esencial con un rendimiento promedio del 3,68% para los frutos con un contenido de humedad del 7% y del 2.44% para aquellos con un 13% de humedad. Por otro lado, la evaluación de la actividad inhibitoria del crecimiento de *Colletotrichum spp.* se realizó mediante la aplicación de concentraciones de 250, 500 y 750 mg/mL de aceite esencial de los frutos de molle. Estas concentraciones se diluyeron en agua destilada con un 1% de Tween 20 para asegurar la uniformidad en la aplicación y evitar posibles reacciones adversas. Los resultados demostraron que el aceite esencial de los frutos de molle exhibe un efecto inhibidor sobre *Colletotrichum spp.* a diferentes concentraciones. Específicamente, las concentraciones de 250 y 500 mg/mL no mostraron discrepancias significativas en comparación con la concentración de 750 mg/mL, la cual exhibió una inhibición del 37%. Estos resultados subrayan la capacidad antifúngica del aceite esencial de molle, particularmente cuando se emplean concentraciones más altas.

Oscoco (2019), se planteó como propósito principal evaluar la efectividad del aceite esencial extraído de los frutos de molle (*Schinus molle*) como insecticida y repelente en gorgojos (*Acanthoscelides obtectus*) que afectan a los frijoles (*Phaseolus vulgaris L.*) durante el almacenamiento. El estudio se enfocó en dos métodos: el contacto directo en papel filtro y la prueba de repelencia, ambos aplicados a gorgojos en su fase adulta. La metodología utilizada fue de carácter cuantitativo, de tipo experimental aplicado y un diseño correlacional. Se llevó a cabo un análisis físico y químico del aceite esencial de *Schinus molle*, revelando un rendimiento del 4.6%. Además, el análisis cualitativo mediante Espectrofotometría Infrarroja (FT-IR) identificó 10 compuestos químicos, destacando el Limoneno y β-mirceno como los principales

componentes, asociados con propiedades insecticidas y repelentes. En relación con la dosis letal media (DL50), se observaron valores de 3.9, 2.9, 2.58, 2.25, 1.96 y 1.653 $\mu\text{l}/\mu\text{g}$ para la actividad insecticida de los gorgojos adultos en frijol con tiempos de exposición de 2, 4, 24, 48, 72 y 96 horas, respectivamente. Asimismo, se evaluó el tiempo letal medio (TL50) para diferentes concentraciones de aceite, registrando valores de 66.55, 32.88 y 4.73 horas para concentraciones de 2.06 $\mu\text{l}/\mu\text{g}$, 2.57 $\mu\text{l}/\mu\text{g}$ y 3.09 $\mu\text{l}/\mu\text{g}$, respectivamente. A una concentración de 3.61 $\mu\text{l}/\mu\text{g}$, se observó una muerte instantánea. La prueba de repelencia mostró variaciones en 24, 48 y 96 horas, indicando que la concentración de 50 $\mu\text{l}/\mu\text{g}$ resultó atractiva en todos los tiempos de exposición, por el contrario, la concentración de 55 $\mu\text{l}/\mu\text{g}$ mostró un cambio atrayente a repelente a partir de las 4 horas. Además, la concentración de 60 $\mu\text{l}/\mu\text{g}$ demostró ser completamente repelente en todos los casos considerados. En conclusión, el estudio resalta el potencial del aceite esencial de molle como agente insecticida y repelente en la protección de granos almacenados, señalando la necesidad de continuar investigando sus aplicaciones prácticas en el control de plagas agrícolas. (Mozo Escalante & Calachahui Luque, 2024)

Vega (2019) realizó un estudio con el propósito de identificar las disparidades en la actividad antimicrobiana de los aceites esenciales extraídos mediante el método de destilación por arrastre de vapor de agua y el método de hidrodestilación con equipo Clevenger. La investigación se centró en la *Schinus molle*, *Senecio calvus* y *Clinopodium pulchellum*, tres plantas medicinales autóctonas del Perú. El estudio adoptó un diseño de tipo experimental y se guio por un enfoque cuantitativo. Los

resultados revelaron que los aceites esenciales de las tres plantas, obtenidos mediante ambos métodos de extracción, exhibieron actividad antimicrobiana contra *Streptococcus pneumoniae*. Además, de acuerdo con la escala de Duraffourd, mostraron sensibilidad límite. En esa misma línea, se determinaron las concentraciones mínimas inhibitorias de los aceites esenciales extraídos por destilación por arrastre de vapor de agua, siendo del 50% (V/V), 75% (V/V) y 100% (V/V) para *Clinopodium pulchellum*, *Senecio calvus* y *Schinus molle*, respectivamente. En contraste, las concentraciones mínimas inhibitorias de los aceites esenciales obtenidos mediante hidrodestilación con equipo Clevenger fueron del 50% (V/V), 50% (V/V) y 100% (V/V) para *Clinopodium pulchellum*, *Senecio calvus* y *Schinus molle*, respectivamente. En resumen, se concluyó que los aceites esenciales extraídos por destilación por arrastre de vapor de agua poseen actividad antimicrobiana frente a *Streptococcus pneumoniae* ATCC 49619, indicando sensibilidad límite según la escala de Duraffourd (+).

Castro (2018), se enfocó en examinar cómo el rendimiento de los aceites esenciales se ve afectado por la duración de la exposición solar, utilizando una muestra de 36 kg de frutos recolectados en Huancavelica, específicamente en el distrito de Mariscal Cáceres. El proceso experimental involucró un pretratamiento que implicaba triturar las semillas. Se llevaron a cabo tres repeticiones para cada intervalo de tiempo de secado, totalizando nueve repeticiones en el experimento. La metodología empleada para la extracción de los aceites esenciales fue la destilación por arrastre de vapor. El rendimiento del aceite esencial se determinó siguiendo los lineamientos de la Norma Técnica Peruana 319.079, empleando un extractor a presión por arrastre a vapor durante un período de destilación de 180 minutos. Los resultados obtenidos

revelaron que el contenido de humedad varió dependiendo del tiempo de secado al sol. Para un pretratamiento de secado de dos horas, la humedad fue del 12.015%; para tres horas de secado, fue del 7.586%; y para cuatro horas de secado, fue del 5.280%. En cuanto al rendimiento de los aceites esenciales en peso, se observaron diferencias significativas según el tiempo de secado. Para un pretratamiento de dos horas, el rendimiento fue del 0.091%; para tres horas, del 0.458%; y para cuatro horas, del 0.376%. En cuanto a la densidad del aceite, se observó que, para un pretratamiento de secado de dos y tres horas, fue de 0.830 g/cm^3 , mientras que para cuatro horas de secado fue ligeramente mayor, alcanzando los 0.840 g/cm^3 . Estos resultados sugieren una relación entre el tiempo de exposición al sol durante el pretratamiento y las características físicas y rendimiento de los aceites esenciales extraídos de los frutos.

Palacios y Castillo (2015) se dedicaron a evaluar la cinética de extracción de aceite esencial de *Aloysia citriodora* y *Schinus molle* mediante la aplicación de dos caudales de vapor diferentes, ajustando los rendimientos al modelo matemático de la cinética de Monod y la cinética del tipo exponencial. El enfoque de la investigación fue cuantitativo, fundamentado en la experimentación, utilizando un equipo de extracción por arrastre de vapor a nivel piloto. Además, la metodología incluyó la selección, clasificación y pesado de las materias primas, seguido de lavado y troceado para facilitar la extracción. En cuanto a los resultados, los rendimientos de aceite esencial de ambas materias primas se ajustaron al modelo matemático de la cinética de Monod, mientras que la cinética de extracción se adecuó al modelo matemático del tipo exponencial. Estos modelos proporcionaron una aproximación cualitativa del comportamiento de la cinética de extracción y de los rendimientos del aceite esencial,

arrojando rendimientos de 0.0835% para molle y 0.0797% para hierba luisa. La conclusión principal fue que la cinética de extracción del aceite esencial se encuentra estrechamente vinculada al caudal de vapor y al tipo de materia prima, ejerciendo influencia en los dos períodos críticos de la extracción, siendo estos el tiempo de llenado y de obtención. Asimismo, se observó que con una carga de 4 kg y un caudal de vapor de 4 kg/h, se obtuvo una cinética de extracción más elevada, con tiempos de obtención de 50 minutos para hierba luisa y 65 minutos para molle. Con un caudal de 6 kg de vapor/h, los tiempos de obtención fueron de 40 minutos para hierba luisa y 65 minutos para molle. Además, se destacó que el modelo predice con precisión la evolución del proceso, resaltando el caudal de vapor y el tipo de materia prima como los factores controlantes en la extracción por arrastre de vapor.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Tupayachi Ana Cecilia (2024) , bajo el propósito de trascender en las investigaciones tecnológicas de los aceites esenciales determinó la composición química y el efecto antimicrobiano de tres bacterias, son las siguientes: *Escherichia coli* ATCC 8739, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 y *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027, sobre el aceite esencial de la cascara de *Citrus limón (L) Osbeck*, la cáscara seca de este fruto fue de procedencia del distrito de Echarati, provincia de La Convención, mientras que el método de extracción seleccionado fue de hidrodestilación con trampa Clevenger; se determinó que la concentración fue de 0.315% (v/p). De las propiedades fisicoquímicas, se determinaron propiedades como la densidad, el índice de refracción, la rotación óptica y la solubilidad en distintos solventes. Los resultados se

dieron valores contrastables con el CODEX (2004) y confirmando un aceite esencial de calidad estándar con alto contenido de limoneno (Tupayachi Palomino, 2024).

De la misma manera, Castro CCoscco y Torres Quispe (2016) realizaron estudios respecto al estudio de la actividad insecticida de los aceites esenciales *Eucalyptus globulus*, *Schinus molle* y *Cymbopogon citratus* contra el insecto plaga *Pagiocerus frontalis* (Coleoptera - Curculionidae), ataca de manera severa a los granos del maíz y es resistente a los insecticidas químicos. Teniendo en cuenta, que hoy en día que los productos naturales obtenidos a partir de las plantas biosidas, constituyen una alternativa útil en el control de insectos y plagas de granos, sin impactar negativamente en el medio ambiente. Los aceites esenciales de *Eucalyptus globulus*, *Schinus molle* y *Cymbopogon citratus*, presentaron efecto insecticida sobre los adultos de *Pagiocerus frontalis* mostrando mejor resultado con el tratamiento de *Cymbopogon citratus* y *Schinus molle* (Torres Quispe, 2016).

De la misma manera, Mozo y Calachahui (2024) realizaron la extracción del aceite de tuna mediante tres métodos distintos; soxhlet, maceración y prensado en frío; de las cuales se realizaron 16 pruebas con sus respectivas replicas. Esta investigación tuvo como objetivo determinar el mayor rendimiento en cada uno de los procesos de extracción y a partir de esto identificar el mejor proceso de extracción de aceite de semilla de tuna (*Opuntia ficus-indica*), los resultados con mejores rendimientos en promedio fueron dados por el método soxhlet donde la partícula de menor tamaño con éter de petróleo fue de 14.07%; para maceración, la partícula de menor tamaño con n la mezcla de solventes fue de 18.34%, por ultimo para el método de prensado en frío

se tuvo que aplicar una mayor presión de trabajo y obtención con un menor contenido de humedad de 14.12%.

2.2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.2.1. ACEITE ESENCIAL

El aceite esencial se caracteriza por ser una combinación compleja y específica de sustancias químicas producidos por las plantas a través de la biosíntesis. Este aceite, conocido por su composición y aroma particular, presenta una textura oleosa distintiva y se obtiene a través de procedimientos fisicoquímicos (Logroño y Lozano, 2019). Según la Organización Internacional de Normalización (ISO), el aceite esencial se deriva de materias primas vegetales y puede obtenerse mediante procesos como la destilación de vapor, la destilación en seco o procesos mecánicos aplicados al pericarpio de cítricos (Groot, 2018).

Los aceites esenciales son componentes que se encuentran distribuidos en diversos órganos vegetales, incluyendo las flores, las hojas y, aunque menos común, en las raíces, rizomas, leños, cortezas, frutos o semillas. Es importante señalar que, si bien todos los órganos de una misma especie vegetal tienen la capacidad de contener aceites esenciales, su composición puede diferir según la parte de la planta donde se localicen (Ugaz, 1994).

Por otro lado, es esencial considerar el tipo de estructura vegetal al extraer aceites esenciales, ya que estos elementos se encuentran en concentraciones más elevadas en diferentes partes de las plantas, destacando las hojas, las raíces, los frutos

y las flores. Por esta razón, estas estructuras representan una valiosa fuente de materia prima (Logroño y Lozano, 2019).

2.2.1.1. Composición química de los aceites esenciales

Los componentes de los aceites esenciales se pueden clasificar en base a los grupos funcionales que contengan sus moléculas, el *Schinus molle* evidencia el contenido de flavonoides, saponinas, taninos, terpenos y resinas, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2.

Grupos funcionales de los aceites esenciales

Grupo funcional	Naturaleza química	Ejemplo
Hidrocarburos	Terpélicos	Limoneno, α-terpineno
	Aromático	Cumeno
	Sesquiterpélicos	Trans-β-cariofileno
Aldehídos	Monoterpenicos	Citral
	Alifáticos	Nonanal, octadecanal
	Aromáticos	Cinamaldehido
Alcoholes	Monoterpenicos	Geraniol, citronelol
	Alifáticos	3-decanol
	Sesquiterpenicos	Cedrol
	Aromáticos	Alcohol bencílico
Fenoles	Aromáticos	Timol, carvacrol

Nota: Tomado de Díaz (2007) Citado por Llanos Arapa (2012, p. 4)

Los frutos de molle contienen aceite esencial (3 a 5%) donde predominan como α- y β-felandreno, D-limoneno, α- y β-pineno, carvacrol, mirceno, canfeno, p-cimeno como componentes mayoritarios. La corteza contiene un 23% de taninos y gomorresina (55% de resina y 40% de goma). Mientras que las hojas contienen entre 0,2 y 1% de aceite esencial, con predominio de felandreno y carvacrol, aunque también son notorios los flavonoides como la miricetina, quercetina y el kaempferol. La semillas contienen aproximadamente un 8% de proteínas y un 10% de lípidos (Yueqin, 2007).

2.2.1.2. Propiedades físico-químicas de los aceites esenciales

Su principal propiedad común es el de tener aromas agradables y perceptibles al ser humano. Poseen un color en la gama del amarillo, hasta ser transparentes en algunos casos; a condiciones ambientales, son líquidos menos densos que el agua y solubles en disolventes orgánicos comunes. Sufren degradación química en presencia de la luz solar, del calor y del aire, generando oligómeros de naturaleza indeterminada. En algunos casos, se llega a producir ácidos; como el ácido benzoico, acido cinámico, entre otros, a consecuencia de la oxidación.

Las propiedades comúnmente estudiadas son el rendimiento, densidad e índice de refracción, ya que son indicadores que permiten identificar al aceite y fomentar la aplicación de esta especie aromática, además de contribuir al proceso de normalización de la valorización del aceite (Viturro, 2010). En el estudio que presento Viturro se evaluaron las propiedades físicas más importantes de los aceites esenciales de molle obtenidos a partir de los ejemplares de Perú, Argentina, Brasil, Bolivia, Ecuador y Costa Rica.

2.2.2. SCHINUS MOLLE

2.2.2.1. TAXONOMÍA

La taxonomía de la planta de molle, fue tomada del Sistema de Información Forestal de México (2010), el detalle se muestra a continuación:

Reino: *Plantae*

Phyllum: *Spermatophyta*

Subphylum: *Magnoliophytina*

Clase: *Magnoliopsida*

Subclase: *Rosidas*

Orden: *Sapindales*

Familia: *Anacardiaceae*

Género: *Schinus*

Especie: *Schinus molle*

El molle (*Schinus molle*) se presenta como un árbol perenne de la familia *Anacardiaceae*, endémico de América del Sur (Figura 1), nativo de los países de Perú, Argentina, Bolivia y México. Su hábitat se encuentra en lugares de clima seco, cálido o subcálido. Es conocido por su diversidad de aplicaciones, que abarcan desde la medicina tradicional hasta la producción de aceites esenciales. Desde un punto de vista botánico, el molle exhibe una estructura arbórea con hojas compuestas y flores pequeñas, las cuales son generalmente blancas o amarillas. Este árbol se adapta especialmente a entornos subtropicales y templados, destacando su presencia en la región andina y otras áreas de América del Sur (Colan de la Vega et al., 2019). Existen

diversos nombres para nominar a esta especie, algunos de ellos son: "molle", "mulli", "aguaribay", "falsa pimienta", "anacahuita", "aoeira vermelha", etc.

Es una especie de fácil adaptación con alta sobrevivencia y buena capacidad para capturar nutrientes, agua y luz. Presenta un crecimiento rápido cuando es joven, llegando incluso a alcanzar los 3 m de altura en un año, y puede vivir alrededor de cien años. Es una planta muy resistente a la sequía, puede llegar a soportar inundaciones periódicas o permanentes, resiste el rocio salino, la contaminación ambiental y la exposición constante al viento. Aunque también es susceptible a las heladas prolongadas y al daño causado por insectos, como es el caso de la cochinilla cerosa (*Celoplauste ssp.*) y a las orugas de la palomilla (*Rothschildia orizabae*) que ocasionan defoliaciones. El árbol de molle juega un papel importante en la recuperación de terrenos degradados, como cerca viva en los agro-hábitats, y como barrera rompe vientos.

En la actualidad, todas las partes del árbol del molle son utilizados en medicina popular, incluyendo sus hojas, cortezas, frutos, semillas. La parte valiosa de esta planta son sus frutos drupáceos de color rosado intenso, los frutos son drupas dispuestas en racimos colgantes, cada uno tiene de 5 a 9 mm de diámetro, el exocarpo es coriáceo y lustroso, seco en la madurez, el mesocarpo es delgado y resinoso, y puede llegar a contener una o dos semillas.

Figura 1

Árbol de *Schinus molle*



2.2.3. COMPOSICIÓN DEL FRUTO MADURO DE MOLLE

La composición del fruto de molle es un aspecto fundamental para comprender su potencial en la extracción de aceite esencial, los frutos, pequeñas drupas rojas (Figura 2), albergan una variedad de componentes que contribuyen a su perfil fisicoquímico, en términos de macronutrientes, estos frutos presentan proporciones específicas de carbohidratos, lípidos y proteínas, variables según condiciones de crecimiento y madurez del fruto (Velasquez, 2021).

Figura 2

Frutos del árbol *Schinus molle*



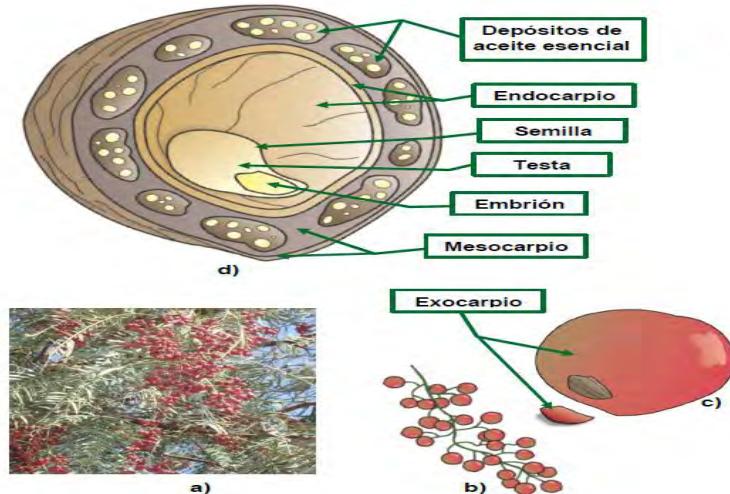
La humedad del fruto se convierte en un factor crucial que incide directamente en la eficacia del proceso de extracción de aceite esencial. La cantidad de agua presente en el fruto afecta la volatilidad de los compuestos aromáticos durante la

destilación por arrastre de vapor. Además, las fluctuaciones en la concentración de proteínas y cenizas ofrecen indicadores sobre la calidad nutricional del fruto y su potencial impacto en las propiedades del aceite esencial (Olvera et al. 2021).

Zeng Yueqin (2007), halló que el aceite esencial del fruto maduro, mostraba compuestos predominantes como el α - y β - felandreno, α - y β - pineno. Como se puede apreciar en la Figura 3, las cantidades almacenadas de aceite esencial en los frutos se encuentran inmersas en el mesocarpio por lo que es necesario que se aplique fuerza capaz de romper la dureza del mesocarpio y facilitar su extracción.

Figura 3

Diferenciación de las partes del fruto del molle



Nota: Recuperado de Llanos Arata (2012, p. 92). Muestra la estructura del fruto maduro de molle.

En la figura 3, se pueden apreciar las partes del fruto de molle las cuales se visualizan a partir de los cortes transversales del fruto, así como desde su recopilación de las ramas del árbol; son las siguientes: a) Vista general del fruto de molle en el

árbol; b) Racimo de frutos; c) Vista externa del fruto; d) Corte transversal, partes internas del fruto y de la semilla de molle. A partir de esta imagen se visualizan los depósitos de aceite esencial ubicados entre las paredes del mesocarpio y endocarpio.

La composición química del molle es compleja y varía en función del órgano o parte de la planta estudiada, diversos estudios demuestran que la variabilidad se atribuye en gran medida a factores intrínsecos de químico tipo y a factores de naturaleza intrínseca; además, de considerar las condiciones de extracción y sus métodos. En la siguiente Tabla 3, se muestran las partes de estudio de la planta; así como, su contenido porcentual de aceite esencial.

Tabla 3.

*Contenido porcentual de aceite esencial de *Schinus molle* (registrado por varios autores)*

Lugar de estudio	Parte de la planta	Contenido de aceite esencial (%)
Kramer (1957) Universidad de Nevada, EE.UU.	Hojas	Hasta 2%
Dikshit et al. (2006) Instituto Central de Plantas Medicinales y Aromáticos, India	Hojas frescas	Hasta 0.8%
	Hojas secas	Hasta 2%
Zeng Yuequin (2007) Universidad de Valencia, España	Frutos	3 - 5%
	Hojas	0.2 - 1%
Figmay S.R.L. Argentina	Frutos secos	5 - 7%
Sistema Nacional de Información Forestal de México (2010)	Frutos	Hasta 5%
	Hojas	Hasta 2%
Viturro et al. (2010) Proyecto de CYTED IV20, Pontifícia Universidad Católica Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil	Hojas secas	1 - 3.04%
	Frutos frescos	2.6 - 5.6%
	Frutos secos	5.3 - 5.6%

Nota: Recuperado de Llanos Arata (2012, p. 28). Muestra el rendimiento de extracción de aceite esencial por partes de planta

2.2.4. APLICACIONES DEL ACEITE ESENCIAL

La planta de molle (*Schinus Molle*) tiene un intenso olor característico, además que en los frutos presenta alto contenido de aceite esencial, llegando a tener un 5% de acuerdo al estado de maduración del fruto, zona de producción y la familia de la planta, según la estructura química del aceite esencial de molle (*Schinus Molle*), del fruto y hojas, estos contienen compuestos bioactivos con propiedades farmacológicas según las investigaciones previas en Perú, México y otros países de Latinoamérica.

El aceite esencial del molle se presenta como un líquido fluido y transparente con un tono amarillo pálido. Sus propiedades son diversas y abarcan una amplia gama de beneficios para la salud y el bienestar. Por un lado, se le atribuyen propiedades analgésicas que pueden ayudar a aliviar el dolor y, gracias a su aroma, se considera un agente antidepresivo. Además, cuenta con propiedades antibacterianas y diuréticas, y se ha observado que, cuando se ingieren 1 o 2 gotas, puede actuar como un purgante suave, entre otros usos. Por otro lado, se ha evidenciado que este aceite esencial posee una efectiva acción antiséptica en las vías respiratorias, lo cual lo convierte en un recurso útil para abordar infecciones en el sistema respiratorio. Se ha utilizado con éxito para aliviar síntomas de resfriado, asma y otros trastornos respiratorios a través de la inhalación del aceite. Recientemente, su aplicación se ha extendido para aliviar las molestias causadas por picaduras de insectos; así como, para contribuir a la desinfección de heridas en los tejidos mucosos. También presenta propiedades similares al aceite esencial del eucalipto como desinfectante, antimicrobiano, cicatrizante, antimicrobiano entre otro (Castro, 2018).

2.2.5. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA

La caracterización fisicoquímica de los aceites esenciales extraídos del fruto de molle constituye una fase crucial de la investigación, proporcionando información detallada sobre las propiedades que definen su calidad y aplicaciones potenciales. De esa forma, para Del Carpio et al. (2022) consideran que este proceso implica la evaluación de parámetros clave, destacando la densidad, el índice de refracción y la solubilidad en etanol. En esa misma línea, la densidad se revela como un indicador fundamental de la compactibilidad y pureza de los aceites esenciales. La medición de la densidad permite comprender la masa que se encuentra presente en un volumen específico, siendo esta una característica distintiva que influye en la calidad general del aceite. Este parámetro proporciona información valiosa sobre la concentración de los compuestos volátiles presentes y su homogeneidad en la muestra, aspectos que influyen en su calidad y eficacia (Mendoza, 2020).

El índice de refracción, otra medida crucial en la caracterización ofrece una perspectiva sobre cómo la luz que se desplaza a través del aceite esencial, este parámetro se convierte en una herramienta valiosa para la identificación y autenticación de los aceites, ya que diferentes compuestos afectan la velocidad de la luz de manera única, así, la determinación precisa del índice de refracción contribuye a la comprensión de la composición química del aceite esencial (Condori y Palomino, 2022). La solubilidad en etanol emerge como un aspecto relevante en la caracterización fisicoquímica, explorando la capacidad del aceite esencial para mezclarse con este solvente específico, esta propiedad tiene implicaciones directas en

la aplicabilidad del aceite en diversas formulaciones y procesos, como la incorporación en productos cosméticos o farmacéuticos, es por ello que la solubilidad en etanol brinda perspectivas sobre la estabilidad y versatilidad del aceite esencial en diferentes entornos (Taipe, y otros, 2023).

2.2.6. METABOLITOS SECUNDARIOS

Los terpenoides, un conjunto de sustancias con un origen biosintético común, el cual sigue la regla del isopreno, abarcan una amplia variedad de compuestos. Estos se dividen en categorías de acuerdo a las unidades de isopreno que contienen, incluyendo tetraterpenos, triterpenos , sesterpenos, diterpenos, sesquiterpenos y monoterpenos. En su investigación sobre el aceite esencial del fruto de *Schinus Molle*, Viturro (2010) identificó una variedad de compuestos predominantes. Como se muestra en la Figura 3, estos incluyen α- y β-felandreno, α- y β-pineno, D-limoneno, o-etilfenol, mirceno, β-espatuleno, silvestreno, perillaldehído, canfeno, carvacrol, pcimol y p-cimeno. La presencia de estos compuestos resalta la complejidad y la diversidad química del aceite esencial del *Schinus molle*, lo que sugiere su potencial para diversas aplicaciones industriales y medicinales.

Según Viturro et al. (2010) en su investigación expone los componentes encontrados en muestras de aceite esencial de molle en varios países, tales como Brasil, Ecuador, Perú y Costa Rica; en dicho resumen se pueden notar los siguientes compuestos, mismos que se describirán a continuación:

a. *α-felandreno*:

- Fórmula química: $C_{10}H_{16}$
- Nombre IUPAC: 2-methyl-5-(1-methylethyl)-1,3-cyclohexadiene

b. *β-felandreno*:

- Fórmula química: $C_{10}H_{16}$
- Nombre IUPAC: 1-isopropil-4-metil-2,4-ciclohexadieno

c. *α-pineno*:

- Fórmula química: $C_{10}H_{16}$
- Nombre IUPAC: 2, 6, 6-trimetilbiciclo [3.1.1] hept-2- en

d. *β-pineno*:

- Fórmula química: $C_{10}H_{16}$
- Nombre IUPAC: 6,6-dimetil-2-metilenebiciclo [3.1.1] heptano

e. *Limoneno*:

- Fórmula química: $C_{10}H_{16}$
- Nombre IUPAC: 4-isopropenil-1-metilciclohexeno

f. *Mirceno*:

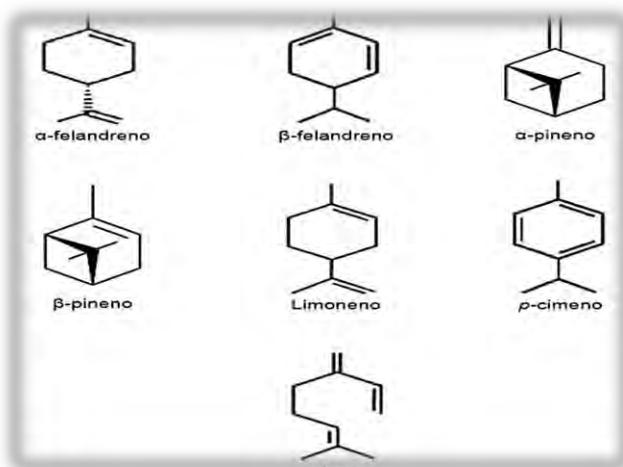
- Fórmula química: $C_{10}H_{16}$
- Nombre IUPAC: 7-metil-3-metileno-1,6-octadieno

El aceite esencial extraído de los frutos maduros de molle, es líquido transparente de olor semejante al mango y maracuyá y de sabor característico, con densidad inferior a 0.9 e índice de refracción de 1.47. Químicamente, la mayor parte de casi todos los aceites esenciales consisten en terpenoides (hidrocarburos isoprenoides) y sus derivados oxigenados. La mayoría de estos se encuentran en la naturaleza y sirven principalmente como vehículos para los grupos más importantes de compuestos oxigenados (alcoholes, aldehídos, ácidos grasos y esteres). Braverman en 1980, menciona que toda los monoterpenos y sesquiterpenos son volátiles cuando se les destila con vapor.

Las estructuras moleculares de los elementos descritos en la investigación desarrollada por Viturro et al. (2010) se pueden observar en la Figura 04, las cuales se muestran a continuación:

Figura 4

Estructura molecular de los componentes predominantes del aceite esencial de molle



Nota: Tomado de Nobre et al. (2000); Palá (2002) y Quiminet (2009). Citados por Llanos Arapa (2012, p. 32)

2.2.6.1. Quiralidad molecular y enantiómeros

La quiralidad es una propiedad estructural que se manifiesta en ciertas moléculas y objetos, impidiendo que sean superponibles con su imagen especular, a pesar de tener una simetría aparente. Este fenómeno, tiene implicaciones significativas en la química orgánica, ya que la actividad y función de muchas moléculas en sistemas biológicos están directamente relacionadas con su configuración espacial tridimensional.

Una molécula es quiral si no puede superponerse con su imagen especular, generalmente porque posee un carbono asimétrico o centro estereogénico, es decir, un átomo de carbono unido a cuatro sustituyentes diferentes. Los compuestos ópticamente activos existen como pares de enantiómeros: uno levógiro y otro dextrógiro, los cuales presentan idénticas propiedades físicas excepto en su efecto sobre la luz polarizada y su interacción con sistemas quirales (Clayden J., 2012).

Esta propiedad da lugar a la existencia de dos enantiómeros, es decir, dos formas de la misma molécula que son imágenes especulares no superponibles entre sí. A pesar de tener la misma fórmula molecular y estructura general, los enantiómeros tienen propiedades diferentes cuando interactúan con sistemas quirales, como enzimas o receptores biológicos.

Una de las manifestaciones más relevantes de la quiralidad es la actividad óptica, que consiste en la capacidad de una sustancia para desviar el plano de la luz polarizada. Según la dirección de esta desviación, los enantiómeros se clasifican como:

- **Dextrógiros (+)**: desvían la luz polarizada hacia la derecha, es decir en sentido horario.
- **Levógiros (-)**: desvían la luz polarizada hacia la izquierda, en sentido antihorario.

Es importante señalar que el signo de rotación óptica no está relacionado directamente con la configuración absoluta del centro quiral (designada como *R* o *S*), ya que ambas propiedades se determinan mediante métodos distintos: la rotación óptica mediante experimentación y la configuración absoluta a través de la nomenclatura Cahn-Ingold-Prelog.

Los compuestos ópticamente activos existen como pares de enantiómeros: uno levógiro y otro dextrógiro, los cuales presentan idénticas propiedades físicas excepto en su efecto sobre la luz polarizada y su interacción con sistemas quirales (Montgomery, 2017).

2.2.6.2. Tiempo de retención

El tiempo de retención se define como el intervalo requerido para que un analito atraviese la columna cromatográfica y sea detectado por el sistema de detección. Este parámetro es específico para cada compuesto y depende de las condiciones operativas establecidas durante el análisis, como la naturaleza de la fase estacionaria, la fase móvil, la temperatura y el caudal del sistema.

- El enantiómero (+) - α-felandreno puede tener una interacción más fuerte con la fase estacionaria quiral, lo que resulta en un tiempo de retención más largo.

- El enantiómero (-) - α -felandreno podría tener interacciones más débiles y, por lo tanto, un tiempo de retención más corto.

2.2.7. IMPORTANCIA DEL ACEITE ESENCIAL

Para Lalanguí y Palacios (2021), el aceite esencial extraído del fruto de molle, *Schinus molle*, no solo representa un producto aromático, sino que encierra propiedades medicinales y funcionales de considerable importancia, pues sus características ofrecen valiosa información sobre su calidad y versatilidad, este análisis no solo enriquece la comprensión de las propiedades intrínsecas del aceite, sino que también respalda la optimización de su aprovechamiento en aplicaciones específicas.

Desde una perspectiva medicinal, se destaca su potencial antimicrobiano y antiinflamatorio, atribuido a compuestos como el α -felandreno y el limoneno (Murrieta, Medrano, Guerra, & Valle, 2023). En el ámbito de la aromaterapia, su fragancia suave y herbácea lo convierte en un recurso valioso para reducir el estrés y promover ambientes relajantes. Además, el uso culinario de este aceite en ciertas culturas aporta una dimensión adicional, realzando sabores y ofreciendo una experiencia sensorial única en la cocina (Valle, Paredes, Benavides, & Basantes, 2023).

A nivel industrial, el aceite esencial de molle encuentra aplicaciones en la formulación de productos cosméticos, gracias a su aroma agradable y propiedades antimicrobianas. Asimismo, su potencial en la industria farmacéutica abre puertas a la investigación y desarrollo de fármacos con propiedades beneficiosas (Taype, Aguirre, Ruiz, & Ore, 2021). En última instancia, la caracterización detallada de este aceite no

solo subraya su importancia en diversas esferas, sino que también contribuye a una visión sostenible al fomentar prácticas de aprovechamiento integral y eficiente de esta valiosa planta.

La particularidad que tiene la comercialización de los aceites esenciales es que exige permanentemente nuevos productos y la ventaja que tiene América del Sur es que tiene una gran variedad de los mismos. Esta característica del mercado hace que la utilización de las plantas aromáticas nativas sea de mayor interés porque los aceites esenciales presentan en su composición sustancias características novedosas que posibilitan nuevas aplicaciones y la apertura de nuevos mercados. Como se observa a continuación:

Tabla 4.

Composición del Aceite Esencial de Molle

NRO	%	METABOLITO
1	3.0 - 4.0	α -pineno
2	6.0 - 7.0	Sabineno
3	31.5 - 33.0	α -felandreno
4	26.0 - 28.0	Mirceno
5	0.1 - 0.5	Δ -3-careno
6	9.0 - 10.0	Limoneno
7	9.0 - 10.0	B-felandreno
8	0.5 - 2.0	ρ -cimeno
9	1.0 - 2.0	Cariofileno
10	0.5 - 1.5	D-germacreno
11	0.5 - 2.0	Cadineno

Nota: Extraída a partir de la ficha técnica de la empresa Plantex (FininOil SA,2016) dedicada a la extracción de aceites orgánicos. Considera los intervalos de composición de sus componentes químicos (%).

La extracción del aceite esencial de molle, evidenciada a partir de sus múltiples aplicaciones, respalda su potencial como un recurso valioso en economías locales y globales. La industria alimentaria, cosmética y farmacéutica puede beneficiarse no solo de sus propiedades aromáticas y medicinales, sino también de su potencial como ingrediente clave en productos especializados. La investigación en torno a este aceite esencial no solo contribuye al conocimiento científico, sino que también abre puertas a oportunidades económicas y sostenibles, promoviendo un enfoque en la utilización de recursos naturales.

2.2.8. MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE ACEITES ESENCIALES

La obtención de aceites esenciales y extractos aromáticos a partir de matrices vegetales implica una diversidad de técnicas, cuya selección depende de la naturaleza fisicoquímica de los compuestos volátiles, la estabilidad térmica del material y los objetivos del proceso. En la industria se han empleado diversos mecanismos de extracción, los cuales pueden ser físicos o químicos; la aplicación de cada uno de los métodos depende estrictamente del tipo de material vegetal, de la estabilidad del aceite contenido en ella y de las facilidades operacionales con las cuales se cuentan (Angarita Ruiz, 2019).

A continuación, se describen los métodos más ampliamente utilizados a nivel industrial, organizados en función creciente de su complejidad operativa y tecnológica.

2.2.8.1. Extracción por extrusión

La extrusión es un procedimiento sencillo que permite obtener un aceite esencial con propiedades muy similares al producto natural, ya que no se efectúan tratamientos de calor.

Este proceso puede efectuarse manualmente (prensa) o por medios mecánicos “cold pressing” e involucra la perforación de las glándulas aceiteras en el pericarpio del fruto, la extrusión mecánica y el lavado de agua (Llanos Arapa, 2012).

No obstante, este método solo se aplica a materiales vegetales que poseen grandes cantidades de esencia en sus células superficiales, como, por ejemplo, el pericarpio de los frutos cítricos, esta técnica consiste en la ruptura mecánica de las células oleíferas mediante prensado, sin aplicación de calor. Se obtiene un producto con una alta fidelidad al perfil aromático original, aunque su aplicabilidad es limitada a matrices con alto contenido oleoso superficial (Bautista, 2020).

2.2.8.2. Hidrodestilación

Este método permite la separación de sustancias volátiles mediante un proceso que combina la evaporación y posterior condensación. Se aplica comúnmente en flores u otras partes vegetales utilizando vapor de agua. El procedimiento inicia cuando el vapor entra en contacto con la materia vegetal y arrastra consigo los aceites esenciales presentes. La destilación es posible debido a que el punto de ebullición de los componentes volátiles es superior al del agua, lo que permite su extracción (Murrieta, Medrano, Guerra, & Valle, 2023).

La separación de las fases se debe a la diferencia de densidades y a la inmiscibilidad entre el aceite esencial y el agua; generalmente, la fase orgánica (el aceite) es menos densa y se posiciona por encima de la fase acuosa. No obstante, existen excepciones a esta regla.

- **Fase orgánica:** Es aquel que tiene el aceite esencial.
- **Fase acuosa:** Se refiere al componente líquido en el cual predomina el contenido de agua, y que puede incluir una fracción emulsionada de esencia. Un ejemplo representativo es el agua de rosas, que consiste en una mezcla en la que coexisten agua y trazas de aceite esencial en una solución o emulsión acuosa.

2.2.8.3. Extracción con disolventes

Este procedimiento consiste en la disolución de los compuestos aromáticos en un disolvente orgánico volátil (como el hexano), seguida de una fase de evaporación para conseguir una masa semisólida denominada concreto. Después, se lleva a cabo una extracción de alcohol para purificar el extracto y conseguir un absoluto. Es particularmente beneficioso para materiales susceptibles al calor, aunque plantea retos en la eliminación total del disolvente residual.

Según Florián García (2014) para el proceso de extracción con solvente, la semilla pre-tratada se somete a la acción de un solvente para extraer el aceite. Existen dos tipos de solventes que permiten la extracción del aceite, son las siguientes:

- **Solvente polar:** se refiere a una sustancia cuya molécula presenta un polo positivo y un polo negativo, ambos separados a una pequeña distancia. Dentro de ellos tenemos al etanol, acetona y al agua.
- **Solvente no polar:** se refiere a una sustancia orgánica que carece de polo positivo y negativo en sus moléculas. Algunos ejemplos son el benceno, éter de petróleo, tolueno y cloroformo. (García, 2014)

2.2.8.4. Extracción con dióxido de carbono en estado supercrítico

Este procedimiento representa una innovación tecnológica reciente. Consiste en trocear o moler la materia prima para luego cargarla en una cámara fabricada en acero inoxidable. En esta etapa, se hace circular un fluido en estado supercrítico como el dióxido de carbono (CO_2) que actúa como disolvente. Bajo estas condiciones, el fluido supercrítico disuelve y transporta los compuestos aromáticos, permitiendo su extracción. Posteriormente, mediante un proceso de descompresión gradual, se reduce la presión y temperatura hasta condiciones ambientales, lo que provoca el cambio de fase del CO_2 ha estado gaseoso y su liberación del sistema, quedando como residuo el aceite esencial extraído (Llanos Arapa, 2012).

El resultado es una esencia de alta pureza, con un rendimiento eficiente y bajo impacto ambiental. El solvente utilizado puede recuperarse fácilmente y ser reutilizado, lo que mejora la sostenibilidad del proceso. Además, las bajas temperaturas implicadas evitan alteraciones químicas en los compuestos extraídos. No obstante, este método

requiere de equipos especializados capaces de operar a altas presiones, lo que representa una inversión significativa en tecnología y mantenimiento.

2.2.8.5. Enfleurage

También denominado como enfloración, este método consiste en establecer contacto entre el material vegetal, usualmente flores, y un aceite vegetal que actúa como agente extracto. Durante este proceso, los compuestos aromáticos presentes en las flores se disuelven en el aceite. Posteriormente, la mezcla obtenida es sometida a procesos físico-químicos para separar el aceite esencial. Aunque este procedimiento es empleado principalmente para la obtención de aceites esenciales de origen floral, presenta desventajas como su elevado costo y bajo rendimiento.

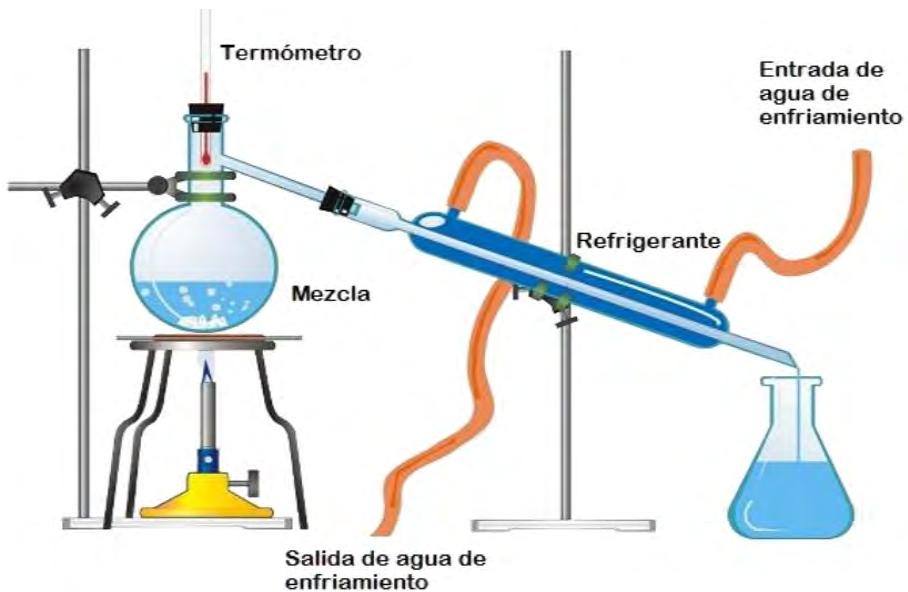
2.2.8.6. Destilación por arrastre de vapor de agua

La destilación por arrastre de vapor emerge como un método prominente, aprovechando sus principios fundamentales para extraer compuestos aromáticos volátiles de materiales vegetales (Villamizar & Aular, 2022). Este método se apoya en la volatilidad diferencial de los componentes, permitiendo su separación y posterior recolección como aceite esencial (Colina, Contreras, Ruiz, & Monroy, 2022).

Existen tres variantes que se adaptan según la textura y fragilidad de la materia prima a procesar, de las cuales una de ellas ocurre cuando la materia vegetal se expone directamente a una corriente de vapor, sin necesidad de una maceración previa (Ugaz, 1994).

Figura 5

Equipo de Destilación por arrastre de vapor a nivel laboratorio



Nota: Tomado de Bautista Toro (2020). Obtención de aceite esencial de molle (*Schinus molle*) y su evaluación antifúngica.

El agua saturada de aceite esencial, recuperada en el destilado, se redirige al destilador (primer caso). Al finalizar la operación, esta agua puede servir para diversos fines, siendo conocida como aguas aromáticas destiladas. Asimismo, puede ser sometida a una nueva extracción con un disolvente volátil. Este proceso garantiza la eficiencia en la recuperación y reutilización de los componentes esenciales.

Los factores críticos en la extracción incluyen la cantidad de materia, presión y duración del proceso; estos parámetros influyen directamente en la calidad y eficiencia del aceite esencial obtenido. La temperatura adecuada facilita la volatilización controlada de los compuestos aromáticos, mientras que la presión regula la velocidad del proceso; la duración de la extracción se convierte en un punto crucial, ya que

diferentes compuestos se liberan en momentos específicos, afectando la composición y propiedades del aceite (Gutiérrez, 2020).

La eficacia del proceso de extracción se evalúa a través del rendimiento, el cual se define como el aceite esencial obtenido en relación con la cantidad inicial de fruto, expresado en porcentaje. Este indicador crítico revela la eficiencia del proceso en la obtención de los componentes esenciales. Asimismo, es esencial analizar el tiempo de extracción en minutos para identificar el punto óptimo de obtención del aceite esencial. La variación en la duración del proceso puede ejercer una influencia significativa en la concentración y proporciones de los compuestos obtenidos (Palacios & Castillo, 2015).

La destilación por arrastre de vapor está basada en el principio del sistema heterogéneo formado por dos líquidos inmiscibles, tales como el agua y un aceite esencial, los vapores emitidos por cada uno de ellos no se influyen, por lo tanto, sus presiones de vapor se adicionan totalmente (Pino Alea, 2015).

Al ir calentando al sistema llegara un momento en el cual la presión se iguala a la presión atmosférica y entonces el sistema entrara en ebullición. La presión parcial de cada vapor será inferior a la presión externa, de forma tal que los líquidos ebullirán a temperaturas inferiores a sus puntos de ebullición, bajo la presión actual, como consecuencia, todo líquido no inmiscible con el agua puede ser arrastrado por este a una temperatura más baja que su punto de ebullición.

Figura 6

Equipo de Destilación por arrastre de vapor



Nota: Equipo industrial de destilación por arrastre de vapor de Tecnología e Ingeniería de Procesos Industriales TIPIN SRL.

2.2.8.6.1. Factores que influyen en la extracción de aceite esencial

Para la obtención de aceite esencial por arrastre de vapor se realiza la extracción utilizando la vaporización selectiva de los componentes volátiles, para esto es importante el punto de ebullición; esto se lleva a cabo utilizando un vapor saturado sobrecalentado a presión atmosférica, fuera del equipo principal.

Dentro de los factores que influyen en este proceso tenemos a los siguientes:

- Tiempo de secado: depende de cada especie expuesta, así como de su control diario evitando ser expuestos a la luz solar o a la humedad.
- Tiempo de extracción: es tiempo estimado aproximadamente es de 2 horas, sin embargo, en esta investigación se realizó en 45 min.

- Presión del vapor: es importante controlar la presión del tanque, si fuese mayor a lo establecido se tiene el riesgo de presentar hidrolisis, haciendo que disminuya su calidad.
- Limpieza interior: se recomienda realizar 1 hora antes de iniciar con el proceso, evitando el contacto del tanque con otros equipos.
- Factor de empaquetamiento: en este caso, los frutos de molle no deben de encontrarse muy separados uno de otros porque esto originaria que se demore más el tiempo de destilación; tampoco deben de encontrarse muy compactos ya que el vapor se lleva por un conducto, acortando el rendimiento del aceite.

2.2.8.6.2. Parámetros de operación en la destilación por arrastre de vapor

Los parámetros de operación con las que se realiza la investigación son las siguientes:

- La temperatura de trabajo durante todas las pruebas de extracción fue de 47° C siendo esta la temperatura a la cual empieza la extracción del aceite esencial de molle.
- Se realizó pruebas a tres niveles de presión; bajo, medio y alto siendo las seleccionadas a 0.3 atm, 0.6 atm y 0.9 atm.
- Se realizó pruebas a tres niveles de carga de fruto maduro de molle; fueron las siguientes: bajo, medio y alto tomando 3 kg, 5 kg y 7 kg respectivamente.

- El caudal de refrigeración es constante equivalente a 2.5 L/min.

2.2.9. LEY DE DALTON

Los aceites esenciales tienen puntos de ebullición elevados, muy por encima del punto de ebullición del agua. En muchas ocasiones, obtener estos productos por destilación simple resulta muy complicado por las elevadas temperaturas que se necesitan para vaporizar el aceite provocan su descomposición.

Por ello, el método utilizado para su obtención es el de destilación en corriente de vapor de agua. Mediante esta técnica, es posible separar los aceites esenciales, volátiles e insolubles en agua, de la planta que los contiene, a una temperatura inferior a la de su punto de ebullición. El aceite esencial y el agua forman un sistema binario de dos líquidos inmiscibles, cuyo comportamiento está determinado por la ley de Dalton de las presiones parciales. Esta ley dice que la presión total de una mezcla de dos gases A y B a una temperatura determinada es igual a la suma de las presiones que cada gas ejercería si estuviera solo, a esa misma temperatura. (Chang, 2005)

De tal forma, la presión total, se puede calcular como:

$$P_T = P_A + P_B \quad (1)$$

Donde P_T es la presión total del sistema (atm) y P_A y P_B son las presiones de vapor de los componentes (atm), a una temperatura correspondiente.

Al destilar una mezcla de dos líquidos inmiscibles su punto de ebullición será aquella temperatura a la cual la presión total, suma de las presiones parciales de vapor,

es igual a la presión de trabajo. De este modo, esta temperatura estará por debajo del punto de ebullición que tendría cada sustancia por separado.

En el caso de la mezcla formada por el aceite esencial y el agua, si se trabaja a presión atmosférica, la destilación se produce a una temperatura inferior a los 100 °C. Se consigue así la obtención de los aceites esenciales a una temperatura que evita su degradación.

2.2.10. DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Para esta investigación se utilizó el diseño factorial 3^2 , considerado como uno de los diseños más simples, el cual tiene dos factores, cada uno con tres niveles, dando así un total de nueve tratamientos.

El modelo estadístico para el diseño de 3^2 , tal como se muestra en la ecuación 2, describe la forma del modelo, se puede escribir considerando el efecto individual de cada factor y de la interacción entre ambos, se aprecia a continuación:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + e_{ijk} \quad (2)$$

Donde se dice que: $i, j = 0, 1, 2$ y $k = 1, \dots, r$; además de que α representa el efecto del factor A, y β representa el efecto del factor B y $(\alpha\beta)$ representa el efecto de la interacción entre los dos factores.

*Tabla 5.**Diseño factorial 3² en dos notaciones.*

Tratamiento			Matriz de Diseño	
			A	B
1	Bajo	Bajo	-1	-1
2	Medio	Bajo	0	-1
3	Alto	Bajo	+1	-1
4	Bajo	Medio	-1	0
5	Medio	Medio	0	0
6	Alto	Medio	+1	0
7	Bajo	Alto	-1	+1
8	Medio	Alto	0	+1
9	Alto	Alto	+1	+1

Nota. Presenta los factores utilizados con un diseño de 3² con 2 variables (A y B), también muestra las 9 combinaciones de los tratamientos.

En el sistema del diseño 3², es común denotar los niveles bajo, intermedio y alto con un -1, 0 y +1, respectivamente; tal como se muestra en la Tabla 5, cada factor tiene 3 niveles, obteniéndose un total de nueve tratamientos diferentes.

2.2.11. CROMATOGRAFÍA DE GASES

La cromatografía es un método de separación física en el cual los componentes a separar se distribuyen selectivamente entre dos fases inmiscibles: una fase móvil fluye a través de un lecho de fase estacionaria. La técnica recibe su nombre según la naturaleza de la fase móvil: cromatografía de gases (GC), cromatografía líquida (LC) o cromatografía con fluidos supercríticos (SFC).

El proceso cromatográfico tiene lugar como resultado de sucesivos pasos de sorción y desorción durante el desplazamiento de los analitos (sustancias) a lo largo de la fase estacionaria. La separación se debe a las diferencias en los coeficientes de distribución de los distintos analitos presentes en la muestra.

En cromatografía líquida (LC), la muestra se introduce mediante un puerto de inyección en la corriente de fase móvil suministrada por una bomba de alta presión, y es transportada a través de la columna donde ocurre la separación. Esta separación es monitorizada mediante un detector de flujo continuo.

La espectrometría de masas (MS) se basa en la generación de iones, los cuales son posteriormente separados o filtrados según su relación masa/carga (m/z) y detectados. El espectro de masas resultante es una representación gráfica de la abundancia relativa de los iones generados en función de su m/z . Esta técnica permite alcanzar una excelente selectividad, lo cual es de suma importancia en el análisis cuantitativo de trazas.

El espectrómetro de masas es un instrumento altamente sofisticado y controlado por ordenador, que consta, en términos generales, de cinco componentes principales: introducción de la muestra, ionización, análisis de masas, detección de iones y procesamiento de datos. En principio, la cromatografía líquida es tan solo una de las múltiples técnicas posibles para introducir analitos, o, visto desde otra perspectiva, el espectrómetro de masas puede considerarse como un detector más dentro de un

sistema de LC. Sin embargo, los sistemas LC-MS en línea ofrecen un valor añadido significativo, especialmente en términos de selectividad analítica.

CAPITULO III. MATERIALES Y METODOS

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

Esta investigación se desarrolló en las instalaciones del laboratorio de Tecnología e Ingeniería de Procesos Industriales TIPIN SRL, ubicado en la Av. Coronel la Torre Intr. L-26 Pata Pata, en el distrito de San Jerónimo, provincia de Cusco. En este contexto, se procedió a examinar el proceso de extracción del aceite esencial contenido en los frutos maduros del molle (*Schinus molle*) mediante destilación por arrastre de vapor; además, de realizar su análisis fisicoquímico detallado.

3.2. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

La naturaleza de la investigación es tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y de nivel explicativo.

El diseño de la investigación adoptado es experimental, lo que implica un mayor control sobre la variable independiente, es decir, los factores causales que se manipulan deliberadamente. Este control permite estudiar con precisión la influencia de estos factores en la variable dependiente, es decir, las consecuencias o los resultados observados en el estudio (Silva et al., 2021).

3.3. TAMAÑO DE MUESTRA

La cantidad de muestra fue de 90 kg de los frutos maduros de molle (*Schinus molle*), de las cuales 45 kg fueron utilizados para la obtención de los datos de muestra

y los otros 45 kg restantes para los datos de réplica. El tipo de muestreo aplicado fue el no probabilístico aleatorio al azar.

3.4. MATERIALES DE USO

3.4.1. Equipos

- Molino de granos maula Corona (0 kg-10 kg), modelo 112107 de estaño, procedencia colombiana.
- Calderín cilíndrico, fabricado para extracción de aceites esenciales, 44.65 L ($\phi=38$ cm, altura 43 cm, presión de operación de 4 bar y presión de trabajo 1 bar) de material hierro azul.
- Tanque sin aislamiento térmico: de acero inoxidable SAE-304 acabado mate para alimentos y válvula de alivio de 2.5 bar (volumen 35.34 L, $\phi=30$ cm, altura de 50 cm).
- Condensador: tubo interior de 381 mm y un tubo exterior de 762 mm, con enfriamiento en posición contra corriente, material acero inoxidable SAE-304 acabado mate 'para alimentos.

3.4.2. Instrumentos

- Balanza Analítica Dival Calibrado con certificado N° CEP-231025.01-CB carga máxima de 3 kg sensibilidad de ± 1 g.
- Balanza digital Vevor: rango 1-10 kg ± 1 g.

- Manómetros seco Giro Pumps EN-837-1: rango 0-30 psi.
- Termómetros de vidrio: 0 °C -100 °C.
- Termómetro digital Multi-Therm (-25 °C -150 °C)
- Refractómetro 30PX METTLER TOLEDO: modelo refracto 30PX.
- Balanza Analítica OHAUS modelo AR2140 ± 0.005 %.

3.4.3. Material de vidrio y otros

- Pera de decantación Pírex: de vidrio, capacidad de 250 mL y 500 mL.
- Picnómetro: 10 mL.
- Pipetas volumétricas Pírex: de vidrio, capacidad 25 mL y 50 mL.
- Probetas Pírex: de vidrio de 20 mL, 100 mL y 250 mL.
- Vasos precipitados Pírex: 50 mL, 250 mL y 500 mL.
- Recipientes de vidrio color ámbar neutralizados: 500 mL.
- Tubos de ensayo Pírex: de vidrio, 5 mL y 10 mL.
- Papel filtro de poro Fino N°1: en pliegos, marca Whatman.
- Papel filtro de poro Grueso: en pliegos, marca Whatman.
- Bandejas de PVC (Poli cloruro de vinilo) de 30X20 cm

- Bandejas de cartón de papel corrugado de primer uso cubiertas con papel Kraft de 1.0 X 0.4 m.
- Recipientes de PVC (Poli cloruro de vinilo) de 5 L y 2.5 L.
- Embudo de vidrio de Pírex de vidrio ($\phi = 5\text{cm}$)
- Soporte universal de hierro fundido.
- Matraz Erlenmeyer: 10 mL.
- Buretas Pírex: 5 mL y 1mL, de vidrio.
- Pizeta plástica para agua destilada: 50 mL.
- Tamiz equivalente estandarizada 100 ASTM (tela organza, organza suiza, seda organza) con abertura equivalente a 150 μm de hilos de silicona, temperatura de tolerancia 160 °C.
- PET (Poli tereftalato de etileno) de 3 L.
- Balón de gas de propano con válvula de presión.
- Agua destilada.

3.5. METODOLOGÍA

El desarrollo de este estudio se llevó a cabo según el diseño experimental 3², donde se refleja el proceso de extracción y caracterización del aceite esencial de molle (*Schinus molle*).

3.5.1. METODOLOGIA PARA CARACTERIZAR EL FRUTO MADURO DE MOLLE- ANALISIS FISICO-QUIMICO

3.5.1.1. Determinación de Humedad (Método AOAC, 2005)

Para la determinación del contenido de humedad, se empleó un procedimiento gravimétrico. En primera instancia, se realizó el pesaje de la muestra en su estado fresco utilizando una balanza digital de precisión. Luego, la muestra fue sometida a un proceso de secado en estufa durante un lapso de tres días. Finalizado el secado, se efectuó un nuevo pesaje de la muestra ya deshidratada. La diferencia entre ambas mediciones permitió calcular el porcentaje de humedad, tomando como referencia la masa en base húmeda y en base seca (INACAL, 2017).

3.5.1.2. Determinación de Proteína (Método AOAC, 2005)

Se empleó el método micro Kjeldahl para la determinación del contenido de nitrógeno total presente en la muestra. Este valor fue posteriormente utilizado para estimar la cantidad de proteína bruta, asumiendo que todo el nitrógeno medido proviene de compuestos proteicos, según los principios establecidos en la metodología Kjeldahl (INACAL, 2017).

3.5.1.3. Determinación de Grasa (Método AOAC, 2005)

Mediante el método de extracción semicontinua utilizando un equipo Soxhlet, se sometió la muestra a un proceso en el cual fue rodeada por un disolvente que se calentó hasta alcanzar su punto de ebullición. El vapor generado se condensó y,

mediante el efecto de sifonaje, retornó repetidamente al matraz de ebullición, permitiendo una extracción continua de los lípidos presentes. La cuantificación de la grasa se realizó a partir de la pérdida de masa de la muestra tras el proceso de extracción, lo que indica la cantidad de materia grasa extraída (INACAL, 2017).

3.5.1.4. Determinación de Fibra (Método AOAC, 2005)

La muestra previamente deshidratada y libre de materia grasa fue sometida a un tratamiento químico secuencial, primero con ácido sulfúrico y posteriormente con hidróxido de sodio, ambos en condiciones de ebullición. El residuo insoluble resultante fue posteriormente incinerado a una temperatura de 550 °C. La diferencia entre la masa del residuo antes y después de la calcinación permitió determinar el contenido de fibra bruta presente en la muestra (INACAL, 2017).

3.5.1.5. Determinación de Ceniza (Método AOAC, 2005)

La determinación del contenido de cenizas se llevó a cabo mediante la incineración de la muestra en una mufla con capacidad para alcanzar temperaturas de hasta 600 °C. Durante este proceso, se evaporaron el agua y los compuestos volátiles, mientras que la materia orgánica fue completamente oxidada. El residuo inorgánico restante, correspondiente a las cenizas, fue posteriormente pesado para cuantificar su proporción en los frutos de molle (INACAL, 2017).

Determinación de Carbohidratos (Método AOAC, 2005)

El contenido de extracto libre de nitrógeno (principalmente carbohidratos) se calculó de forma indirecta, bajo la diferencia de 100 de la suma de los porcentajes correspondientes a la humedad, la proteína bruta, las cenizas y la fibra bruta. Este procedimiento se basa en el principio de balance de masa, asumiendo que los carbohidratos constituyen la fracción restante de la muestra (INACAL, 2017).

3.5.2. METODOLOGÍA PARA CARACTERIZAR EL ACEITE ESENCIAL DE SCHINUS MOLLE

El desarrollo de este estudio se llevó a cabo según el diseño factorial completo, mismo que cuenta con tres niveles de la forma 3^2 , lineal, además de considerar una réplica.

Ovares define el rendimiento de los aceites como la relación en gramos de aceite obtenido con respecto a la cantidad en gramos de material vegetal utilizado (Ovares Rodríguez, 2016). Para obtener el rendimiento en porcentaje en cada método de extracción se utilizó la ecuación 3, propuesta por Florián García (2014).

$$\% R = \frac{\text{Peso de A.E extraído}}{\text{Peso de la semilla alimentada}} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

R (%): Rendimiento en porcentaje

A.E: Aceite esencial

Para determinar el rendimiento del aceite extraído se realizó una división del aceite obtenido frente a la muestra alimentada (Florián García, 2014). Para la determinación del rendimiento se utilizó el peso de la muestra extraída respecto al aceite esencial obtenido.

Para esta investigación se desarrolló el diseño factorial 3^2 , diseño factorial con dos factores y tres niveles, cada uno para analizar los efectos combinados de la presión de vapor y el tamaño de carga sobre el rendimiento del proceso. En este diseño, cada uno de los tres niveles de presión de vapor se combinó con cada uno de los tres niveles de tamaño de carga, generando un total de nueve combinaciones experimentales ($3^2 = 9$).

Un experimento diseñado, es una prueba o serie de pruebas en las cuáles se induce cambios deliberadores en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida (Montgomery, 2017). A continuación, se detalla en la Tabla 6, los niveles a desarrollar. Se considera una aplicación de 45 kg iniciales de fruto maduro de molle para la prueba, y los otros 45 kg para la réplica; estás haciendo un total de 90 kg.

Tabla 6.

Matriz de diseño factorial

Variables Independientes	Unidad	Niveles			Niveles		
		Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo
A: CARGA DE MATERIA	kg	(+)	(0)	(-)	7	5	3
B: PRESION DE VAPOR	atm	(+)	(0)	(-)	0.9	0.6	0.3

Nota: Muestra el cuadro de obtención de resultados, tanto para la prueba y réplica en la destilación de aceite esencial de molle (*Schinus molle*).

Este enfoque permite evaluar tanto los efectos principales de cada factor como la interacción entre ellos, proporcionando una visión integral del comportamiento del sistema en términos de rendimiento. Como lo indica Montgomery (2017), los diseños factoriales son herramientas eficientes que permiten identificar relaciones significativas entre factores y su efecto conjunto sobre una variable de interés, lo que mejora la comprensión y optimización del proceso.

La Tabla 6 y 7 se muestran el plan experimental seguido para determinar el rendimiento en el proceso de extracción de aceite esencial para la prueba y replica ordenadamente, en total 18 experimentos.

Tabla 7.

Matriz de Diseño para los resultados de la prueba y réplica

Nº	Tratamiento	Matriz de Diseño				% Rendimiento
		A	B	A (kg)	B(atm.)	
1	Bajo	Bajo	-1	-1	3	0.3
2	Bajo	Bajo	-1	-1	3	0.3
3	Medio	Bajo	0	-1	5	0.3
4	Medio	Bajo	0	-1	5	0.3
5	Alto	Bajo	+1	-1	7	0.3
6	Alto	Bajo	+1	-1	7	0.3
7	Bajo	Medio	-1	0	3	0.6
8	Bajo	Medio	-1	0	3	0.6
9	Medio	Medio	0	0	5	0.6
10	Medio	Medio	0	0	5	0.6
11	Alto	Medio	+1	0	7	0.6
12	Alto	Medio	+1	0	7	0.6
13	Bajo	Alto	-1	+1	3	0.9
14	Bajo	Alto	-1	+1	3	0.9
15	Medio	Alto	0	+1	5	0.9
16	Medio	Alto	0	+1	5	0.9
17	Alto	Alto	+1	+1	7	0.9
18	Alto	Alto	+1	+1	7	0.9

3.5.2.1. Densidad

La densidad de una sustancia se refiere a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen, a medida que aumenta la temperatura, la densidad del aceite o la grasa disminuye, debido a que el aceite y la grasa son más livianos que el agua (Leonardo Ramos, 2022).

En esta investigación, para la determinación de la densidad se realizó de acuerdo a lo establecido con la Norma Técnica Peruana, basada en el método de la picnometría.

3.5.2.2. Índice de refracción

El índice de refracción se define como la relación entre la velocidad de la luz en el aire y la velocidad de la luz en el aceite, aunque también se puede definir como el grado en el que los rayos de luz se desvían al pasar de un medio a otro. El índice de refracción es usado como una medida de la pureza y como un medio de identificación, debido a que cada sustancia presenta un índice de refracción característico (García, 2014).

De acuerdo a la Norma Técnica Peruana, se hizo uso del refractómetro para determinar la relación entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción del aceite.

3.5.3. Diseño experimental estadístico

Para la determinación del mayor rendimiento en la extracción de aceite esencial de molle (*Schinus molle*) se hizo uso del programa estadístico Statgraphics Centurion 19.

Los datos son registrados cuidadosamente bajo el cumplimiento de diseño factorial 3². esto permitió dar un panorama amplio para el análisis de los resultados obtenidos en destilador.

El análisis se realizará a través de la ANOVA, y también de los diagramas obtenidos, dentro de ellos se tienen al diagrama de Pareto, diagrama de efectos y superficies respuesta.

La Tabla 8, describe la operacionalización de variables consideradas para la extracción de aceite esencial de molle (*Schinus molle*).

*Tabla 8.**Operacionalización de las variables*

Variable Independiente	Definición Conceptual	Operacionalización	Unidades	Tipo de variable	Instrumento de medida
Carga de materia prima	Cantidad de fruto maduro de la planta.	La muestra será pesada en una balanza	Kilogramo (kg)	Continua	Balanza
Presión de vapor	Medida de la presión, que es la fuerza ejercida por unidad de área, que un gas aplica sobre un líquido contenido en un recipiente sellado.	Se calentará el generador de vapor a la presión deseada	Atmosfera (atm)	Continua	Manómetro
Variable Dependiente	Definición Conceptual	Operacionalización	Unidades	Tipo de variable	Instrumento de medida
Rendimiento experimental	Cantidad en porcentaje de la mayor cantidad posible de aceite esencial durante el proceso de extracción.	A través del destilador por arrastre de vapor se estudiará el efecto de las variables presión y carga de materia	Porcentaje (%)	Continua	$\%R = \frac{P \text{ aceite extraído}}{P \text{ carga inicial}} \times 100$

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL FRUTO MADURO DE MOLLE (*Schinus molle*)

La caracterización fisicoquímica del fruto maduro de molle se realizó en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco con el Certificado N°0200-24-LAQ.

La cantidad empleada para someter al análisis fue de 20 g, se aplicaron los siguientes métodos AOAC 964.22, AOAC 955.04, AOAC 920.39, AOAC 942.05 y AOAC 962.09; a continuación, los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 9.

*Análisis fisicoquímico de los frutos maduros de molle (*Schinus molle*)*

Resultados del análisis físico químico	
Humedad %	8.37
Proteína %	13.85
Grasa %	6.13
Ceniza%	4.28
Fibra %	18.30
Carbohidratos	67.37

Como se observa en la Tabla 9, se obtiene un 8.37% de humedad. La gran cantidad de productos naturales llegan a contener moléculas agua y los aceites no son una excepción, estos pueden absorber humedad hasta en el mismo almacenamiento, por lo que es casi imposible mantener seco el producto (Leonardo Ramos, 2022).

La humedad se determinó mediante el método de pérdida de peso, la muestra fue sometida a calentamiento en la estufa a 105°C, hasta mantener un peso constante.

Para la determinación de las cenizas, se sometió al residuo obtenido a incineración; primero en una cocina eléctrica y luego en un horno, hasta su combustión completa y obtención de un peso constante.

4.2. DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA PRESIÓN Y LA CARGA DE MATERIA EN EL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE MOLLE

Se determinaron a partir de las variables dependientes e independientes, donde se consideran también los parámetros que intervienen; se detallan a continuación:

4.2.1. Variables Independientes

- Presión de vapor: 0.3 atm, 0.6 atm y 0.9 atm
- Cantidad de materia: 3 kg, 5 kg y 7 kg

4.2.2. Variables Dependientes

- Rendimiento de extracción (%)

4.2.3. Variables Operacionales

- Temperatura: 47 °C – 89°C
- Caudal del flujo del agua de refrigeración: 2.5 L/min
- Tiempo: 45 min (30 min de extracción y 15 min de agotamiento)

4.2.4. EXTRACCIÓN DE ACEITE DE MOLLE POR ARRASTRE DE VAPOR

Previo inicio del proceso se verificó que todo el equipo este correctamente conectado. El vapor ingresa al tanque de destilación mediante una tubería que lo conduce hacia una ducha invertida. Este diseño permite una distribución uniforme del vapor dentro del extractor, asegurando un contacto eficiente con la semilla del fruto que se desea procesar. La ducha invertida actúa como un difusor, dispersando el vapor en múltiples direcciones y reduciendo la posibilidad de formación de gradientes térmicos o zonas de flujo desigual. Este método de ingreso es especialmente útil en procesos donde la uniformidad en la transferencia de calor es crucial para optimizar la eficiencia de separación (McCabe, 2003).

En el proceso de destilación por arrastre de vapor, los compuestos orgánicos volátiles presentes en la biomasa vegetal evaporan a temperaturas inferiores a sus puntos de ebullición normales, debido a la mezcla isotrópica formada entre el agua y los compuestos terpénicos, resultando una mezcla homogénea que se comporta como una sola fase gaseosa. Este comportamiento se explica mediante la ley de Dalton, esto significa que cada componente necesita menos presión parcial para entrar en fase vapor, por tanto, evapora a menor temperatura de la que tendría si estuviera solo.

Así, aunque el α -phelandrene (compuesto mayoritario del aceite esencial de molle) hierva a 150°C de manera aislada, en presencia de vapor de agua dentro del tanque se volatilice a la temperatura de 47°C.

A medida que la destilación avanza, la temperatura del sistema se incrementa gradualmente hasta llegar a los 89°C, punto en el que se está destilando solo agua, lo que marca el final de la etapa de extracción del aceite esencial.

Transcurridos 45 minutos, la temperatura del reactor alcanza la temperatura de 89°C, lo que se traduce en un pequeño remanente de aceite esencial que para este estudio no es significativo.

En consecuencia, tanto la temperatura como el tiempo de extracción se validan como variables operativas adecuadas, estables y constantes, en el rango de 47°C – 89°C.

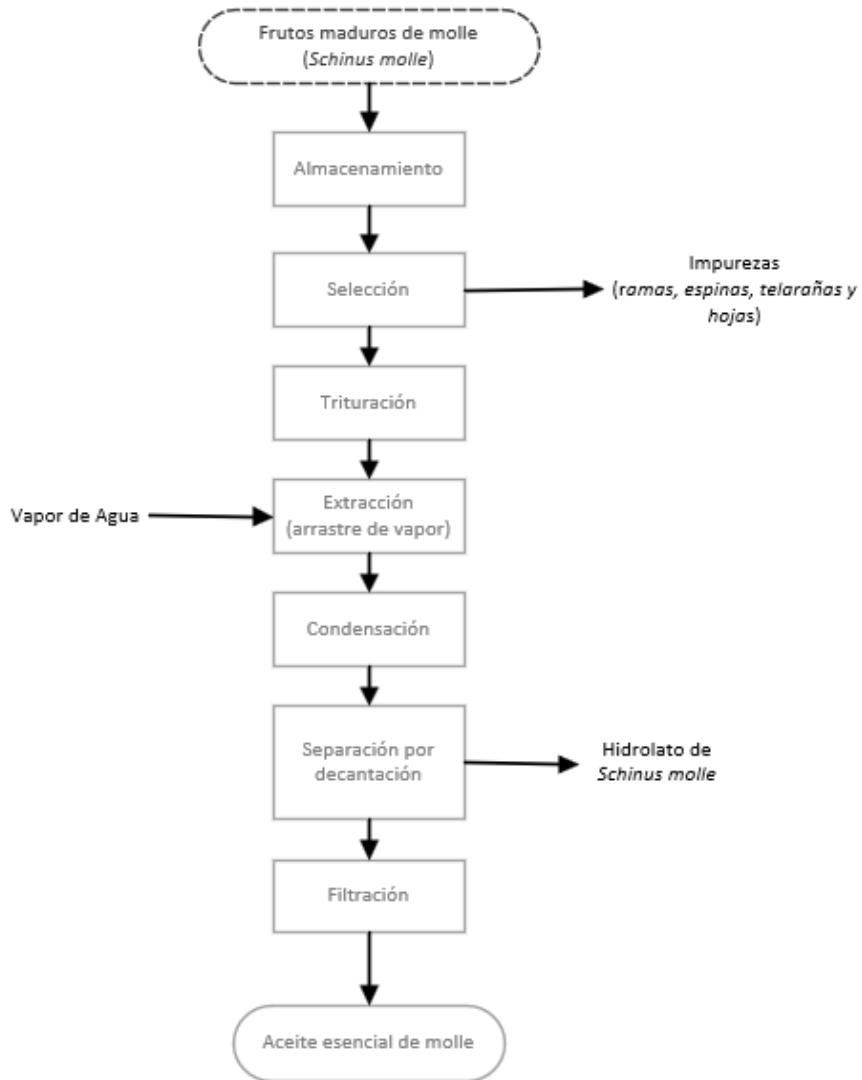
4.2.4.1. Acondicionamiento del fruto maduro de molle

El acondicionamiento de los frutos maduros de molle (*Schinus molle*) es un paso crucial antes de la extracción del aceite esencial. El objetivo es obtener un mayor rendimiento y la calidad del aceite esencial de molle mediante la limpieza, el secado y la reducción del tamaño del fruto. El método más común a realizar a nivel de laboratorio es el de arrastre con vapor.

Para desarrollar esta investigación se tomaron en cuenta los siguientes procedimientos, que se visualizan en la Figura 7.

Figura 7

Diagrama de flujos del proceso de extracción del aceite esencial de molle



Nota: Ilustra el procedimiento para la obtención de aceite esencial de los frutos maduros de molle (*Schinus molle*)

4.2.4.2. Recolección del fruto maduro de molle

Se recolectó 90 kg del fruto maduro de molle del distrito de Saylla de la región Cusco, 45 kg destinados para la prueba y los otros 45 kg para la réplica. La materia

recolectada fue introducida en saquillos de 25 kg para el traslado al laboratorio de Ingeniería de Procesos Industriales TIPIN SRL.

Figura 8

Fruto maduro de molle recolectado



4.2.4.3. Selección de los frutos

Se realizó la limpieza del fruto, desechando impurezas y residuos, principalmente ramas, hojas sobrantes y espinas de otras plantas que hayan podido adherirse. Posteriormente estas fueron almacenadas en un ambiente cerrado, sin radiación solar a temperatura ambiente.

4.2.4.4. Trituración

En este proceso, debido a que los frutos se desarrollan en racimos fue necesario separarlos drupa por drupa, en paralelo se realizó un control de las muestras por inspección visual donde se descartaron y separaron aquellas que se encontraban huecas o infestadas por alguna plaga. Se aplicó una trituración mecánica suave utilizando un molino manual, el objetivo fue romper la estructura externa del fruto sin

pulverizarlo completamente permitiendo la separación progresiva de las capas quedando una consistencia granulada.

Figura 9

Muestra de fruto maduro de molle molido



4.2.4.5. Pesaje

Este proceso fue de forma directa, el producto fue recepcionado en una bandeja de plástico para luego ser pesada y codificada, para ello se utilizó la balanza digital.

Las muestras fueron distribuidas en la cantidad de 3 kg, 5 kg y 7 kg; se formaron tres grupos cada uno constituyó una repetición, es decir que por cada muestra se realizaron dos corridas, una de prueba y la otra de réplica.

Figura 10

Pesaje de fruto maduro de molle molido



Figura 11

Carga de materia al reactor de destilación a 3 kg, 5 kg y 7 kg



Se libera el vapor generado por el calderín mediante el manómetro (0.3 atm, 0.6 atm y 0.9 m). Es importante mencionar que las presiones son reguladas y controladas mediante la válvula de presión al ingreso del tanque.

4.2.4.6. Separación por decantación

Al completar el tiempo de extracción (45 min), se detuvo el proceso.

Posteriormente se esperó a que caiga la última gota de aceite esencial, dentro de la pera de decantación de 500 ml. Una vez fijados las mezclas del hidrolato de molle (zona superior) y aceite esencial del fruto de molle (zona inferior) se procede al vertido de este último, esta a su vez se dejará caer, mediante un goteo de 50 gotas/min, el hidrolato extraído hacia una botella plástica de 3 L. Posteriormente, se permitió su reposo para facilitar la separación total.

Este proceso se desarrolló 18 veces, para todos los tratamientos.

Figura 12

Separación del aceite esencial de molle en la pera de decantación



4.2.4.7. Filtración del aceite esencial

Proceso de separación mecánica para quitar sólidos, agua y otras sustancias indeseadas en el aceite (Mozo Escalante & Calachahui Luque, 2024).

Se usó de papel filtro de poro fino para las 18 muestras obtenidas. Este procedimiento permitirá retener partículas no deseadas, como gotas de agua u otros que se encuentren en suspensión dentro del aceite esencial de molle.

Figura 13

Filtración del aceite esencial



Finalmente, las 18 muestras fueron almacenados en los recipientes de color caramelo neutralizados, rotulados cuidadosamente y dejados sin exposición a la radiación solar a temperatura ambiente.

Figura 14

Papel filtro con partículas de agua extraídas del aceite esencial



4.2.4.8. Recepción y almacenamiento de los aceites esenciales

Al culminar el tiempo de extracción de 45 min por tratamiento, se detiene el proceso, y se espera a que caiga, por completo, la última gota de extracción en la pera de decantación de 500 ml.

Figura 15

Almacenamiento de las muestras en botellas ámbar neutralizadas



Los aceites esenciales deben envasarse en recipientes que, por su naturaleza, no causen alteración del producto y lo protejan de cualquier agresión externa. En general, los materiales de envase deben ser inertes ante el aceite esencial a fin de prevenir cualquier daño simultaneo del producto y del material.

Con relación al acondicionamiento, los envases destinados a contener aceites esenciales deben ser nuevos o estar en buenas condiciones, limpios y secos (secados con vapor seco) y perfectamente herméticos. Los envases de cristal que no sean de vidrio coloreado anti-actínico deben protegerse de la luz. Los envases no deben llenarse completamente, debe dejarse un espacio libre, cuyo volumen se determina en base a los cambios en las condiciones de temperatura previstos durante el transporte (en general, estos representan un máximo del 5 al 10% según la capacidad del envase).

En cuanto al almacenamiento, los aceites esenciales son líquidos fácilmente inflamables, por lo que deben almacenarse en lugares especiales. Es necesario, además, comprobar que los envases que contienen los aceites esenciales no tengan ninguna fuga de líquido o vapor. Los envases deben protegerse de cualquier rotura fortuita. Deben almacenarse en un lugar protegido de la luz y del calor y debe mantenerse a una temperatura constante.

Por lo que se taparon los depósitos y fueron aislados en lugar fresco, seco y oscuro; en este caso en el almacén de materiales pertenecientes al Laboratorio de Tecnología e Ingeniería de Procesos Industriales TIPIN SRL.

4.2.5. BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA

Los balances de materia y energía son indispensables para la contabilidad de entradas y salidas de materia y energía de un proceso o de una parte de estos. Los balances de materia y energía se basan en las Leyes de la Conservación de la materia.

Para el balance de materia.

Surge a partir de la Ecuación General de Balance, presentada en la siguiente ecuación:

$$\text{Entrada} + \text{Generación} - \text{Salida} - \text{Consumo} = \text{Acumulación} \quad (4)$$

Esta ecuación (4), se reduce a un balance simple de masa, ya que el sistema opera en régimen estacionario, sin reacción química y bajo condiciones de proceso por lotes, por lo tanto, los términos de generación y consumo son nulos; además la acumulación es cero durante el periodo de operación.

Entonces se tiene que:

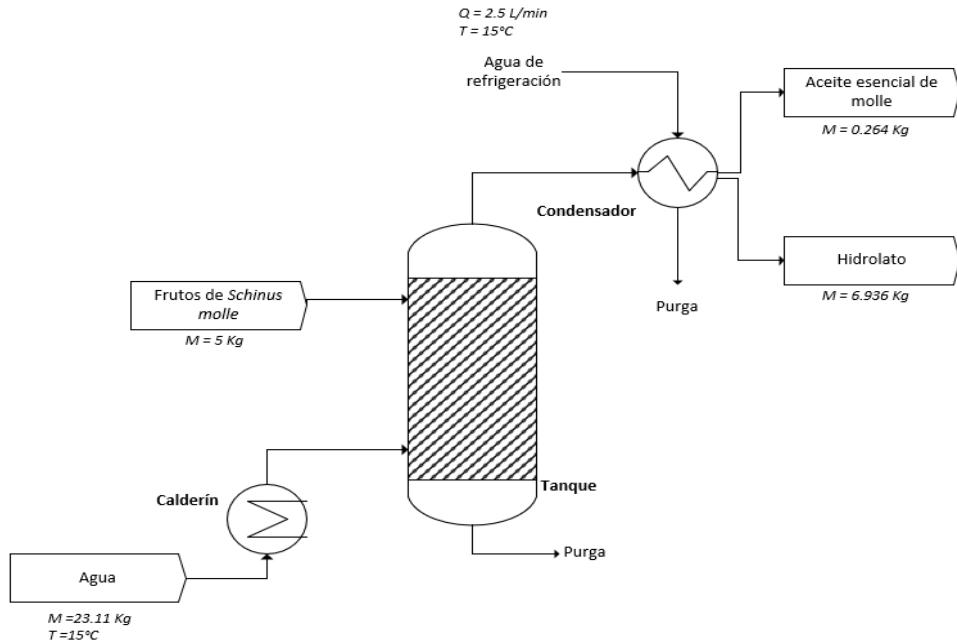
$$\text{Entrada} = \text{Salida} \quad (5)$$

De acuerdo al Diagrama de flujos con equipos que se muestra en la Figura 16, se reconocen las líneas de entrada, el proceso inicia con la carga de los componentes principales siendo estas el agua y los frutos de molle.

Las masas cargadas al inicio del sistema son los frutos de molle (5 kg) y el agua del calderín (23.11 kg). Por lo tanto, la masa inicial alimentada al sistema es de 28.11kg. Para la masa final del sistema, se obtiene como producto el aceite esencial con un peso de 0.264 kg y el hidrolato con 6.93 kg.

Figura 16

Diagrama de flujos con equipo de extracción de aceite esencial de molle



De esta manera, en aplicación a la ecuación 5, el valor del bagazo (residuo sólido vegetal) es de 4.736 kg; mientras que el agua remanente del sistema es de 16.174 kg.

Para el balance de energía.

Basada en el principio fundamental de la Ley de la Conservación de la Energía, teniendo en cuenta que esta investigación se realizó en un sistema abierto en estado estacionario.

$$Q - W_s = \Delta H = \sum(\dot{m}_{\text{salida}} H_{\text{salida}}) - \sum(\dot{m}_{\text{entrada}} H_{\text{entrada}}) \quad (6)$$

Donde:

Q : representa el valor añadido

W_s : representa el trabajo realizado por o sobre el sistema

ΔH : Cambio de entalpía total

De la ecuación 6, se dice que con referencia a los componentes de la energía en el balance; como es el caso de la energía cinética y potencial son despreciables (igual cero), debido a que no existe velocidad de reacción química y el sistema se encuentra a una misma altura, a un mismo nivel. También se debe tener en cuenta que es un sistema en el que no se realiza trabajo. Entonces, se tiene que:

$$\dot{m} (\Delta H) = Q \quad (7)$$

Para hallar el calor sensible:

$$Q = m \cdot Cp (T_{final} - T_{inicial}) \quad (8)$$

Teniendo en cuenta que el Cp del agua es de 4.18 kJ/ kg °C y reemplazando los valores de la temperatura final e inicial, se tiene un calor sensible de 7140 kJ.

$$Q = m \cdot \lambda_{agua} \quad (9)$$

Mientras que, para determinar el calor de vaporización de agua se reemplaza la ecuación 9. Donde: Q es la energía transferida, m es la masa de la sustancia y λ es el calor latente de vaporización de agua (2.257 kJ/kg). El calor de vaporización del agua es de 16250 kJ, del balance de energía se tiene que el calor por vaporización es igual al calor por condensación

La energía total suministrada es de 23390 kJ, se refiere a la suma total del calor sensible más el calor de vaporización.

Para el balance de energía del calderín.

El sistema incluye el calderín, el agua de proceso y el vapor generado, considerando como fuente de energía el combustible gaseoso propano utilizado durante la operación experimental. Las condiciones de trabajo fueron: altitud 3 354.69 msnm, presión en el

calderín de 0.9 atm, la temperatura de ebullición del agua 89 °C y temperatura ambiente 15 °C.

De la ecuación general del balance de energía, se dice que, los cálculos fueron realizados en un sistema quasi-estacionario, no se realiza trabajo mecánico también los cambios de energía cinética y potencial son despreciables. Teniendo en cuenta que se usó gas propano como combustible, el poder calorífico fue constante y las pérdidas de calor se agruparon en un solo término.

Entonces, se halla los valores de la energía suministrada por el combustible y también el de la energía empleada en el calentamiento del agua. La primera determinada a partir de la ecuación 10.

$$Q_{combustible} = m_{combustible} \cdot PCI_{propano} \quad (10)$$

Donde los valores de PCI para el propano son de 46 000kJ y la masa del combustible es de 0.3 kg; se tiene una energía suministrada de 13 800kJ.

Para la energía empleada en el calentamiento del agua (Q1) y la energía empleada en la vaporización del agua (Q2), determinados a partir de las ecuaciones 8 y 9, se toman los valores de 89°C como temperatura de ebullición y 15°C como temperatura inicial.

Entonces, el calor de calentamiento es igual a 7 150 kJ y la energía de vaporización es de 1 215 kJ.

$$Q1 = 23.11 \text{ Kg} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{C}} (89^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}) = 7\,150 \text{ kJ}$$

$$Q2 = 0.517 \text{ kg} \cdot 2350 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 1\,215 \text{ kJ}$$

A partir de estos valores se tiene una energía útil de 8 365 kJ.

Para calcular la pérdida de energía, se toma diferencia entre la energía suministrada por el combustible (Q_{comb}) y el calor útil. Reemplazando los valores hallados se tiene 5 435kJ. Mientras que para tener el rendimiento térmico del calderín (η), se dividen ambos valores multiplicados por cien, se obtiene un valor de 60.6%.

$$\eta = \frac{8\ 365\ \text{kJ}}{13\ 800\ \text{kJ}} \cdot 100 = 60.6\%$$

El rendimiento térmico obtenido es característico de calderines de laboratorio utilizados en procesos de destilación por arrastre de vapor, donde las pérdidas de energía son elevadas debido a la falta de aislamiento térmico.

4.3. RENDIMIENTO EN LA EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE MOLLE

Se realizó la extracción de aceite esencial de molle (*Shinus molle*) a las presiones y cargas de materia planteadas; en dos corridas, una de prueba y la otra de réplica, cada una de ellas contempla 9 tratamientos.

Como se aprecia en la Tabla 10, los valores muestran el rendimiento en porcentaje de los 18 tratamientos realizados; los resultados fueron efectuados a partir de los pesos obtenidos de aceite esencial, y reemplazados en la ecuación planteada por Florian García (2014). Como se observa, los valores más altos son de 5.33%, 5.28% y 5.14%, estos resultados se refieren a la extracción del aceite esencial de molle en los niveles, bajo-medio y medio-medio respectivamente. Se toma en cuenta los valores de los niveles medio-medio pues ambos fueron similares y cercanos en prueba y réplica.

*Tabla 10.**Resultados de los 18 tratamientos en la extracción de aceite esencial de molle*

Nº	Tratamiento	Matriz de Diseño				Variable Respuesta	
		A	B	A (kg)	B(atm)	Peso de aceite (kg)	% Rendimiento
1	Bajo	Bajo	-1	-1	3	0.3	0.108 3.60
2	Bajo	Bajo	-1	-1	3	0.3	0.104 3.47
3	Medio	Bajo	0	-1	5	0.3	0.188 3.76
4	Medio	Bajo	0	-1	5	0.3	0.183 3.66
5	Alto	Bajo	+1	-1	7	0.3	0.230 3.29
6	Alto	Bajo	+1	-1	7	0.3	0.225 3.21
7	Bajo	Medio	-1	0	3	0.6	0.160 5.33
8	Bajo	Medio	-1	0	3	0.6	0.152 5.07
9	Medio	Medio	0	0	5	0.6	0.264 5.28
10	Medio	Medio	0	0	5	0.6	0.257 5.14
11	Alto	Medio	+1	0	7	0.6	0.352 5.03
12	Alto	Medio	+1	0	7	0.6	0.357 5.10
13	Bajo	Alto	-1	+1	3	0.9	0.091 3.03
14	Bajo	Alto	-1	+1	3	0.9	0.090 3.00
15	Medio	Alto	0	+1	5	0.9	0.160 3.20
16	Medio	Alto	0	+1	5	0.9	0.147 2.94
17	Alto	Alto	+1	+1	7	0.9	0.217 3.10
18	Alto	Alto	+1	+1	7	0.9	0.226 3.23

Nota: Contempla los resultados del rendimiento en porcentaje obtenidos de la prueba y réplica.

De la misma manera se calculó el promedio del rendimiento en porcentaje por tratamiento obtenido, la desviación estándar calculada muestra la dispersión de los

datos obtenidos con respecto a su media; se observa, que los valores oscilan entre 0.09 a 0.1 lo que indica una dispersión baja. Como se puede apreciar en la Tabla 11, los datos son cercanos la media obtenida.

Tabla 11.

Resultados de la extracción en la prueba de aceite esencial de molle.

Nº	Tratamiento	% Rendimiento	
		Media	Desv. Estándar
1	Bajo	Bajo	3.53
2	Medio	Bajo	0.0919
3	Alto	Bajo	3.71
4	Bajo	Medio	3.25
5	Medio	Medio	0.0565
6	Alto	Medio	5.20
7	Medio	Alto	0.1838
8	Alto	Alto	5.21
9	Bajo	Alto	0.0989
10	Medio	Medio	5.06
11	Alto	Alto	0.0494
12	Bajo	Alto	3.02
13	Medio	Alto	0.0212
14	Alto	Alto	3.07
15	Bajo	Alto	0.1838
16	Medio	Alto	3.16
17	Alto	Alto	0.0919

A partir de los datos experimentales obtenidos del rendimiento en porcentaje del aceite de molle bajo diferentes condiciones, se ha realizado un análisis estadístico con el objetivo de evaluar la consistencia de los resultados.

Para el Análisis de Varianza (ANOVA) se utilizó un modelo cuadrático completo para evaluar el efecto de las variables codificadas carga de materia (A) y presión de vapor (B) sobre el Rendimiento (%).

En la Tabla 12 se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 12.

Cuadro de ANOVA para la hipótesis general

Source	Suma de Cuadrados	Df	Mean Square	F-Radio	P-Value
A: CARGA	0.0243	1	0.0243	1.74	0.2135
B: PRESION	0.5167	1	0.5167	37.07	0.0001
AA	0.0625	1	0.0625	4.48	0.0578
AB	0.0946	1	0.09461	6.79	0.0245
BB	13.9502	1	13.9502	1000.79	0.0000
blocks	0.03556	1	0.03556	2.55	0.1385
Total error	0.1533	11	0.01393		
Total (corr.)	14.8372	17			

El análisis muestra que tanto los efectos lineales (A, B), como las interacciones (AB) y los términos cuadráticos (A^2 , B^2). De los P-value obtenidos tanto para A^2 y B^2 se dice que; primero, se considera significativa la interacción; si los valores obtenidos de P-value son menores al 0.05 (P-value < 0.05); entonces realizando la comparación de ambos resultados se determina que la interacción para A^2 , corresponde al efecto cuadrático de la carga de los frutos de *Schinus molle*, es mayor ($0.0578 < 0.05$) por lo que no es significativa, mientras que para el efecto cuadrático de la presión (B^2), el P-value es menor ($0.000 < 0.05$), indica que este efecto es significativo para el sistema, domina el modelo y que también hay un valor óptimo de presión.

Asimismo, para la presión de vapor (B) y su término cuadrático (B^2) son extremadamente significativos ($P\text{-value} < 0.05$), lo que indica que esta variable tiene un efecto dominante sobre el rendimiento.

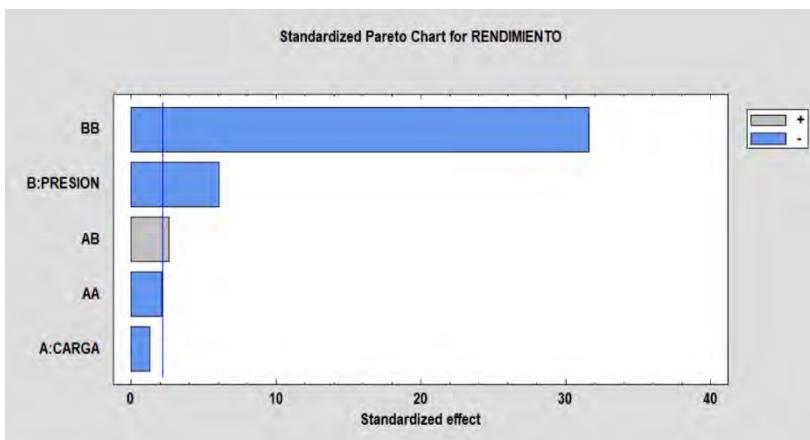
La carga de materia (A) y la interacción AB también son significativos ($P\text{-value} < 0.05$), mostrando que ambas variables contribuyen al modelo.

Los resultados mostrados en la Tabla 12, permiten afirmar, que la destilación por arrastre de vapor influye significativamente en el rendimiento en el proceso de extracción de aceite esencial de los frutos maduros de molle; al tener un nivel de significancia de 0,000 en la intersección de las variables, siendo este valor menor que 0,05 ($p<0.05$).

Este modelo explica bien la variabilidad de los datos, esto puede observarse gráficamente con el diagrama de Pareto y superficie de respuesta.

Figura 17

Diagrama de Pareto para los efectos



En el diagrama de Pareto, de la Figura 17 muestra la magnitud de los efectos estandarizados. Este gráfico, permite identificar los factores que ejercen mayor influencia sobre la variable de respuesta, considerando tanto efectos principales como

interacciones. El umbral de significancia estadística se observa en la línea vertical (cerca de 2), las barras que superan esa línea se consideran estadísticamente significativas.

Como se aprecia el término cuadrático de la presión (B^2) es el más significativo, seguido por la presión lineal (B). Todos los efectos incluidos en el modelo son significativos porque superan el umbral de significancia, excepto el efecto cuadrático de la carga de materia (A^2) y la misma carga de materia (A).

El factor BB es el de mayor efecto positivo estandarizado. Esto indica que el rendimiento aumenta de forma no lineal con la presión. Llega a un punto óptimo antes de disminuir. El factor presión (B) es el segundo efecto más fuerte. La presión tiene un efecto lineal positivo sobre el rendimiento. A mayor presión, mayor rendimiento (hasta cierto punto). En ambos casos, el incremento controlado de presión favorece la eficiencia del proceso, aumentan de forma no lineal con la presión, llegando a un punto óptimo antes de disminuir.

Por otro lado, AB tiene un impacto menor pero todavía visible, indica que la combinación específica de carga y presión tiene un efecto real y significativo sobre el rendimiento. Aunque el efecto es negativo (como lo muestra el color gris), no puede ignorarse. Lo que sugiere que la interacción entre carga de materia prima (A) y presión de operación (B) tienen un impacto adverso sobre el rendimiento.

Este resultado implica que ciertas combinaciones de carga y presión pueden generar condiciones subóptimas para la extracción, esto por la saturación del sistema, condensación incompleta o perdida de aceite por arrastre excesivo.

La significancia estadística del efecto AB indica que no puede ser atribuida al azar, por lo que debe considerarse en el diseño experimental y en la optimización del proceso.

En contraste, los efectos individuales de la carga (A) y su interacción AA presentan valores negativos, pero no significativos, lo que refuerza la idea de que la presión es el factor dominante, y que su interacción con la carga debe ser cuidadosamente ajustada para evitar pérdidas de rendimiento.

Los incrementos de presión favorecen la transferencia de los compuestos volátiles desde la matriz sólida hacia el vapor, lo cual se refleja en un aumento progresivo de la carga de materia destilada (rendimiento) hasta llegar a una presión óptima en la cual se observa un punto máximo en la curva, que indica la máxima eficiencia de arrastre y separación de los volátiles deseados. A presiones superiores al punto óptimo, la eficiencia comienza a disminuir debido a efectos como la condensación no deseada, saturación del vapor o sobrecalentamiento, lo que reduce la capacidad de arrastre y puede alterar la calidad del producto final.

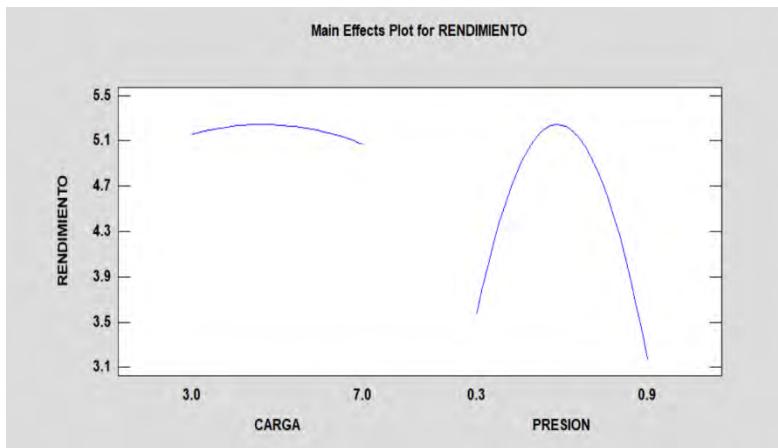
Se concluye que la presión de extracción es la variable más influyente sobre el rendimiento del proceso, el diagrama de Pareto reveló que el factor cuadrático de la presión presenta una significancia estadística notable, indicando la existencia de un punto óptimo más allá del cual el rendimiento comienza a disminuir.

Por otra parte, aunque la carga mostró menor efecto en el rendimiento global, cargas muy bajas o excesivas condujeron a rendimientos subóptimos, este fenómeno ha sido

observado en procesos similares de extracción vegetal, donde el tamaño de carga afecta la transferencia de masa y la eficiencia del contacto sólido-líquido.

Figura 18

Diagrama de efectos del rendimiento en la extracción de aceite esencial de molle



En la Figura 18, se detallan los efectos principales para la carga de materia y presión. Donde en la carga de materia de 3 kg y 5 kg tuvieron similares rendimientos. para el caso de la presión, sí se observa una diferencia notable, puesto que en el nivel de 0.5 atm obtuvo un mayor rendimiento en comparación con los demás niveles. En el contexto de la destilación por arrastre de vapor, la curva parabólica que representa la interacción entre la presión y la carga de materia (como un aceite esencial) describe el comportamiento dinámico del sistema y su eficiencia en la separación de los componentes volátiles de una mezcla.

Dikshit et al (1986) menciona que el rendimiento en frutos puede contener el 5% de aceite esencial y las hojas de 2%; resultados por debajo de esta investigación, ya que le mayor obtenido fue de 5.38%. Sin embargo, Zen Yueqin (2007) asegura que la mayor

cantidad de obtención de aceite esencial del fruto de molle es de 3 a 5%, resultados que se encuentran similares; más no refiere si en estado fresco o seco.

De la gráfica 18, se muestra que la interacción entre la presión de 0.6 atm y 5 Kg de carga tiene el mayor promedio en comparación con las demás interacciones, pudiendo ser este la mejor combinación para obtener el mejor rendimiento, sin embargo, para hallar estadísticamente la mejor interacción, se procedió a realizar las pruebas de comparación de medias, figuran en la Tabla 11.

Incrementos de presión favorecen la transferencia de los compuestos volátiles desde la matriz sólida hacia el vapor, lo cual se refleja en un aumento progresivo de la carga de materia destilada hasta llegar a una presión óptima en la cual se observa un punto máximo en la curva, que indica la máxima eficiencia de arrastre y separación de los volátiles deseados. A presiones superiores al punto óptimo, la eficiencia comienza a disminuir debido a efectos como la condensación no deseada, saturación del vapor o sobrecalentamiento, lo que reduce la capacidad de arrastre y puede alterar la calidad del producto final.

La cúspide de la curva parabólica señala el equilibrio ideal entre presión y carga de materia. Este equilibrio es crucial para optimizar el consumo de energía y maximizar la recuperación de los compuestos volátiles, especialmente en procesos de extracción de aceites esenciales.

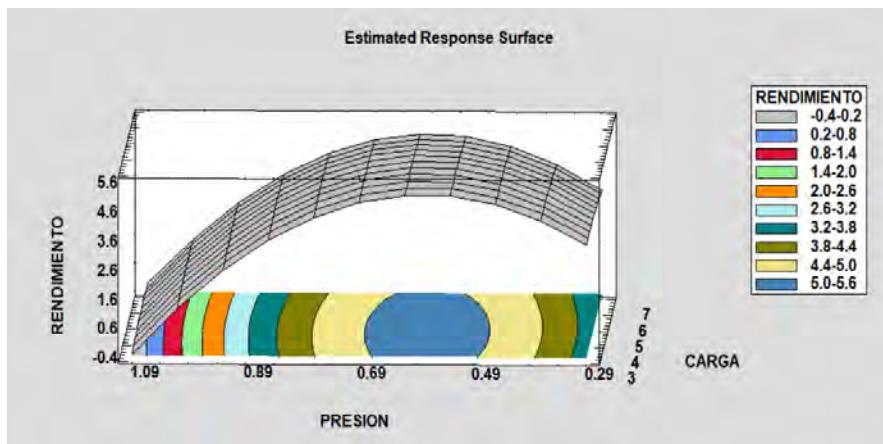
Comprender esta curva permite ajustar los parámetros operativos de presión y carga de materia prima para lograr la máxima eficiencia del proceso sin comprometer la

calidad del producto. Además, contribuye a diseñar sistemas de destilación más sostenibles y económicamente viables.

Seguidamente se procedió a generar el diagrama de superficie 3D y se determinara el modelo termodinámico asociado.

Figura 19

Diagrama de respuesta superficie y contornos



El diagrama de superficie de respuesta 3D muestra a los rendimientos en porcentaje obtenidos y su variación con los niveles codificados de la carga de fruto maduro de molle (A) y el de la presión de vapor (B).

Como se aprecia existe una curvatura significativa en la dirección de la presión, confirmando el fuerte efecto cuadrático observado en la ANOVA. El rendimiento en porcentaje mayor parece encontrarse en niveles intermedios de presión y carga, lo cual es típico.

El modelo matemático propuesto, por el estadístico Statgraphics 19, a partir de los resultados obtenidos es el siguiente:

$$\text{RENDIMIENTO} = -1.938 + 0.181 A + 23.302 B - 0.031 A^2 + 0.181 AB - 20.75 B^2$$

De la cual se dice que:

A: corresponde a la carga de materia (kg)

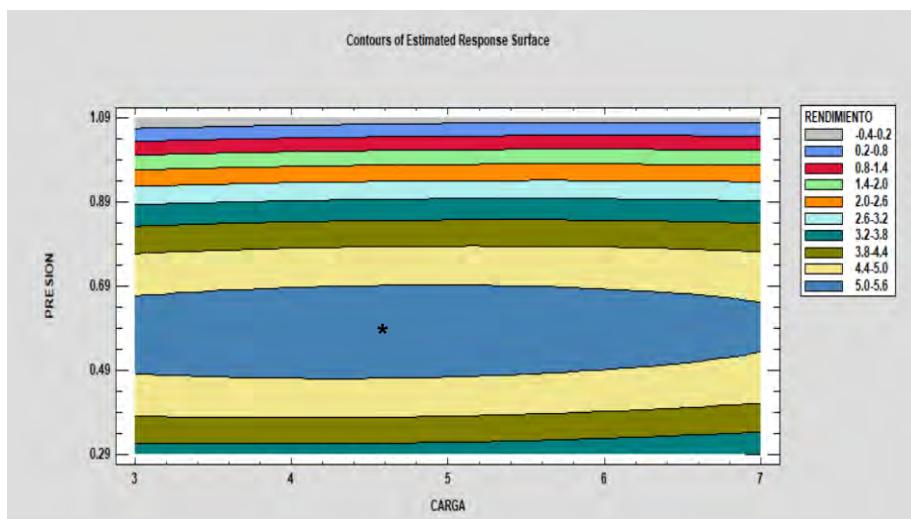
B: corresponde a la presión de vapor (atm).

El R^2 obtenido a partir del modelo matemático es del 98.966%, también se logró calcular un R^2 ajustado con el valor de 98.4029% y un error estándar de 0.118065; estos datos muestran con cuanta certeza se realizaron las corridas en el equipo de destilación por arrastre de vapor.

Este modelo matemático representa que existen condiciones operativas óptimas. El rendimiento se ve afectado por la presión de forma no lineal, sugiriendo efectos de inhibición o saturación. La carga también muestra una respuesta con máximo local. La interacción positiva indica que el efecto de una variable depende del nivel de la otra. También fue posible reconocer punto óptimo de extracción del aceite esencial de molle, esto se puede observar a través del diagrama de los contornos de la superficie de respuesta estimada.

Figura 20

Diagrama de contornos de la extracción de aceite esencial de molle



Nota: *corresponde al valor del punto óptimo obtenido de la extracción de aceite esencial de molle.

Como se nota en la Figura 20, la leyenda del diagrama de contorno muestra los intervalos de obtención del rendimiento, mismos que coinciden con los obtenidos en las corridas de extracción de aceite esencial de molle. Cada región coloreada representa a un intervalo de respuesta obtenida; la región más alejada de la óptima es la de color plomo esta indica que los resultados probables oscilaran entre -0.4 hasta 0.2 de eficiencia. La región celeste mostrara resultados entre 0.2 a 0.8; la región de color rojo mostrara resultados entre 0.8 a 1.4 de eficiencia y así progresivamente hasta llegar a la región azul la cual contempla al punto óptimo donde se alcanza el mayor rendimiento en porcentaje.

El menor rendimiento en porcentaje se encuentra dentro de la región de color plomo, intervalo de -0.4 hasta 0.2, mientras que la región con el mayor porcentaje de rendimiento, intervalo de 5.0 – 5.6, es la de color azul; dentro de esta se observa el punto óptimo marcado para alcanzar el máximo valor del rendimiento, que en este caso vienen a ser 5.38%.

Tabla 13.

Punto Óptimo de extracción de aceite esencial del molle

PREDICTION	LOWER 95% LIMIT	UPPER 95.0% LIMIT	
5.25271	5.11854	5.38688	
FACTOR	BAJO	ALTO	ÓPTIMO
A: CARGA	3.0	7.0	4.58554
B: PRESION	0.29	1.09	0.581513

Los valores óptimos codificados obtenidos con el estadístico Statgraphics fueron:

- Carga (A): 4.5855
- Presión (B): 0.5815
- Rendimiento máximo estimado: 5.253%

Estos valores están dentro del rango experimental, por lo tanto, el modelo es válido para esta predicción. Viturro (2010) muestra los rendimientos alcanzados por parte de planta para el molle considerando que se usaron frutos maduros y su alcance máximo es de 5.2% a 5.6%. Para la investigación realizada se obtuvo un 5.33 de rendimiento en porcentaje experimental y a su vez validado por un rendimiento en porcentaje estadístico de 5.253, en otras palabras, el porcentaje alcanzado es muy próximo habitualmente estudiados.

4.4. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL

Para ello, se sometió a 20ml de muestra de aceite esencial a cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC-MS). Esta prueba se realizó en las instalaciones del laboratorio de Ensayo e Investigación SLab, con dirección en la Urb. Vipol de Naranjal Calle 22 Mz Elote7 San Martín de Porres, Lima.

El análisis del aceite esencial extraído mediante destilación por arrastre de vapor del molle mostró que el α -phelandrene fue el compuesto mayoritario, representando el 30.548% de la composición total. Este resultado indica que es un método adecuado para separar compuestos volátiles como el α -phelandrene, que tiene alta volatilidad y estabilidad térmica. La técnica permitió obtener un aceite esencial con alta pureza y

retención de los compuestos aromáticos característicos del molle, ya que este es uno de los principales responsables de las propiedades organolépticas (aroma y sabor).

Los datos obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 14.

Resultados obtenidos de los componentes del aceite esencial de molle

COMPONENTE IDENTIFICADO	TIEMPO DE RETENCIÓN, (Min)	PORCENTAJE RELATIVO (%)
B-PINENE	5.55	5.967
ALPHA-PHELLANDRENE*	5.69	13.151
BETA-PHELLANDRENE	5.81	16.324
BETA-MYRCENE	6.06	1.544
GAMMA-TERPINENE	6.21	7.889
ALPHA-PHELLANDRENE**	6.46	30.548
CARVENONE	7.8	1.203
2-CYCLOHEXEN-1-ONE, 4-(1-METHYLETHYL)-	7.97	2.184
CIS-MYRTANOL	8.53	2.417
CYCLOHEXENE, 4-METHYLENE-1-(1-METHYLETHYL)	12.65	3.674
GUAIA-9,11-DIENE	12.9	0.439
TRANS-ALPHA -BERGAMOTENE	13.61	6.871
GERANILO-ALPHA-TERPINENE	13.79	6.715
BIS(2-ETHYLHEXYL) PHTHALATE	17.63	1.074

*: compuesto químico corresponde al (+) α-phellandrene en dirección dextrógiro, es decir en sentido horario.

**: compuesto químico corresponde al (-) α-phellandrene en dirección levógiro, es decir en sentido antihorario.

Este resultado coincide con estudios previos que reportan al α-phelandrene como un componente principal en aceites esenciales derivados de especies del género

Schinus. Tal como menciona Zeng Yueqin (2007) y Viturro (2014), los frutos contienen aceite esencial de 3 a 5%, donde predominan componentes como el α- y β-felandreno; en este caso, las cantidades obtenidas son de 30.54% y 13.51%.

En la Tablas 15 y 16 mencionan los componentes identificados en relación a su porcentaje de obtención (alto/bajo).

Tabla 15.

Componentes mayoritarios presentes en el aceite esencial de molle

Componente	% Relativo	Interpretación
ALPHA-PHELLANDRENE	30.548	Monoterpeno cíclico con propiedades antimicrobianas y aroma característico.
BETA-PHELLANDRENE	16.324	Presente en cítricos y menta; efecto antifúngico y antioxidante.
ALPHA-PHELLANDRENE	13.151	Possible duplicación; verificar si corresponde al mismo isómero.
GAMMA-TERPINENO	7.889	Compuesto con capacidad antioxidante y antiinflamatoria.
TRANS-ALPHA-BERGAMOTENE	6.871	Sesquiterpeno aromático; potencial repelente.
GERANYL-ALPHA-TERPINENE	6.715	Aporta al aroma; posible acción antibacteriana.
BETA-PINENE	5.967	Propiedades broncodilatadoras, antisépticas y antiinflamatorias.

Según Santos-Gomes et al. (2005) identificaron al α-phelandrene como el compuesto dominante en aceites esenciales de *Schinus molle* cultivados en climas similares, con valores que oscilaron entre el 28% y 35%, dependiendo de la región de cultivo y las condiciones de extracción. De la misma manera, Tucker et al. (2010)

encontraron que el α -phelandrene constituye entre el 25% y 32% del perfil químico en aceites esenciales de molle extraídos por métodos de destilación. La quiralidad del α -felandreno no proviene de un carbono quiral clásico, sino de la disposición tridimensional de los átomos en la molécula, que permite la existencia de dos enantiómeros: uno dextrógiro (+) y otro levógiro (-), los cuales no son superponibles con su imagen especular (Burt, 2004)

Tabla 16.

Componentes minoritarios presentes en el aceite esencial de molle

Componente	% Relativo	Observaciones
BETA-MYRCENE	1.544	Potencial efecto antiinflamatorio.
CARVENONE	1.203	Cetona con propiedades antimicrobianas.
2-CYCLOHEXEN-1-ONE,4-(1-METHYLETHYL)-	2.184	Aporta aroma al aceite.
CIS-MYRTANOL	2.417	Alcohol terpélico usado en cosmética.
CYCLOHEXENE,4-METHYLENE-1-(1-METHYLETHYL)	3.674	Compuesto aromático estructural.
GUAIA-9,11-DIENE	0.439	Sesquiterpeno de posible acción sinérgica.
BIS(2-ETHYLHEXYL) PHTHALATE	1.074	Possible contaminante; revisar proceso.

En el aceite esencial de *Schinus molle*, se ha identificado mayoritariamente el enantiómero (S)-(+) α -felandreno, que presenta actividad óptica positiva, lo que influye en la interacción del compuesto con sistemas biológicos como receptores olfativos o enzimas (González, 2018)

Este comportamiento óptico es de gran interés en las aplicaciones farmacológicas, cosméticas y alimentarias, ya que los diferentes enantiómeros pueden poseer distintas actividades biológicas, a pesar de compartir la misma fórmula molecular (Clayden J., 2012).

Estas comparaciones refuerzan que el aceite esencial de molle obtenido en este estudio es representativo y tiene un perfil químico compatible con la literatura, confirmando la relevancia del α -phelandrene como compuesto principal y su potencial para aplicaciones industriales.

4.4.1. PARÁMETROS DE CONTROL DE CALIDAD

Para determinar estos parámetros se evaluaron mediante parámetros físico-químicos básico internacionalmente aceptados, los cuales son la densidad e índice de refracción.

Para la densidad, depende directamente de la composición terpénica del aceite de molle extraído, permite evaluar la presencia de adulterantes o diluyentes, dado que el aceite esencial de molle presenta un valor característico dependiente de su composición.

Según Yuequin (2007), determina la densidad del aceite de molle en un rango de valores de 0.86 a 0.9 g/ml, según sea la procedencia del árbol de molle. Mas el valor hallado experimentalmente, aplicando el método del picnómetro es de 0.888 g/ml.

Figura 21

Determinación de la viscosidad del aceite esencial de molle



Nota. Representa el procedimiento para hallar el valor de la densidad de aceite de molle, método del picnómetro.

Para el índice de refracción considerada como una huella óptica del aceite, es un parámetro óptico sensible a la estructura molecular del aceite esencial usado. Según Llano Arapa (2012) obtiene un índice de refracción que oscila entre 1.470 a 1.479.

En esta investigación, haciendo uso del refractómetro Mettler Toledo se logra un valor de 1.478, tal como se muestra en la Figura 22.

Figura 22

Índice de refracción para el aceite esencial de molle



Los valores de densidad e índice de refracción obtenidos para el aceite esencial de molle se encuentran dentro de los rangos reportados según bibliografía, lo que

permite afirmar que el aceite obtenido presenta un grado de concentración alto y adecuado, pues no evidencia adulteración, validando así el proceso de destilación por arrastre de vapor empleado.

CONCLUSIONES

1. La técnica de destilación por arrastre de vapor permitió obtener un aceite esencial con un rendimiento en porcentaje experimental del 5.33% y un rendimiento en porcentaje estadístico del 5.253%.
2. En la caracterización físico-química de los componentes del fruto maduro del molle se obtuvo los siguientes resultados de humedad 8.37%, de proteína 13.85%, de grasa 6.13%, de ceniza 4.28%, de fibra 18.3% y de carbohidratos 67.37%.
3. El efecto de la presión sobre el rendimiento fue incrementándose desde 0.3 atm a 0.5 atm hasta alcanzar una presión óptima, 0.58 atm con un rendimiento de 5.33%. Posteriormente, el rendimiento de extracción disminuyó hasta 3.02% a una presión de 0.9 atm.
4. La carga de materia no tiene efecto en el rendimiento; más la relación entre la presión y carga de fruto maduro de *Schinus molle* tienen un impacto significativo y real, de acuerdo al diagrama de Pareto.
5. El aceite esencial de molle fue caracterizado por medio de la cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) se identificaron los siguientes componentes, siendo el componente mayoritario el (-) α-phelandrene con un 30.458% siendo uno de los principales responsables de las características organolépticas, también se obtuvo (+) α-phelandrene con un 13.151%, ambos corresponden a enantiómeros.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la recolección de los frutos maduros en los meses desde abril a julio, debido a la estacionalidad del *Schinus molle*, esto preferentemente en las provincias de Cusco, Quispicanchis y Acomayo de la región del Cusco.
- Realizar estudios sobre la composición físico-química del hidrolato de molle (agua obtenida por decantación del aceite esencial) para su aplicación en la industria farmacéutica y cosmética.
- Continuar la investigación ampliando el alcance de la extracción del aceite esencial de molle y promover el valor agregado de la materia prima no solo para la obtención del aceite esencial sino también de otros compuestos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bautista, A. (2020). Obtención de aceite esencial de molle (*schinus molle l.*) Y su evaluación antifúngica sobre *colletotrichum* spp. In vitro. *Universidad Señor de Sipán*, 1-65. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12802/6998>
- Burt, S. (2004). *Essential oils: The antibacterial properties and potential applications in foods a review*. International Journal of Food Microbiology.
- Castro, B. (2018). Rendimiento de aceites esenciales de *Schinus molle L.* según tiempo de secado solar, de los frutos, La Mejorada - Huancavelica. *Universidad Nacional del Centro del Perú*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5529>
- Chang, R. (2005). *Quimica 7ma Edicion*. McGraw-Hill Companies.
- Clayden J., G. N. (2012). *Organic Chemistry (2nd ed.)*. Oxford University Press.
- Colan de la Vega, X., Cipra, J., Montoya, A., Adriano, J., & Móstiga, M. (2019). ¿Existe riesgo de caída de árboles de *Schinus molle* por la presencia de tumores en la ciudad de Lima? *Espacio Y Desarrollo*(34), 175-200. doi:10.18800/espacioydesarrollo.201902.008
- Colina, Á., Contreras, E., Ruíz, J., & Monroy, L. (2022). Comparación de dos métodos de extracción para el aceite esencial de la cáscara de pomelo (*Citrus maxima*). *Revista Ing-Nova*, 1(1), 85-98. doi:10.32997/rin-2022-3729
- Condori, M., & Palomino, G. (2022). Rendimiento y caracterización fisicoquímica del aceite esencial de cilantro extraído por arrastre de vapor en un equipo modular. *Technological innovatios journal*, 1(1), 41-53. doi:10.35622/j.ti.2022.01.003
- Del Carpio, C., Urrunaga, M., Gutierrez, R., & Tomaylla, C. (2022). PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL ACEITE ESENCIAL DE *Citrus jambhiri* (Limón rugoso). *Revista de la sociedad química del Perú*, 88(2), 1-12. doi:10.37761/rsqp.v88i3.403

- Esparza, C., Borja, D., & Brito, H. (2020). Rendimiento en la extracción de aceite esencial de la *Daucus carota*. *Polo del conocimiento*, 5(06), 70-81. doi:10.23857/pc.v5i6.1467
- García, F. (2014). *Efecto del rango de punto de ebullición del éter de petróleo en las características fisicoquímicas del aceite extraído del grano de maní (*Arachis hypogaea* L.)*. Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ciencias Agrarias, Trujillo.
- González, A. G. (2018). Composición química y actividad biológica de aceites esenciales de *Schinus molle* L. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 141-158.
- Gutiérrez, R. (2020). Estudio básico para obtención del aceite esencial de la jacaranda (*Jacaranda mimosifolia* D. Don). *Universidad Mayor de San Andrés*. Obtenido de <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/33078>
- INACAL. (2017). *Norma Técnica Peruana NTP-ISO17034*. Lima.
- Lalangui, G., & Palacios, E. (2021). Inhibitory effect of *Schinus molle* essential oil at different times and concentrations on *Candida albicans*. *RECIMUNDO*, 5(2), 398-406. doi:10.26820/recimundo/5.(2).abril.2021.398-406
- Leonardo Ramos, Y. L. (2022). *Efecto del prensado en frío y extracción termomecánica sobre las propiedades fisicoquímicas del aceite de copra de *Cocos nucifera* "Coco"*. Huancayo: Universidad Peruana los Andes.
- Llanos Arapa, S. K. (2012). *EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE MOLLE (*Schinus molle* L.)*. Tesis, UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN, Tacna, Tacna.
- McCabe, W. S. (2003). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. McGraw-Hill.
- Mendoza, M. (2020). *CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE ORÉGANO COMO AGENTE BIOCONSERVADOR EN ALIMENTOS*. *Universidad, ciencia y tecnología*, 24(105), 54-62. doi:10.47460/uct.v24i105.381
- Mera, L., & Espinoza, A. (2022). Evaluación de la operatividad de una unidad piloto mediante la simulación del proceso de destilación por cargas de orégano para la obtención de su

- aceite esencial. *ESPOL*, 1-120. Obtenido de
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/57570>
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments (9th, ed.)*. John Wiley & Sons.
- Mozo Escalante, C., & Calachahui Luque, Y. (2024). *EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EN LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLAS DE TUNA (*Opuntia ficus-indica*) OBTENIDO MEDIANTE TRES MÉTODOS Y SU CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA*. Cusco.
- Murrieta, U., Medrano, J., Guerra, D., & Valle, S. (2023). Composición de aceite esencial de hojas de Schinus molle L. afectada por el tiempo de extracción y escalamiento del proceso. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 29(2), 25-40.
doi:10.5154/r.rchscfa.2022.04.027
- Olvera, G., Machuca, R., Borja, A., Corona, A., Zaragoza, I., Guadalupe, J., & Jiménez, J. (2021). Xilotecnia de la madera de Schinus molle L. de una plantación forestal comercial en Hidalgo, México. *Madera y bosques*, 27(1). doi:10.21829/myb.2021.2711567
- Oscoco, O. (2019). Actividad insecticida y repelente del aceite esencial de los frutos de molle (Schinus molle L.) en gorgojos (Acanthoscelides obtectus) de frijol (Phaseolus vulgaris L.) en condición de almacenamiento. *Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac*, 1-100. Obtenido de <http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/742>
- Palacios, A., & Castillo, W. (2015). MODELAMIENTO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE Aloysia citriodora Y Schinus molle. *Ingeniería ciencia, tecnología e innovación*, 2(2), 1-24. doi:10.26495/icti.v2i2.254
- Pereira de Menezes, A., Cruvinel, W., Oliveira, J., & Frederico, C. (2020). Efecto antifúngico por el aceite esencial de las hojas y tallos de Schinus molle sobre Aspergillus sp. *Revista Cubana de Farmacia*, 53(3). Obtenido de
<https://revfarmacia.sld.cu/index.php/far/article/view/399>
- Pino Alea, J. A. (2015). *Aceites Esenciales. Química Bioquímica, Producción y Usos*. Universitaria EdUniv.

- Ruiz, J., & Salazar, M. (2021). Composición química y actividad antibacteriana de los aceites esenciales de *Citrus paradisi*, *Juglans neotropica* DIELS, *Schinus molle* y *Tagetes elliptica* Smith. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(3), 228-241.
doi:10.37761/rsqp.v87i3.350
- SA, F. O. (2016). *Aceites Vegetales. Fichas Técnicas*. Lima .
- Santos Gomes, P. (2005). *Chemical Composition and Biological Properties of Essentials Oils of Schinus molle*. Journal of Essential Oil Research.
- Taipe, F., Huaraca, R., Merino, I., Flores, N., Agreda, H., & Quispe, S. (2023). Compuestos bioactivos y actividad antioxidante de aceites esenciales en hojas de plantas medicinales. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 7(21).
doi:10.33996/revistaalfa.v7i21.235
- Tayne, O., Aguirre, L., Ruiz, A., & Ore, F. (2021). Compuestos bioactivos, perfil antioxidante y actividad antimicrobiana del aceite esencial de tagetes erecta y tagetes patula. *Dominio de las ciencias*, 7(5), 451-464. doi:10.23857/dc.v7i5.2260
- Torres Quispe, K. y. (2016). *Actividad Insecticida de los aceites esenciales Eucalyptus globulus, Schinus molle y Cymbopogon citratus sobre el Barreandor del maíz Pagiocerus frontalis (Coleoptera - Curculionidae)*. Cusco.
- Tucker, A. O. (2010). *Volatile Constituents of Schinus molle from South America*. Planta Medica.
- Tupayachi Palomino, A. C. (2024). COMPOSICION QUIMICA Y SU EFECTO ANTIMICROBIANO DEL ACEITE ESENCIAL DE *Citrus limon* (L) Osbeck SOBRE CEPAS DE *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas Aeruginosa* Y *Escherichia coli*. Cusco.
- Ugaz, O. L. (1994). *Investigacion fitoquímica. Metodos en el estudio de productos naturales*. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Valle, K., Paredes, M., Benavides, C., & Basantes, C. (2023). Extracción de aceites esenciales de dos especies forestales y dos especies arbustivas para la determinación de sus

- propiedades en condiciones de laboratorio. *AlfaPublicaciones*, 5(4), 65-85.
doi:10.33262/ap.v5i4.408
- Vega, R. (2019). Actividad antimicrobiana de aceites esenciales obtenidos por dos métodos de extracción diferentes de tres especies vegetales medicinales peruanas frente a *Streptococcus pneumoniae*. *Universidad nacional Agraria La Molina*, 1-76. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4306>
- Velasquez, M. (2021). Efecto antimicrobiano in vitro del aceite esencial de frutos de schinus molle L. (MOLLE) frente a streptococcus mutans y candida albicans. *Universidad Nacional San Agustin de Arequipa*, 1-81. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12773/13616>
- Villamizar, M., & Aular, Y. (2022). Métodos de extracción del aceite esencial de lippia alba. *Revista Ingeniería UC*, 29(1), 3-14. doi:10.54139/revinguc.v29i1.90
- Viturro, C. B. (2010). Normalización de productos naturales obtenidos de especies de la flora aromática latinoamericana - Problemática Schinus en Latinoamérica. *Proyecto CYTED IV.20.*
- Yueqin, Z. (2007). *Identificación y actividad farmacológica de principios de especies antiinflamatorias*. Valencia: University of Valencia.

ANEXOS

**INFORME DE ENSAYO
IE-2024-2197**

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : ALISON CUSIHUAMAN CALLAÑAUPA
ROSALINA FLORES RIBBECK
1.2 RUC o DNI : 74998492 / 23994061
1.3 Dirección : No Precisa

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : ACEITE ESENCIAL
2.2 Muestreado por : CLIENTE (c)
2.3 Número de Muestras : 01
2.4 Fecha de Recepción : 2024-09-10
2.5 Periodo de Ensayo : 2024-09-10 al 2024-09-24
2.6 Fecha de Emisión : 2024-09-26
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-142250-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Identificación de componentes HPLC -MS (Barido cromatográfico)	Cromatografía líquida-espectrometría de masas (LC- MS)

4. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Aceite esencial de frutos maduros de Molle - extraído mediste arrastre de vapor (c)

Nombre del Proyecto: Evaluación del rendimiento en el proceso de extracción del fruto maduro de molle (SHINNUS MOLLE) del distrito de Saylla región Cusco por destilación de arrastre de vapor. (c)



Diego Romano Vergaray
DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

INFORME DE ENSAYO IE-2024-2197

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS EN IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTE

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS DE COMPONENTES

Código de Laboratorio	Componente Identificado	Tiempo de Retención, min	Porcentaje relativo %
S-4016	BETA-PINENE	5.55	5.967
	ALPHA-PHELLANDRENE	5.69	13.151
	BETA-PHELLANDRENE	5.81	16.324
	BETA-MYRCENE	6.06	1.544
	GAMMA.TERPINENE	6.21	7.889
	ALPHA-PHELLANDRENE	6.46	30.548
	CARVENONE	7.80	1.203
	2-CYCLOHEXEN-1-ONE,4-(1-METHYLETHYL)-	7.97	2.184
	CIS-MYRTANOL	8.53	2.417
	CYCLOHEXENE, 4METHYLENE-1-(1-METHYLETHYL)	12.65	3.674
	GUAIA-9,11-DIENE	12.9	0.439
	TRANS-ALPHA-BERGAMOTENE	13.61	6.871
	GERANYL-ALPHA-TERPINENE	13.79	6.715
	BIS(2-ETHYLHEXYL) PHTALATE	17.63	1.074

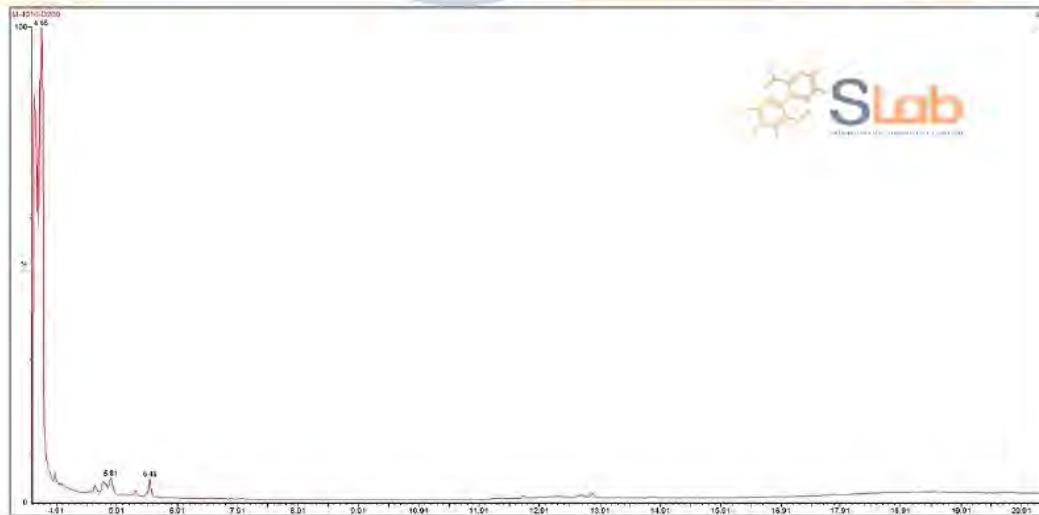


Figura N°1: CROMATOGRAFIA DE LA MUESTRA EVALUADA

INFORME DE ENSAYO IE-2024-2197

Leyenda

(c) Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra como se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

FIN DE DOCUMENTO



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS**

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



**UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA**

INFORME DE ANÁLISIS

Nº0200-24-LAQ

SOLICITANTE : ALISON CUSIHUAMAN CALLAÑAUPA
ROSI FLORES RIBBECK
MUESTRA : FRUTO MADURO DE MOLLE
PROVINCIA : CUSCO
REGION : CUSCO
FECHA : C/06/06/2024

RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:

Humedad %	8,37
Proteína %	13,85
Grasa %	6,13
Ceniza %	4,28
Fibra %	18,30
Carbohidratos %	67,37

Métodos: AOAC 964.22, AOAC 955.04, AOAC 920.39, AOAC 942.05, y AOAC 962.09

Cusco, 20 de Junio 2024



Certificado



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en el marco
de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Acreditación a:

SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C.

Laboratorio de Ensayo

En su sede ubicada en: Calle 22 Mz E Lt 7 Urbanización Vipol de Naranjal, distrito de San Martín de Porres, provincia y departamento de Lima

Con base en la norma

NTP-ISO/IEC 17025:2017 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número de registro indicado líneas abajo.

Fecha de Acreditación: 21 de julio de 2023

Fecha de Vencimiento: 20 de julio de 2026



Firmado digitalmente por AGUILAR
RODRIGUEZ Lidia Patricia FAU
20600283015 soft
Fecha: 2023-08-18 08:52:23
Motivo: Soy el Autor del Documento

PATRICIA AGUILAR RODRIGUEZ
Directora (d.t.) Dirección de Acreditación - INACAL

Fecha de emisión: 15 de agosto de 2023

Cédula: N°: 228-2023-INACAL/DA
Contrato N°: 039-2023/INACAL-DA
Registro N°: LE-211

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y cédula de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web www.inacal.gob.pe/acreditacion/categorial/acreditados y/o a través del código QR al momento de hacer uso del presente certificado.

La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo (MLA) de Inter American Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

DA-acr-01P-02M Ver. 03

