UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE QUÍMICA

TESIS

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE *Mentha x piperita* var. citrata PROCEDENTE DE TRES PISOS ECOLÓGICOS Y SU EFECTO INSECTICIDA SOBRE *Linepithema sp.*

PRESENTADO POR:

Br. RONY ROSHIEL HUILLCACURI CRUZ

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE QUÍMICO

ASESOR

Dr. LEONCIO SOLIS QUISPE

CUSCO – PERÚ

2026

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

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

El que suscribe, el **Asesor** Dr. LEONCIO SOLIS QUISPE ..... quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesistitulada: EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE Mentha x piperita var. citrata PROCEDENTE DE TRES PISOS ECOLÓGICOS Y SU EFECTO INSECTICIDA SOBRE Linepithema sp.

Presentado por: Rony Roshiel Huillcacuri Cruz ..... DNI N° 47388885 .....;
presentado por: ..... DNI N°: .....
Para optar el título Profesional/Grado Académico de Química .....

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 1 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del ***Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC*** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 9 **%.**

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, 17 de SETIEMBRE de 2026

.....
Firma

Post firma Dr. LEONCIO SOLIS QUISPE

Nro. de DNI 23827496

ORCID del Asesor 0000-0001-9979-8596

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:625645106

RONY ROSHIEL HUILLCACURI CRUZ

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE Mentha x piperita var. citrata PRO...

Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::27259:625645106

Fecha de entrega
17 sep 2026, 7:30 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
17 sep 2026, 8:12 a.m. GMT-5

Nombre del archivo
TESIS FINAL (1).pdf

Tamaño del archivo
4.4 MB

149 páginas

29.488 palabras

168.449 caracteres

9% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 12 palabras)
- Trabajos entregados

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

9% Fuentes de Internet
1% Publicaciones
0% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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.

DEDICATORIA

A dios, por dar la fuerza necesaria para culminar este trabajo de investigación con éxito durante la etapa importante de mi formación profesional.

A mis padres Celso y Martina, quienes con su amor y apoyo incondicional han estado a largo de los años de estudio. Dedico este trabajo de investigación de tesis con todo amor y gratitud que ellos han sido mi inspiración y motivo para alcanzar uno de mis logros más importante en mi vida profesional.

A mis hermanos: Vilma, Fredy, Roger y Gladio Luz a quienes agradezco por su apoyo y motivación constante. A mi compañera de vida Natali, por brindarme su apoyo constante y ser mi referente para lograr mis metas tan anhelados para convertirse en realidad.

A mis familiares por sus consejos y motivación, a mis tíos(as), primos(as) agradecerles por estar juntos durante este proceso para el logro de mi objetivo propuesto.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios por brindarme la fortaleza, perseverancia y salud para culminar este trabajo de investigación.

Expreso mis sinceros agradecimientos a mis padres y familiares, quienes me brindaron su apoyo incondicional durante mi etapa de formación profesional.

Asimismo, agradezco a mi asesor de tesis al Dr. Leoncio Solís Quispe por su orientación, paciencia y valiosos conocimientos compartidos durante el desarrollo del presente trabajo de investigación, también de igual manera al Dr. Ciro Tomaylla por valioso conocimiento y tiempo durante la etapa de investigación.

A las dictaminantes, Dra. Yolanda Callo Choquevilca y Mgt. Nazaria Julieta Valencia Farfan, por su valioso tiempo, correcciones y exigencias para poder terminar y dar contenido adecuado de este trabajo de investigación.

Finalmente, agradezco a la universidad, a los docentes, compañeros y amigos que contribuyeron en mi formación académica y profesional.

ÍNDICE

DEDICATORIA ..... **i**
AGRADECIMIENTO ..... **ii**
ÍNDICE ..... **iii**
ÍNDICE DE TABLAS ..... **vi**
ÍNDICE DE FIGURAS ..... **vii**
ÍNDICE DE ANEXO ..... **viii**
LISTAS DE ABREVIATURAS ..... **ix**
RESUMEN ..... **x**
ABSTRAC ..... **xi**
INTRODUCCIÓN ..... **xii**

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA **1**
1.1. DESCRIPCIÓN DE PROBLEMA 1
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA 3
1.2.1. PROBLEMA GENERAL 3
1.2.2. PROBLEMAS ESPECIFICOS 3
1.3. OBJETIVOS 4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL 4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS 4
1.4. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION 5

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO **6**
2.1. ANTECEDENTES 6
2.2. BASES TEÓRICAS 15
2.2.1. CLASIFICACIÓN BOTÁNICA DE *Mentha x piperita var. citrata* 15
2.2.2. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA 16
2.2.3. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA 17
2.2.4. USOS ETNOBOTÁNICOS 18
2.3. ACEITES ESENCIALES 18
2.3.1. USOS DE LOS ACEITES ESENCIALES 18
2.3.2. TIPOS DE ACEITES ESENCIALES 20

2.3.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMPOSICIÓN Y EL RENDIMIENTO DE LOS ACEITES ESENCIALES 20
2.3.4. MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE ACEITES ESENCIALES 25
2.3.5. CONSIDERACIONES PARA TRATAMIENTO DE LA MUESTRA 28
2.3.6. FACTORES PARA LA DESTILACIÓN DEL ACEITE ESENCIAL 30
2.3.7. CARACTERÍSTICAS DE LOS ACEITES ESENCIALES 31
2.3.8. DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LOS ACEITES ESENCIALES 35
2.4. CROMATOGRAFÍA DE GASES 36
2.4.1. VENTAJAS DE LA CROMATOGRAFÍA DE GASES 37
2.4.2. DESVENTAJAS DE LA CROMATOGRAFÍA DE GASES 37
2.5. ESPECTROMETRÍA DE MASAS 38
2.6. ACOPLAMIENTO CROMATOGRAFÍA DE GASES-ESPECTROMETRÍA DE MASA 41
2.7. INSECTICIDAS 43
2.8. REPELENTES 47
2.9. INSECTICIDAS DE ORIGEN BOTÁNICO 48
2.10. EFECTO TÓXICO DE LOS INSECTICIDAS 49
2.11. PRINCIPALES MÉTODOS DE APLICACIÓN DE INSECTICIDAS 50
2.12. CLASIFICACIÓN SISTEMÁTICA DE INSECTO *Linepithema sp* 54
2.12.1. DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA 54
2.13. ACCIÓN FISIOLÓGICA DE ACEITES ESENCIALES FRENTE A INSECTOS 55
2.14. PISOS ECOLÓGICOS DE LA REGION CUSCO 57
2.14.1. COMPOSICIÓN DE LOS ACEITES ESENCIALES Y LOS PISOS ECOLÓGICOS 59
2.15. HIPOTESIS 61
2.15.1. VARIABLES 62
2.15.2. VARIABLES INTERVINIENTES 62

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL 63

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN 63
3.2. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO 64
3.2.1. MATERIALES, INSTRUMENTOS, EQUIPOS Y REACTIVOS 64
3.2.2. MUESTREO DE LA ESPECIE VEGETAL 67
3.2.3. EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL 71
3.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL ACEITE ESENCIAL 72

3.3.1. PRUEBA DE SOLUBILIDAD 72
3.3.2. DETERMINACIÓN DE DENSIDAD RELATIVA 72
3.3.3. ÍNDICE DE REFRACCIÓN 74
3.3.4. DETERMINACIÓN DE LA ROTACIÓN ÓPTICA 74
3.3.5. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ACIDEZ 75
3.3.6. DETERMINACIÓN DE ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN 76
3.3.7. DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA 78
3.4. DETERMINACIÓN DEL EFECTO INSECTICIDA 79
3.4.1. RECOLECCIÓN DE INSECTOS 79
3.4.2. EFECTO INSECTICIDA 79

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN 84
4.1 EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL 84
4.2 PRUEBAS DE SOLUBILIDAD DEL ACEITE ESENCIAL DE *Mentha x piperita* var. citrata 86
4.3 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL ACEITE ESENCIAL DE *Mentha x piperita* var. citrata .. 87
4.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE *Mentha x piperita* var. citrata 90
4.5 EFECTO INSECTICIDA DEL ACEITE ESENCIAL DE Mentha x piperita var. citrata 102
4.5.1 CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50}) 102
CONCLUSIONES 109
SUGERENCIAS 111
BIBLIOGRAFÍA 112
ANEXOS 118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Usos y aplicaciones de los aceites esenciales en distintas industrias..... 19*

Tabla 2 *Diseño experimental de efecto insecticida del aceite esencial de Mentha x piperita var. citrata sobre los insectos Linephitema sp..... 80*

Tabla 3 *Porcentaje de rendimiento del aceite esencial..... 84*

Tabla 4 *Análisis de varianza (ANOVA) para el rendimiento del aceite esencial de Mentha x piperita var. citrata procedente de tres pisos ecológicos..... 86*

Tabla 5 *Resultado de pruebas solubilidad de los aceites esenciales 87*

Tabla 6 *Características fisicoquímicas del aceite esencial de Mentha x piperita var. citrata ... 88*

Tabla 7 *Composición química del aceite esencial de Mentha x piperita var. citrata procedente de tres pisos ecológicos con mayor porcentaje de abundancia..... 94*

Tabla 8 *Concentración letal media (CL_{50}) del aceite esencial de Mentha x piperita de Chamaca sobre insectos Linepithema sp. 103*

Tabla 9 *Concentración letal media (CL_{50}) del aceite esencial de Mentha x piperita de San Pedro sobre insectos de Linepithema sp. 104*

Tabla 10 *Concentración letal media (CL_{50}) del aceite esencial de Mentha x piperita de Ccorao sobre insectos de Linepithema sp. 105*

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Mentha x piperita var. citrata* *17*
Figura 2 *Monoterpenos de aceites esenciales*..... *23*
Figura 3 *Sesquiterpenos de aceites esenciales* *24*
Figura 4 *Compuestos aromáticos de aceites esenciales*..... *25*
Figura 5 *Mecanismo de saponificación de un éster en medio básico*..... *35*
Figura 6 *Sistema de cromatografía de gases.*..... *38*
Figura 7 *Sistema de espectrometría de masas.*..... *41*
Figura 8 *Sistema de Cromatografía de Gases acoplado a Espectrometría de Masas* *43*
Figura 9 *Estructuras químicas de insecticidas comúnmente utilizados.* *44*
Figura 10 *Organoclorados*..... *45*
Figura 11 *Carbamatos.* *46*
Figura 12 *Repelentes comunes más utilizados*..... *48*
Figura 13 *Insectos de Linepithema sp.* *55*
Figura 14 *Ubicación geográfica de Distrito de Chamaca Provincia de Chumbivilcas - Cusco* *67*
Figura 15 *Ubicación geográfica de Ccorao del distrito de San Sebastián - Cusco*..... *68*
Figura 16 *Ubicación geográfica de Distrito de San Pedro Provincia de Canchis - Cusco*..... *69*
Figura 17 *Cromatograma GC-MS del AE de Mentha x piperita var. citrata de Chamaca (3875 msnm).*..... *91*
Figura 18 *Cromatograma GC-MS del AE de Mentha x piperita var. citrata de Ccorao (3620 msnm).*..... *91*
Figura 19 *Cromatograma GC-MS del AE de Mentha x piperita var. citrata de San Pedro (3490 msnm).*..... *92*
Figura 20 *Espectro de masa de Mentol.* *96*
Figura 21 *Espectro de masa de Mentona*..... *99*
Figura 22 *Porcentaje de mortalidad de insectos Linipithema sp a diferentes concentraciones de Mentha x piperita var. Citrata de Chamaca.*..... *103*
Figura 23 *Porcentaje de mortalidad de insectos Linipithema sp a diferentes concentraciones de Mentha x piperita var. Citrata de San Pedro.* *104*
Figura 24 *Porcentaje de mortalidad de insecto Linipithema sp a diferentes concentraciones de Mentha x piperita var. citrata.*..... *105*

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1 *Zona de muestreo de Mentha x piperita var. citrata de los tres pisos ecológicos. 118*

Anexo 2 *Preparación de muestra y obtención de aceite esencial de Mentha x piperita var. citrata. 119*

Anexo 3 *Caracterización Fisicoquímica del aceite esencial de Mentha x piperita var. citrata. 120*

Anexo 4 *Determinación de la composición química del aceite esencial de Mentha x piperita var. citrata 121*

Anexo 5 *Determinación de efecto insecticida del aceite esencial de Mentha x piperita var. citrata sobre los insectos de la especie Linepithema sp. 122*

Anexo 6 *Constancia de identificación de la muestra de insectos de la especie Linepithema sp. 123*

Anexo 7 *Constancia de Identificación taxonómica de la especie de Mentha x piperita var. citrata. 124*

Anexo 8 *Composición química del AE de Mentha x piperita var. citrata de Chamaca (3875 msnm). 125*

Anexo 9 *Composición química del AE de Mentha x piperita var. citrata de Ccorao (3620 msnm). 126*

Anexo 10 *Composición química del AE de Mentha x piperita var. citrata de San Pedro (3490 msnm). 127*

Anexo 11 *datos por triplicado de determinación de características fisicoquímica del aceite esencial Mentah x piperita var. citrata de los tres pisos ecológicos. 129*

Anexo 12 *Efecto insecticida del aceite esencial de Mentha x piperita var. citrata sobre los insectos adultos de Linepithema sp, de Chamaca 130*

Anexo 13 *Efecto insecticida del aceite esencial de Mentha x piperita var. citrata sobre los insectos adultos de Linepithema sp, de Ccorao 131*

Anexo 14 *Efecto insecticida del aceite esencial de Mentha x piperita var. citrata sobre los insectos adultos de Linepithema sp, de San Pedro 132*

Anexo 15 *Cálculos realizados para la determinación de CL50 de efecto insecticida de los tres pisos ecológicos por BioStat 2009 Profesional 5.8.1 ..... 133*

Anexo 16 *Operacionalización de variables de la investigación 135*

LISTAS DE ABREVIATURAS

AE: Aceite esencial.

AChE: Acetil colinesterasa.

CG-MS: Cromatografía de Gases – Espectrometría de Masas.

CL_{50}: Concentración letal media.

CE: Concentración efectiva.

CCF: Cromatografía capa fina

DL_{50}: Dosis letal media.

DE: Dosis efectiva.

IS: Índice de saponificación.

IR: infrarrojo

GST: Glucosa s – transferasa.

m.s.n.m.: Metros sobre el nivel del mar.

NTP: Normas técnicas peruanas.

OMS: Organización mundial de salud.

OC: Organoclorados.

ppm: Partes por millón.

PE: porcentaje de extracción.

Q.P.: Reactivo grado químicamente puro.

RMN: Resonancia magnética nuclear.

var.: variedad

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar comparativamente la composición química del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. *citrata* procedente de tres pisos ecológicos y determinar su efecto insecticida sobre *Linepithema* sp. Las muestras fueron recolectadas en Chamaca (3875 m.s.n.m.), Ccorao (3620 m.s.n.m.) y San Pedro (3490 m.s.n.m.), del departamento de Cusco. El aceite esencial se obtuvo mediante hidrodestilación con trampa de Clevenger; la composición química se determinó mediante Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas (GC-MS).

Los rendimientos obtenidos fueron 0.28 %, 0.31 % y 0.43 % para Chamaca, Ccorao y San Pedro, respectivamente. En las características fisicoquímicas se obtuvieron densidades de 0.8947, 0.8946 y 0.8949 g/mL; índices de refracción de 1.4572, 1.4598 y 1.4573 nD; rotaciones ópticas de 0.3128, 0.3151 y 0.3164; índices de acidez de 1.9512, 1.9510 y 1.9513 mg KOH/g; e índices de saponificación de 51.12, 50.25 y 52.99 mg KOH/g, respectivamente. La composición química mostró diferencias entre localidades; el mentol fue el componente mayoritario, con 72.07 % en Chamaca, 51.82 % en Ccorao y 41.79 % en San Pedro. También se identificaron mentona, cloroformiato de L-mentilo, D-limoneno, pineno, acetato de mentol y eucaliptol, se observó un mayor contenido de mentol a mayor altitud.

Los aceites esenciales presentaron actividad insecticida sobre *Linepithema* sp., con valores de CL_{50} de 0.18 %, 0.17 % y 0.16 % para Chamaca, Ccorao y San Pedro, respectivamente. Asimismo, se alcanzó 100 % de mortalidad a 0.50 % de concentración después de 12 horas de exposición.

Palabras clave: Aceite esencial, *Mentha x piperita* var. citrata, Composición química, Actividad insecticida, *Linepithema* sp.

ABSTRAC

The present research aimed to comparatively evaluate the chemical composition of the essential oil of *Mentha x piperita* var. citrata from three ecological zones and determine its insecticidal effect on *Linepithema sp*. The samples were collected in Chamaca (3875 m.s.n.m), Ccorao (3620 m.s.n.m), and San Pedro (3490 m.s.n.m), in the Cusco department. The essential oil was obtained through hydrodistillation with a Clevenger trap; the chemical composition was determined using Gas Chromatography coupled with Mass Spectrometry (GC-MS).

The yields obtained were 0.28%, 0.31%, and 0.43% for Chamaca, Ccorao, and San Pedro, respectively. In the physicochemical characteristics, densities of 0.8947, 0.8946, and 0.8949 g/mL were obtained; refractive indices of 1.4572, 1.4598, and 1.4573 nD; optical rotations of 0.3128, 0.3151, and 0.3164; acidity indices of 1.9512, 1.9510, and 1.9513 mg KOH/g; and saponification indices of 51.12, 50.25, and 52.99 mg KOH/g, respectively. The chemical composition showed differences between locations; menthol was the major component, with 72.07% in Chamaca, 51.82% in Ccorao, and 41.79% in San Pedro. Menthone, menthyl chloroformate, D-limonene, pinene, menthol acetate, and eucalyptol were also identified; a higher menthol content was observed at higher altitudes.

The essential oils exhibited insecticidal activity against Linepithema sp., with CL_{50} values of 0.18%, 0.17%, and 0.16% for Chamaca, Ccorao, and San Pedro, respectively. Likewise, 100% mortality was achieved at a 0.50% concentration after 12 hours of exposure.

Keywords: Essential oil, *Mentha x piperita* var. citrata, Chemical composition, Insecticidal activity, *Linepithema sp*

INTRODUCCIÓN

En años recientes, la investigación de las plantas medicinales, especialmente las plantas aromáticas, ha permitido el hallazgo de una extensa variedad de propiedades no solo medicinales, sino también sus diversas características como industriales, cosméticas y alimentarias (Sabini, Menis, & Beoletto, 2019).

La familia *Lamiaceae* cuenta con diversas especies, siendo *Mentha x piperita* var. citrata. una de las más destacadas. Esta especie se desarrolla en algunas regiones de Asia y América Latina, así como en las zonas de Ayacucho, Cusco y otros departamentos del Perú. Tiene un valor económico elevado debido a su sabor, aroma, características medicinales, insecticidas y en el ámbito cosmético. El aceite esencial de esta especie se utiliza como insumo en diversas áreas como perfumería, aromaterapia, cosmética, fototerapia, especias y alimentación (Huamani, 2024).

Los aceites de plantas esenciales son sustancias aromáticas volátiles, en su mayoría terpenoides, fenilpropanoides, monoterpenos, sesquiterpenos y alcoholes. Estos poseen una extensa variedad de actividad insecticida, antimicrobiana y antioxidante. La aplicación de aceites esenciales de clavo, eucalipto, menta, romero, orégano y canela puede resultar beneficiosa para las colmenas. La utilización de estos productos naturales puede disminuir la contaminación ambiental, dado que los insecticidas sintéticos causan perjuicios, e incentivando la utilización en el hogar de estos productos (Reyna-Fuentes, 2021).

La aplicación de aceites esenciales ha probado su eficacia en la eliminación de insectos perjudiciales, preservando el medio ambiente dado que no dejan restos tóxicos en el terreno, el agua y los alimentos. Algunos aceites esenciales han sido valorados por sus características

repelentes e insecticidas. La característica se fundamenta mayormente en el efecto sinérgico de sus componentes (Cayuela, 2018).

El objetivo de este estudio fue evaluar comparativamente la composición química de los aceites esenciales de *Mentha x piperita* var. citrata procedente de tres pisos ecológicos y analizar la influencia de dicha composición en su efecto insecticida sobre los insectos de la especie *Linepithema sp*, La variada flora autóctona en nuestra zona de Cusco nos brindó la oportunidad de llevar a cabo este análisis, recolectando las hojas y tallos de esta especie.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE PROBLEMA

En la actualidad, existe un creciente interés por la búsqueda de alternativas de origen vegetal para el control de insectos, debido a las preocupaciones relacionadas con el uso continuo de determinados productos sintéticos y sus posibles efectos perjudiciales sobre la salud humana y el ambiente. En este contexto, los aceites esenciales constituyen una alternativa de interés debido a que contienen diversos metabolitos secundarios responsables de actividades biológicas como la antioxidante, repelente e insecticida. Por ello, su estudio puede contribuir a la identificación de nuevas alternativas de origen natural para el manejo de insectos y a la reducción de la dependencia de productos sintéticos (Ochoa, Torres, & Camacho, 2017).

En el departamento del Cusco existe una amplia diversidad de plantas medicinales utilizadas tradicionalmente con diferentes fines terapéuticos. El interés científico por estas especies se relaciona, entre otros aspectos, con la presencia de metabolitos secundarios que pueden presentar diferentes actividades biológicas. Asimismo, los aceites esenciales obtenidos de diversas especies vegetales han sido estudiados por sus posibles aplicaciones como agentes antioxidantes, insecticidas y repelentes, además de sus usos en perfumería, aromaterapia y cosmética (Herrera, Yarasca, & Granara, 2017). En el caso de *Mentha x piperita*, los estudios fitoquímicos han reportado la presencia de metabolitos secundarios, entre ellos terpenoides y compuestos fenólicos (Bucay, 2018), lo que evidencia su interés como fuente de sustancias con potencial actividad biológica.

La especie *Mentha x piperita* var. *citrata* presenta características aromáticas y ha sido empleada tradicionalmente con diferentes fines. Sin embargo, la composición química de los aceites esenciales de origen vegetal puede estar influenciada por factores ambientales, entre ellos las condiciones climáticas, altitud, temperatura, suelo y lugar de procedencia de la planta. En consecuencia, el aceite esencial obtenido de una misma especie vegetal puede presentar diferencias en la proporción de sus componentes químicos cuando la planta procede de diferentes condiciones ecológicas.

En este sentido, se identifica un vacío de conocimiento respecto a la composición química y la actividad insecticida del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. *citrata* procedente de diferentes pisos ecológicos del departamento del Cusco. Asimismo, no se dispone de información suficiente que permita determinar si las diferencias en las condiciones ecológicas de procedencia se relacionan con variaciones en la composición química y en el efecto insecticida del aceite esencial sobre *Linepithema* sp.

Por esta razón, se plantea la necesidad de realizar un estudio comparativo del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. *citrata* procedente de tres pisos ecológicos del departamento del Cusco, mediante la determinación de su composición química y la evaluación de su actividad insecticida sobre *Linepithema* sp. De esta manera, se busca generar información científica que permita establecer las posibles diferencias entre los aceites esenciales provenientes de los tres pisos ecológicos y determinar su potencial como alternativa de origen vegetal para el control de este insecto.

1.2.FORMULACION DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Qué diferencia presenta la composición química del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata procedente de tres pisos ecológicos y cómo influye dichas diferencias en su efecto insecticida sobre los insectos de *Linepithema sp*?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECIFICOS

- ¿Cuál es el porcentaje de extracción del aceite esencial de la especie *Mentha x piperita* var. citrata proveniente de tres pisos ecológicos mediante el equipo de hidrodestilación con trampa de Clevenger?
- ¿Qué diferencias presenta las características fisicoquímicas del aceite esencial de *Mentha x Piperita* var. citrata procedente de tres pisos ecológicos?
- ¿Qué variación presenta la composición química del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata procedente de tres pisos ecológicos?
- ¿Existen diferencia en el efecto insecticida del aceite esencial de *Mentha x piperita* var citrata procedente de tres pisos ecológicos sobre los insectos de *Linepithema sp*?
- ¿Existe relación entre la composición química del aceite esencial de *Mentha x piperita* var citrata procedente de tres pisos ecológicos y su efecto insecticida sobre los insectos de *Linepithema sp?*

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar comparativamente la composición química del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata procedente de tres pisos ecológicos y analizar la influencia de dicha composición en su efecto insecticida sobre los insectos de *Linepithema sp*.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar el porcentaje de extracción del aceite esencial de la especie *Mentha x piperita* var. citrata procedente de tres pisos ecológicos mediante el equipo de hidrodestilación con trampa de Clevenger.
- Determinar y comparar las características fisicoquímicas del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata procedente de tres pisos ecológicos por técnicas estandarizadas.
- Identificar y comparar la composición química de aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata procedente de tres pisos ecológicos mediante Cromatografía de Gases acoplado a Espectrometría de Masas (GC-MS).
- Determinar el efecto insecticida del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata procedente de tres pisos ecológicos sobre los insectos de *Linepithem*a *sp*.
- Relacionar las variaciones en la composición química del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata procedente de tres pisos ecológicos con su efecto insecticida sobre *Linepithema sp.*

1.4. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

La presente investigación se justifica por la necesidad de ampliar el conocimiento sobre la composición química y el efecto insecticida del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata procedente de tres pisos ecológicos del departamento del Cusco. Esta información permitirá comprender la influencia del piso ecológico sobre la composición y su actividad insecticida.

El uso de aceite esencial constituye una alternativa al empleo de insecticidas sintéticos, los cuales pueden generar efectos negativos sobre el ambiente debido a su persistente y limitada biodegradabilidad. En este contexto, los aceites esenciales presentan una opción de origen natural con potencial insecticida para el control de insectos como *Linepithema sp*.

Los resultados de esta investigación contribuirán al conocimiento científico sobre el potencial insecticida del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata, proporcionando información que podrá servir como base para el desarrollo de alternativas de control biológico y para futuras investigaciones.

La investigación busca establecer la relación entre la composición química del aceite esencial y su efecto insecticida en muestra procedente de tres pisos ecológicos del departamento del Cusco. Esta información es relevante para el desarrollo de estrategia sostenibles de control de insectos como *Linepithema sp.*

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Alibegov et al. (2024) estudiaron variedades de *Mentha x piperita L*, cultivadas a diferentes altitudes de 1100 y 1650 m.s.n.m en suelos idénticos. El objetivo principal fue identificar variabilidad en la composición constitutiva y acumulación de aceites esenciales en variedades de *Mentha Piperita L*. La metodología utilizada en la investigación fue destilación hidrotermal para obtener aceite esencial y GC-MS para determinar la composición del aceite esencial. El resultado fue que identificaron 58 componentes (11 principales), con composiciones de 95% monoterpenoides y 10,49% sesquiterpenoides. El contenido cuantitativo de aceite esencial dependió significativamente de las condiciones de cultivo. A 1100 m.s.n.m el contenido de aceite esencial fue de 1.55 mL/100 g de muestras, mientras que a 1650 m.s.n.m fue de 1.41 mL/100 g. Esto indica que la obtención de aceite esencial fue más prevalente en altitudes más baja.

Atay et al. (2024) evaluaron la actividad insecticida de contacto del aceite esencial de *Mentha piperita L*. contra dos plagas importantes, *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) y *Sitophilus granarius (*Linnaeus, 1758), en un ambiente de laboratorio controlado. Se aplicaron concentraciones de 0,05, 0,1 y 0,15 µL/insecto del aceite esencial de la planta a las superficies de las plagas utilizando un micro aplicador. Los insectos murieron a las 24, 48, 72 y 96 horas posteriores a la aplicación. El estudio encontró que el aceite esencial mostraba diferentes niveles de actividad de contacto según la plaga aplicada y la dosis. La dosis más eficaz contra *Tribolium castaneum* fue de 0,15 µL/insecto después de 24 horas con una tasa de mortalidad del 23,6% y 96 horas aumento a 33.4%. El aceite esencial mostró una mayor actividad de contacto contra

Sitophilus granarius, con una tasa de mortalidad del 93,4% de 0.15 µL/insecto después de 24 horas y del 98,2% a las 96 horas. Los resultados sugieren que el aceite esencial de *Mentha piperita* puede usarse para controlar *S. granarius*.

Nuñez (2024) evaluó la actividad antioxidante del aceite esencial de hojas de *Mentha piperita L*. de tres regiones de Ayacucho. Las muestras fueron recolectadas en los distritos de Huamanguilla (3276 ms.n.m), Quinua (3300 m.s.n.m) y Socos (3368 m.s.n.m). El aceite esencial se extrajo mediante el método hidrodestilación de trampa Clevenger. Los resultados de AE mostraron un color ámbar oscuro, un aroma fresco, un sabor agridulce y una textura líquida aceitosa. El aceite tenía una densidad de 0,8932, 0,8952 y 0,8981 g/mL, un índice de refracción de 1,4546, 1,4655 y 1,4492 y un rendimiento de 4,82, 2,85 y 2,56%, respectivamente. El contenido total de fenol fue de 497, 413 y 377 µg GAE/g de aceite esencial. El estudio concluyó que el aceite esencial de *Mentha piperita L* del distrito de Huamanguilla contiene mayor cantidad de compuestos fenólicos y un alto rendimiento de AE y seguido por el distrito de Quinua.

Prasannakumar et al. (2023) evaluaron las propiedades insecticidas de los aceites esenciales de *Ocimum basilicum y Mentha piperita* y sus componentes contra la polilla sudamericana del tomate, *Phthorimaea absoluta*. El resultado fue que AE de *Mentha piperita* mostró la mayor mortalidad (100%) de *Phthorimaea absoluta* debido a aloaromadendreno (27.99%), levomentol (18.31%) y santolina trieno (9.78%) con CL_{50} 1.78 µL/mL. *O. basilicum* también tuvo un efecto significativo sobre la mortalidad (90%) debido a humuleno, alfa farnesense, estragol y 4-cereno con CL_{50} 3,58 µL/mL. Levomentol mostró la mayor mortalidad (100%) con CL_{50} 13,18 µL/mL, seguido de alfa-pineno (100%), con CL_{50} 16,10 µL/mL, 4-cereno (95%) con CL_{50} 38,20 µL/mL y alfa-felandreno (90%) con CL_{50} 46,83 µL/mL. La toxicidad observada en todos los compuestos se

debió a cambios significativos en la actividad de las esteras, glutatión S-transferasa y acetilcolinesterasas a lo largo del tiempo. El estudio sugiere que los aceites esenciales de *O. basilium y M. piperita* podrían proporcionar un enfoque adicional para controlar *Phthorimaea* absoluta frente a insecticidas sintéticos.

Olayemi et al. (2023) determinaron la composición química y el potencial insecticida del aceite esencial de *Mentha Piperita L* en plantas *maculatus* (frijol) y *Sitophilus zeamais* (caoba). Obtuvieron resultados que el aceite esencial rindió 0,78%, identificándose 39 compuestos, que representan el 98,9% de los aceites esenciales. El compuesto más abundante fue el mentol (40,4%), seguido de mentona (12,3%), mentofurano (9,2%), 1,8-cineol (5,6%) y limoneno (5,5%). La tasa de mortalidad fue del 65-94,7% y se registró entre el 60% y el 91,6% para los gorgojos de frijol y del maíz, después de la exposición a 5, 10, 15 y 20 µL de vapor de AE en cámaras fumigantes por 24 horas. En la investigación concluyeron que la actividad insecticida del aceite esencial era favorable, con la concentración insecticida óptima de 15 µL. Por lo tanto, el aceite esencial se puede utilizar como insecticida alternativo para plantas almacenadas y plantas de cereales.

Zúniga (2022) determino la composición química de los aceites esenciales de Mentha x piperita var. Citrata (Ehrh.) Briq, Tanacetum vulgare Linnaeus, Minthostachys spicata (Benth) Epling y Clinopodium bolivianum (Benth) Kuntze, así como su efecto insecticida en *Pagiocerus frontalis.* En el caso de las especies *Mentha x piperita*, la extracción de aceite esencial fue por hidrodestilación utilizando una trampa de Clevenger arrojó el siguiente resultado de 0,83% de rendimiento. Además, las características fisicoquímicas del aceite esencial fueron para *Mentha x piperita* var citrata la densidad 0,9078 g/mL; índice de refracción 1,4595; índice de acidez 1,308 y rotación óptica 0 ,313. Así mismo, la composición química del aceite esencial presento como

componente mayoritario para *Mentha x piperita* var. citrata fue el mentol (43;35 %), acetato de metilo (22;21 %), limoneno (7;07 %), mentona (6;17 %) y eucaliptol (4;87 %). Por otra parte, el aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata tienen un efecto insecticida sobre los insectos adultos de Pagiocerus frontalis, con una concentración letal media (CL_{50}) de 0.0672 % a las doce horas de exposición. Se observó una tasa de mortalidad del 100 % a la concentración del 1% dos horas después de la exposición, para todos los aceites esenciales. Los aceites esenciales de M. x piperita y T. vulgare son los que presentan el efecto insecticida más alto y las mejores oportunidades para su aplicación práctica.

Caceres et al. (2022) evaluaron el efecto de repelente y tiempo de protección de los aceites esenciales contra los mosquitos adultos *Aedes aegypti*. El estudio utilizó un diseño totalmente automatizado con una matriz factorial de 10 aceites esenciales (*Minthostachys mollis, Schinus molle, Ruta graveolens, Piper aduncun, Myrica pubescens, Lippia alba, Mentha piperita, Lantana glutinosa, Cymbopogon citratus, Eucalyptus globulus* y el DEET de control 10%) y cuatro concentraciones de 125, 250, 500 y 1000 mg/mL de los aceites. Los grupos experimentales estuvieron constituidos por 50 mosquitos adultos *Aedes aegypti*, y se evaluó el efecto repelente y tiempo de protección utilizando cebo animal sedado (*Rattus rattus*) con 0.1 mL de los aceites en patas, cola y cara; los mosquitos y las ratas se encontraron en dos cajas de 25 x 25 x 40 cm. Los aceites con mayor efecto de repelencia y tiempo protección fueron *C. citratus* (97,4%; 165 minutos), *E. globulus* (95,8%; 165 minutos), L. glutinosa (93,8%; 180 minutos) y *M. piperita* (93,5%; 180 minutos). El estudio concluyó que los aceites esenciales de *C. citratus, E. globulus, L. glutinosa y M. piperita* podrían considerarse repelentes naturales del *Aedes aegypti*.

Kharoubi et al. (2021) determinaron la composición química del aceite esencial de *Mentha x piperita L*. y se evaluó su actividad larvicida y ovicida contra *Culex pipiens L*. según el protocolo de la Organización Mundial de la Salud (OMS). La composición química de AE se analizó mediante GC/MS. El porcentaje de rendimiento obtenido por hidrodestilación de aceite esencial fue de 0.96 (p/p). Y los principales componentes fueron mentol (28,66%), limoneno (19,01%) y p-cimeno (15,82%). El AE mostró actividad larvicida contra larvas de cuarto estadio, registrándose mortalidad después de 24, 48 y 72 horas de tratamiento. El AE mostró una potente actividad larvicida con mayor concentración y tiempo de exposición (los valores de CL_{50} fueron 448.74, 181.97 y 152,05 ppm). También mostró una excelente actividad ovicida, con incubabilidad de huevos tratados con CL_{50} y CL_{25} de 18,13% y 53,67%, respectivamente. El estudio también examinó el efecto del aceite sobre la actividad de la glucosa S-transferasa (GST) y la acetilcolinesterasa (AChE) en Cx. pipiens tratadas con CL_{50} y CL_{90}. El experimento condujo a una actividad neurotóxica y a un aumento del sistema de intoxicación, como lo demuestra la inhibición de la AChE y la inducción de GST. En conclusión, el aceite de *Mentha x piperita* es un promotor larvicida y ovicida natural contra Cx. Pipiens y se recomienda como biocida natural y efectivo para controlar los mosquitos.

Pang et al. (2020) determinaron composición química y bioactividad el aceite esencial de hojas de *Mentha piperita* extraído mediante hidrodestilación. Se identificaron 21 componentes químicos, que representan el 97,5% del total de AE, entre ellos mentol (41,6%), L-mentona (24,7%), isomentol (6,3%) y limoneno (5,0%). Se evaluó la bioactividad del AE y sus dos componentes mayoritarios contra adultos de *Tribolium castaneum, Lasioderma serricorne* y *Liposcelis bostrychophila* mediante fumigación, contacto y bioensayo de actividad repelente. El AE mediante el proceso de fumigación mostro toxicidad de contacto significativos contra adultos

de *T. castaneum* (CL_{50} = 18,1 mg/L aire y DL_{50} = 2,9 µg/adulto), L. *serricorne* (DL_{50} = 68,4 mg/L aire y DL_{50} = 12,6 µg/adulto) y *L. bostrychophila* (CL_{50}= 0,6 mg/L aire y DL_{50} = 49,8 µg/adulto). El efecto repelente del EA en adultos de *T. castaneum y L. serricorne* fue comparable al control positivo en la concentración más alta; el mentol y la L-mentona fueron los dos componentes principales de AE total. Indican que el AE de *M. piperita* y los dos componentes mayoritarios tienen potencial para desarrollarse como insecticidas y repelentes naturales para el control de insectos en productos almacenados.

Descamps et al. (2019) evaluaron el efecto repelente de los aceites esenciales de *Eucalyptus globulus y Mentha x piperita* en adultos de *Acyrthosiphon pisum*. Las hojas de alfalfa se remojaron en diferentes soluciones de aceites esenciales durante 10 segundos y luego se dejaron secar durante 1 hora a temperatura controlada. Se trataron alternativamente dos hojas con la solución de aceite esencial y el agente emulsionante solo, liberando en el centro 10 adultos y realizando tres replicas por concentración. El número de pulgones sobre las hojas se registró a las 24 y 48 horas. El índice de repelencia (IR) se calculó por IR = C/(C+T). Los resultados fueron analizados mediante ANOVA y una prueba de diferencias mínimas. Ambos aceites esenciales fueron repelentes en concentraciones de 7 % y 3.5 % p/v a las 24 horas, mientras que el aceite esencial de *Menta x piperita* se mantuvo repelente en ambas concentraciones a las 48 horas, mientras que el AE de *E. globulus* solo registro repelencia para 7 % p/v de concentración. Los resultados sugieren que los aceites esenciales de *Mentha x piperita y Eucalyptus globulus* podrían usarse como repelentes de *Acyrthosiphon pisum* durante la aplicación la implantación de la pasturade de alfalfa.

Vallavan et al. (2019) evaluaron la efectividad de un aceite esencial químicamente caracterizado de *Mentha piperita L*, un insecticida a base de plantas, para inhibir la

acetilcolinesterasa (AChE) y el sistema enzimático antioxidante (SOD, CAT, GSH y GSSH) en *Sitophilus oryzae. y Tribolium castaneum*. Los resultados de GC-MS mostraron que el mentona y el mentol eran los componentes principales del AE. El AE y su componente principal mostraron una tasa de mortalidad del 100% a 75,0 µL/L de aire y 100,0 µL/L de aire frente a *S. oryzae y T. castaneum* a las 24 horas de exposición. La actividad letal antialimentación fue del 100% contra plagas en comparación con las dosis subletales. La inhibición en vivo de la actividad de AChE varió entre *S. oryzae* (29,68 %, 18,81 % y 14,34 %) y *T. castaneum* (20,67 %, 13,73 % y 9,19 %). Se observaron cambios significativos en el sistema de defensa antioxidante. En el resultado reveló la toxicidad de las asociaciones de AE con la inhibición de la AChE y el desequilibrio oxidativo. Por tanto, el AE de *Mentha piperita* juega un papel importante en las propiedades insecticidas y podría recomendarse como una alternativa ecológica a los insecticidas sintéticos.

Jean et al. (2019) evaluaron las propiedades antifúngicas y fumigantes de los aceites esenciales *Mentha spicata, M. pulegium, M. piperita y M. rotundifulia* contra hongos e insectos Bactrocera oleae responsables de la podredumbre del olivo. Los aceites esenciales se extrajeron utilizando un aparato Clevenger y su actividad antifúngica se confirmó mediante la técnica de crecimiento radial y pruebas insecticidas mediante la prueba de fumigación. Los resultados que los principales componentes de los aceites esenciales de *Mentha* eran compuestos monoterpenoides oxigenados. Todos los aceites esenciales mostraron actividad antifúngica contra *Aspergillus flavus, A. niger, Alternaria spp. y Penicillium spp*. El aceite esencial de *M. pulegium* causó 100% de mortalidad después de 1,5 horas de exposición a 15 µL/mL aire, mientras que los aceites esenciales de *M. piperita y M. rotundifulia* requirieron 25 µL/mL de aire para 100% de mortalidad. Los aceites esenciales podrían actuar como agentes antifúngicos y fumigantes contra *Bactrocera oleae.*

Lim & Abdul (2019) determinaron sus propiedades insecticidas de extractos de plantas esenciales de *Citrus hystrix, Mentha piperita y Ocimum basilicum* para controlar plagas de insectos de hormigas en áreas urbanas. El método más común es la aplicación de insecticidas en aerosol para controlar las hormigas. Sin embargo, el control de insectos a largo plazo no debería depender de insecticidas sintéticos con efectos negativos. Se sabe que los efectos repelentes e insecticidas de estas plantas *Citrus hystrix, Mentha piperita y Ocimum basilicum* son eficaces contra diferentes plagas de insectos. La combinación de un insecticida botánico eficaz y un alimento a base de gel es ideal para el tratamiento de insectos. El estudio encontró que los efectos repelentes e insecticidas de los extractos de plantas generalmente repelen a los insectos y su eficacia depende de los insectos y de la especie de planta a unas concentraciones (3×10^5, 5×10^5, 7×10^5 y 1×10^6 ppm) fueron contra hormigas plagas urbanas comunes, *Tapinoma indicum, Pheidole megacephala y Monomorium pharaonis*. Las tasas de mortalidad de repelentes e insecticidas se relacionaron negativamente con el porcentaje de insectos repelentes porcentaje (100% = completamente repelido; 100% = completamente atraído; 0% = ni repelido ni atraído) de ser repelido, menor será la muerte, y las dosis óptimas para la mortalidad de insectos más rápida fueron inconsistentes entre los bioensayos de alimentos a base de insecticidas y geles.

Saeidi y Mirfakhraie (2017) evaluaron la actividad antialimentaria del extracto de la planta *Mentha piperita* se probó contra el escarabajo de semillas de caupí, *Callosobruchus maculatus*. La planta seca molida se sometió a hidrodestilación utilizando la trampa de Clevenger. El AE resultante contenía mentona (28,9%), mentol (28,5%) y pulegona (6,9%) como componentes principales. La CL_{50} del AE de *M. piperita* fue de 25,70 µL/L de aire y la mortalidad fue aumentando a medida de la dosis de AE. Los resultados de la prueba de persistencia del aceite revelaron que el AE de *M. piperita* en adultos de *C. maculatus* fue de 5.44 dias. De misma manera;

se descubrió que el aceite esencial de *Mentha piperita* tiene un alto valor repelente en concentraciones en el aire de 90, 180 y 360 μL/L. El aceite esencial afectó significativamente la tasa de crecimiento relativa, la tasa de consumo y la disuasión nutricional de los adultos de *C. maculatus*, dependiendo de la concentración. La eficiencia de conversión de los alimentos consumidos disminuyó, pero las concentraciones no fueron estadísticamente diferentes en comparación con el grupo de control. El aceite esencial parece ser apto para uso insecticida con bajo riesgo.

Tomaylla (2016) determino la composición química y el efecto insecticida de los aceites esenciales de *Tanacetum vulgare Linnaeus y Mentha x piperita* var. Citrata (Ehrh) Briq. Respecto a *Epitrix spp*. En la que empleo el procedimiento de inyección de vapor de agua para obtener los aceites esenciales, logrando una eficiencia de 0.73 % para *Mentha x piperita* var. citrata (Ehrh) Briq. También, analizo las propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata, con un color amarillo claro y una apariencia aceitosa, un olor distintivo, una densidad relativa de 0.9147, un índice de refracción de 1.4697 g/mL, una rotación óptica de 0.313, un índice de acidez de 1.308 y un índice de saponificación de 62.77. Se determinaron las composiciones químicas del aceite esencial mediante cromatografía de gases-espectrometría de gases. Los resultados indicaron que para *Mentha x piperita* var. Citrata (Ehrh) Briq, los porcentajes fueron: mentol 35.29 %, mentil acetato 19.69 %, mentona 7.01 % y limoneno 5.68 %. De igual manera, estableció que el aceite esencial de *Mentha x piperita* var. Citrata, la efectividad insecticida se da al 5%, con un tiempo de exposición de 12 horas y una mortalidad total (100%) en *Epitrix spp;* presenta un CL_{50} del 2.16% v/v en recipiente herméticamente cerrado. Y en un recipiente que tiene aireación, también produce un efecto insecticida con 87% de mortalidad y una duración de exposición de 48 horas y tiene una CL_{50} del 2.22% v/v.

Peeyush et al. (2012) evaluaron los compuestos esenciales de dos especies de *Mentha: Mentha x Piperita y Mentha citrata,* centrándose en su composición química y actividad insecticida contra la mosca doméstica, Musca domestica L. (*Diptera: Muscidae*). El análisis por GC- MS de *M. x piperita* reveló que Mentol (26,53%), mentona (25,83%), acetato de mentilo (7,35%), y acetato de linalool (26,69%) y D-linalol (24%) como componentes principales. El análisis de vapor de AE de *M. x Piperita* mostró un mayor contenido de mentona, mientras que el análisis de vapor de AE de *M. citrata* mostró un aumento en el contenido de linalool y D-linalool en comparación con los respectivos aceites. La actividad insecticida de los aceites se evaluó contra larvas y pupas de mosca doméstica mediante dos bioensayos diferentes: toxicidad por contacto y fumigación. Para el ensayo larvicida, la concentración letal, CL_{50} del aceite de *M. x Piperita*, fue de 0,54 μL/cm^2 (toxicidad por contacto) y 48,4 μL/L (fumigación), mientras que para el aceite de *M. citrata*, fue de 1,39 μL/cm^2 (toxicidad por contacto) y 61,9 μL/L (fumigación). El estudio demostró el potencial de ambos aceites de *Mentha* como agente de control contra la mosca doméstica, siendo *M. piperita* el mejor candidato entre los dos.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. CLASIFICACIÓN BOTÁNICA DE *Mentha x piperita var. citrata*

Según MINDES en su revista Manual para la producción de plantas aromáticas y medicinales realizo una identificación taxonómica de la planta *Mentha x piperita* (Castro, 2007).

Clasificación sistemática

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Lamiales

Familia: Lamiaceae

Subfamilia: Nepetoideae

Género: *Mentha*

Especie: *Mentha x Piperita* var. citrata

Nombres comunes: “Piperme”, “Menta de agua”, “Hierbabuena de agua”

2.2.2. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

La *Menta x piperita* var. citrata es un híbrido entre la menta acuática, también conocida como sándalo de agua (*M. aquatica L.)* y la menta romana, también conocida como menta de espina o hierbabuena (*M. viridis L. = M. spicata L.*); dado que esta última es, posiblemente, un híbrido entre dos mastranzos, el común (*M. rotundifolia L.*) y el nevado (*M. longifolia L. = M* (Muñoz, 2002).

Es una especie herbácea, floreciente, con tallos erectos de forma cuadrangular, extensamente ramificados, que puede llegar a tener 80 cm de altura. Las hojas de forma opuesta, pecioladas, con bordes abiertos, de tonalidad verde oscuro en la parte superior y más clara en la parte baja. Los estolones, de forma cuadrangular, se desarrollan bajo y en todas las direcciones sobre la superficie del suelo. Hay más de 25 tipos de menta, incluyendo las especies silvestres y domésticas. La mayor parte de las especies tienen una vida perenne. Las mentas poseen un alto contenido de aceites volátiles de diversa composición (Muñoz, 2002).

Figura 1

Mentha x piperita var. citrata



Nota. Fuente: (Rothschuh, 2023).

2.2.3. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

Posee un origen europeo y se desarrolla prácticamente en todos los países. Actualmente, la *Mentha x piperita* var. citrata se produce en grandes volúmenes a nivel global, debido a sus múltiples usos no solo terapéuticos. En Perú, su hábitat generalmente se encuentra en áreas soleadas, templadas y frías, en terrenos ácidos, básicos y neutros, además de extenderse en terrenos pesados y arcillosos (Quispe, 2016).

En la región de Ayacucho, en Perú, se desarrolla de forma cultivada o en estado silvestre. También se desarrolla en los distritos de Huamanguilla, Socos y Quinua, alcanzando una altitud de 3350 a 4000 metros sobre el nivel del mar. De igual manera, se desarrolla en regiones alto andina del sur de Perú como Apurímac, Cusco, Arequipa y otras zonas (Nuñez, 2024).

2.2.4. USOS ETNOBOTÁNICOS

Las investigaciones sobre etnobotánica indican su uso como astringente, carminativo, antiséptico, estimulante, anodino, espasmolítico y vermífugo. Por otro lado, investigaciones experimentales llevadas a cabo con preparaciones galénicas obtenidas de las hojas identifican su efecto antiviral, antifúngico, antibacteriano, antiinflamatorio y espasmolítico; este último se debe principalmente a la restricción de la entrada de calcio a la célula muscular, lo que resulta en la disminución de la concentración de la musculatura lisa. Además, reduce el tono del esfínter más bajo del esófago, lo que promueve la expulsión de aire (Quispe, 2016).

2.3. ACEITES ESENCIALES

Los aceites esenciales son sustancias aromáticas, volátiles, de origen orgánico y que se obtienen de plantas flores y otros productos vegetales, son la base de productos farmacéuticas, aromaterapias, cosméticos, perfumes y en algunos casos se usan en la industria alimentaria. Los aceites esenciales generalmente son mezclas complejas de hasta más de 100 componentes que pueden ser: Monoterpenos, Sesquiterpenos y compuestos aromáticos fenólicos (Lock de Ugaz, 1994).

2.3.1. USOS DE LOS ACEITES ESENCIALES

La calidad y el tipo de aceite esencial definen en qué producto final se incluirá un aceite. Los aceites esenciales se emplean extensamente como insumos en diversas industrias. Al igual que la industria farmacéutica, cosmética, alimentaria, entre otras (Sostenible, 2003).

Tabla 1

Usos y aplicaciones de los aceites esenciales en distintas industrias

Industrias	Aplicaciones
Alimenticias	• Salsas, Condimentos, Bebidas, Alimentos procesados y enlatados
Licorería	• Aperitivos y Saborizantes
Cosméticas	• Perfumes dentífricos, Cremas y Lociones
Farmacéutica	• Antisépticos, Analgésicos, Saborizantes y Homeopatía
Agroquímica	• Bioinsecticidas y Alelos químicos
Textil	• Elaboración de enmascarados de olor
Pinturas	• Enmascaradores de olores y disolventes biodegradables

Nota. (Sostenible, 2003).

2.3.2. TIPOS DE ACEITES ESENCIALES

Es posible dividirlos en dos categorías principales: los aceites esenciales brutos o de calidad inferior y los aceites esenciales purificados o refinados que poseen una calidad superior (Sostenible, 2003).

a. **Aceites Esenciales Crudos**: Son directamente extraído de la planta, sin ningún tipo de procesamiento adicional. Poseen menos valor añadido, calidad inferior y se emplean como materias primas en ciertos productos.

b. **Aceites Esenciales Refinados:** Poseen un valor añadido superior y de excelente calidad, y se emplean en las industrias farmacéutica, alimenticia, cosmética y de fragancias.

2.3.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMPOSICIÓN Y EL RENDIMIENTO DE LOS ACEITES ESENCIALES

La producción de los aceites esenciales en las plantas se ha discutido en numerosos modelos sugeridos, tales como la biogénesis, reacciones químicas, el clima, etapa de crecimiento de la planta, entre otros. Por lo tanto, estos elementos son cruciales en el proceso de producción de un aceite esencial, por lo que la calidad de este se determina principalmente por su composición química y desempeño y estos criterios que deben ser evaluados obligatoriamente (Lopez & Caso, 2015).

Los factores que afectan la composición química y el desempeño del aceite esencial son los siguientes:

a. Métodos de cultivo: fertilizante, abono, distancia de siembra, etc.

b. Aspectos geobotánicos: El clima (cálido y luminoso, lluvioso), la altitud (determinante del rendimiento), el tipo de terreno (arenosos - arcillosos, humiteros, calcáreos), el pH (por ejemplo, en un terreno arcilloso, compacto y seco, el crecimiento de la planta se ve afectado y su rendimiento se reduce), la luminosidad, la temperatura, etc.

c. Época de la recolección: pre floración, floración completa o floración tardía, elemento que establece la escasez o falta de precursores químicos en los aceites esenciales, además del incremento notable de otros compuestos químicos.

d. Elementos de la planta que proporcionan el aceite esencial: tallos, hojas, flores, raíces. Es sabido que, en algunas familias de plantas, en las hojas se halla un porcentaje superior de eficacia de los aceites fundamentales.

e. La edad de la planta, un elemento esencial en la composición química de un aceite, establece la edad de dicho aceite.

f. Temperatura y métodos de secado de las plantas (en el entorno o a temperaturas superiores a los 50 °C generadas por maquinaria industrial)

g. Procedimiento para extraer el aceite: destilación, extracción con disolventes, extracción con líquido supercrítico, entre otros (Lopez & Caso, 2015).

2.3.3.1. TERPENOIDES

Los isoprenoides o terpenoides provienen de la combinación de 5 carbonos conocidos como isopreno (C5). Los terpenoides se categorizan según las unidades fundamentales de cinco carbonos (isopreno) que se encuentran en su composición. Los terpenoides con 10 carbonos que corresponden a dos unidades de C5 se conocen como monoterpenos, en cambio, los terpenoides

con 15 carbonos (3 unidades de C5) se conocen como sesquiterpenos, y los con 20 carbonos (4 unidades de C5) se conocen como diterpenos. Los terpenoides de mayor cantidad de carbonos incluyen los triterpenos (30 carbonos), tetraterpenos (40 carbonos) y, por lo general, los politerpenos (Ringuelet, 2013).

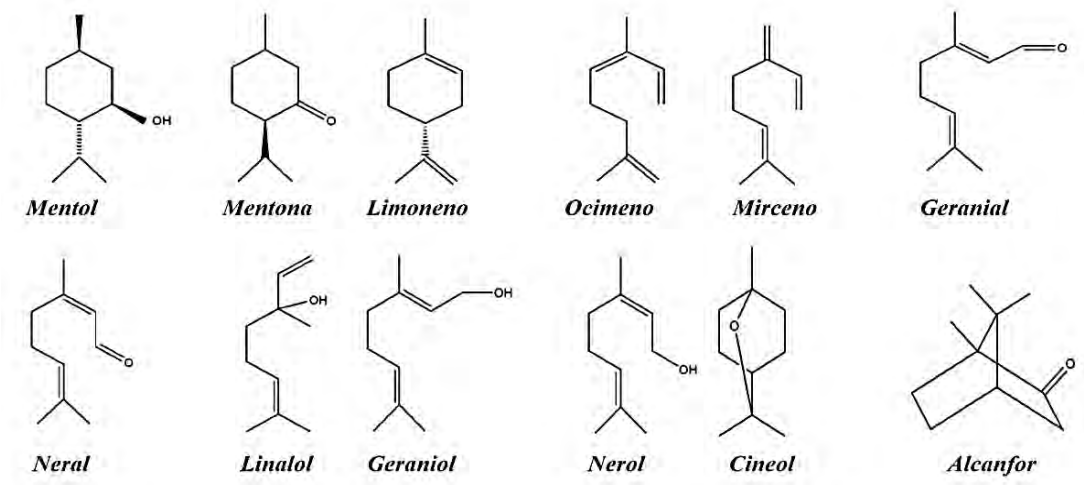
2.3.3.2.MONOTERPENOS

Estos compuestos, estructurados por la unión de dos isoprenos, se encuentran en gran cantidad en los aceites esenciales, junto con sesquiterpenos, alcoholes simples, aldehídos simples, entre otros. Se presentan un punto de ebullición entre 140 y 180 °C, en contraste con los sesquiterpenos que lo mantienen por encima de los 200 °C. Se pueden hallar casos con estructuras acíclicas, monocíclicas o bicíclicas, que pueden ser hidrocarburos sin saturación o poseer grupos funcionales oxigenados (alcoholes, aldehídos o cetonas) (Ringuelet, 2013).

- **Acíclicos:** Entre otros hidrocarburos no saturados se incluyen el mirceno y el ocimeno; con propiedades alcohólicas: geraniol, nerol y linalol; con propiedades aldehídos: neral y geraniol; con propiedades aldehídos: neral y geraniol.
- **Monocíclicos:** como el mentol, mentona, limoneno.
- **Bicíclicos:** como el α - pineno, tuyona, alcanfor, 1,8-cineol (Ringuelet, 2013).

Figura 2

Monoterpenos de aceites esenciales



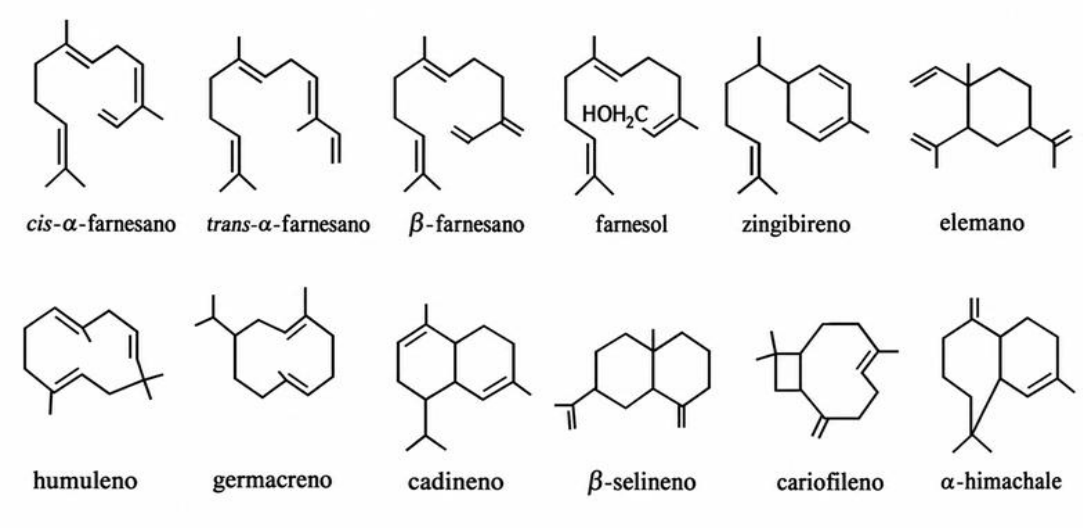
Nota. Fuente: (Ringuelet, 2013).

2.3.3.3. SESQUITERPENOS

Los sesquiterpenos se componen de 15 átomos de carbono, incluyendo moléculas con estructura acíclica como el farnesol (en esencia de rosa y petitgrain); monocíclicas como el γ bisaboleno o limeno (en aceites de limón, lima, bergamota, manzanilla, alcanfor); bicíclicas como el cariofileno (en esencia de clavo, lúpulo, canela). Las lactonas sesquiterpénicas, que se encuentran en numerosas especies de la familia botánica Compositae, son otros productos naturales de relevancia en la quimiotaxonomía (Ringuelet, 2013).

Figura 3

Sesquiterpenos de aceites esenciales



Nota. Fuente: (Lock de Ugaz, 1994).

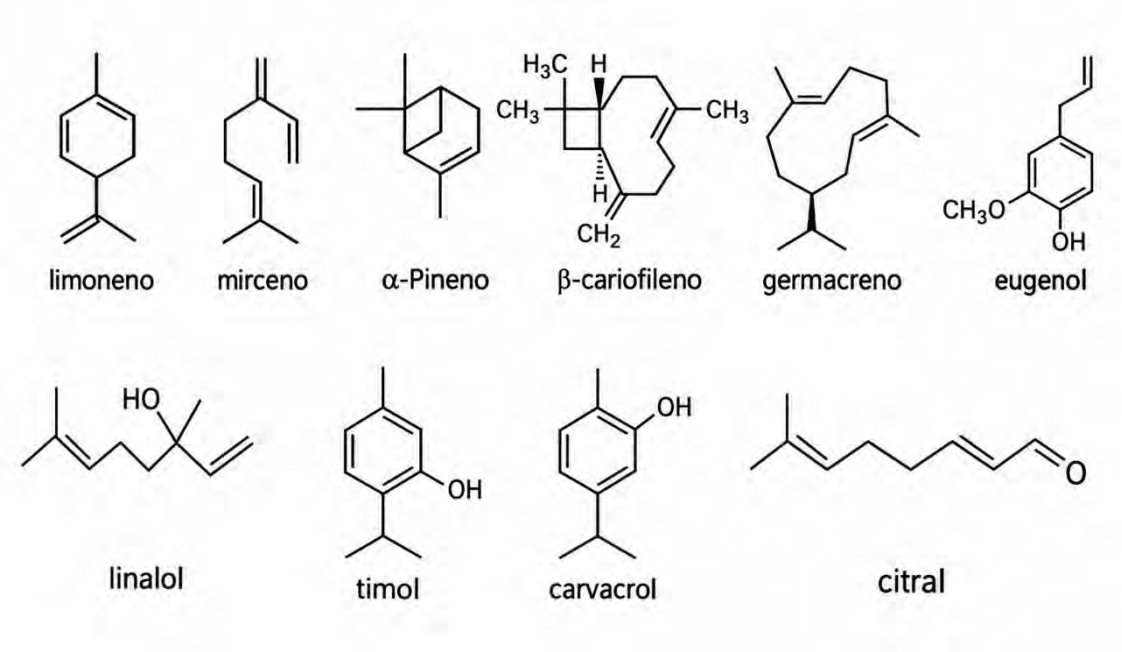
2.3.3.4. COMPUESTOS AROMÁTICOS

Los compuestos aromáticos de los aceites esenciales son mezclas complejas y volátiles que están compuestas principalmente por los terpenos (monoterpenos y sesquiterpenos), fenoles, alcoholes, aldehídos y cetonas. Estos metabolitos secundarios que son obtenidos de las plantas son los que determinan el aroma y propiedades terapéuticas, antioxidantes y antibacterianas de cada aceite. Los compuestos aromáticos están representados por los principales grupos como: **monoterpenos** que son responsables de aromas frescos y citricos y son las más comunes (limoneno, pineno y mirceno; s**esquiterpenos** son los que aportan aromas terrosos y amaderados a menudo con propiedades antiinflamatorias (beta – cariofileno y germacreno): **fenoles y fenilpropanoides** son compuestos con anillos aromáticos que tienen propiedades antisépticas

(eugenol, carvacrol y timol; **alcoholes, aldehídos y cetonas** son los que aportan notas florales, cítricas y balsámicas (linalol, citral y mentona).

Figura 4

Compuestos aromáticos de aceites esenciales



Nota. Fuente: (Ringuelet, 2013).

2.3.4. MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE ACEITES ESENCIALES

Los aceites esenciales se logran eliminar de los tejidos a través de varios procesos físicos y químicos, dependiendo principalmente de la parte de la planta donde se ubican (pétalos, raíces, tallo, ramas, semillas, savia, hojas), además de la capacidad de descomponer estos compuestos (Sanchez, 2006).

a) Destilación por Arrastre de Vapor.

También se le conoce como destilación de vapor por arrastre, extracción de vapor por arrastre, hidrodifusión, hidroextracción o hidrodestilación. No obstante, no hay un nombre preciso y breve para describirla, ya que se desconoce qué sucede precisamente en el equipo principal y porque se emplean distintos nombres.

Requisitos del precio del agua para su adquisición. Por lo tanto, si se emplea vapor saturado o sobrecalentado fuera del equipo principal, se le denomina "destilación por arrastre de vapor". Se denomina "hidrodestilación" cuando se emplea vapor saturado, donde la materia prima entra en contacto directo con el agua que produce este vapor (Bardales & Farfán, 2018).

b) Hidrodestilación.

El material tiene una interacción directa con el agua que produce el vapor. En esta situación, el agua y el material a extraer se colocan en el mismo recipiente, se calientan hasta ebullición y el aceite obtenido es arrastrado junto con el vapor de agua hacia un condensador, que enfría la mezcla, la cual se separa luego para conseguir el producto deseado (Cerpa, 2007).

c) Hidrodestilación Con Trampa de Clevenger.

El Equipo Hidrodestilación con Trampa Clevenger es empleado en numerosos laboratorios y reconocido en diversos estándares internacionales, como el más apropiado para la extracción de aceite esencial de una planta aromática. Está formado por un balón en el que se dispone la materia prima molida y un volumen de agua pura determinado. Se le calienta de manera continua, el aceite vital con el agua existente se evapora de manera constante. Un condensador, unido al balón y con

una conexión en forma de D, facilita la acumulación y separación del aceite vital de la mezcla condensada. El agua de la flor retorna al balón debido al rebose de la conexión. (Cerpa, 2007).

d) Expresión del pericarpio:

Esta técnica se utiliza en los frutos cítricos para obtener el aceite esencial, sitio donde se ubican las glándulas que albergan las células generadoras de aceite, llenas de protoplasma, la sustancia proteica encargada de los procesos químicos dentro de las células (Keese & Robert, 1990).

Los métodos de aplicación manual incluyen la escarificación y la presión superficial lateral o expresión de la corteza, ambos son variantes de la técnica. Cada uno de estos procedimientos libera aceite esencial y protoplasma desde las glándulas fracturadas, que luego se lavan con agua o se centrifugan para reponer el aceite. Adicionalmente, en el proceso de producción, la concentración de un aceite cítrico prensado, ineludentemente, interactúa con el agua, el oxígeno presente en el aire y enzimas que pueden acelerar considerablemente varias reacciones oxidativas e hidrolíticas (Díaz, Duran G., Martínez, & Stashenko, 2007).

- **Disolución en grasa (*enfleurage):*** Los aceites tienen una alta solubilidad en grasas y alcoholes. Se sitúa una fina capa de vidrio sobre una fina capa de grasa, y encima de ella, los pétalos de flores desplegados. La esencia se transforma en grasa, hasta alcanzar la saturación de la misma. Luego, utilizando alcohol de 70^0, se obtiene el aceite esencial. Se utiliza para flores con un contenido reducido de esencias, pero altamente valiosas (azahar, rosa, violeta, jazmín) (Díaz, Duran G., Martínez, & Stashenko, 2007).

- **Extracción con disolventes orgánicos:** que ingresan a la composición vegetal y descomponen las sustancias, las cuales son evaporadas y condensadas a baja temperatura. Luego, se suprime el disolvente, consiguiendo la fracción requerida. La elección del disolvente busca que tenga la habilidad de disolver rápidamente todos los componentes y la menor cantidad de materia inerte, que posea un punto de ebullición bajo y homogéneo que facilite su eliminación, evitando pérdidas por evaporación, químicamente inerte, para evitar la reacción con los componentes de los aceites, no inflamable y económico (Sanchez, 2006).

- **Extracción con gases en condiciones supercríticas**. Se utilizan gases, en particular el CO_2, a presión y temperatura que superan su punto crítico. Bajo estas circunstancias, se consiguen rendimientos óptimos y se previenen modificaciones en los elementos esenciales. La infraestructura requerida es costosa, pero presenta sus beneficios, tales como la eliminación sencilla y rápida del gas extractor mediante descompresión, la falta de residuos de disolventes y que los gases no son costosos (Sanchez, 2006).

2.3.5. CONSIDERACIONES PARA TRATAMIENTO DE LA MUESTRA

Tener en cuenta los siguientes factores:

- **Reducción del tamaño de la planta:** Los aceites fundamentales están presentes en glándulas grasas, venas, reservorios de aceite o pelos glandulares en las plantas aromáticas. Si el material de la planta permaneciera inalterado, los aceites serían expulsados (evaporados) por el vapor solo tras haber pasado por los tejidos de la planta y haberse presentado en la superficie. Para prevenir esta situación, el material necesita

ser triturado, descompuesto, cortado, molido, entre otros. Previo a su destilación, de manera que el aceite volátil que ahora está expuesto será transportado a través del paso del vapor. La destilación de la planta tras la trituración debe realizarse de inmediato para prevenir que se evapore en parte (Santos, 2013).

- **Almacenamiento del material de la planta:** El almacenaje de la planta antes de su descomposición debe realizarse en condiciones ideales, tales como atmósfera seca, temperatura reducida y un entorno sin flujo de aire, para prevenir la oxidación y la rezonificación de los aceites fundamentales (Santos, 2013).

- **Perdida de aceite esencial en el material de la planta antes de la destilación:** De alguna manera, el aceite volátil presente en el tejido de la planta se ve afectado por el secado de la planta tras su cosecha. La pérdida de aceite durante la etapa de marchitez y secado de la planta supera ampliamente a la que ocurre durante el almacenamiento del material de la planta tras ser secada. Esto se debe a que, durante estas primeras fases, la planta retiene una alta humedad en las células, la cual, mediante la difusión, transporta el aceite a la superficie y contribuye a su evaporación. Tras la desaparición de la humedad y el secado de la planta, la hidro difusión ya no puede suceder (Santos, 2013).

- **Cambio de la Propiedades Físico-Químicas de los Aceites Esenciales durante el Secado de la Planta:** Los aceites esenciales, extraídos de componentes frescos o secos de la planta, exhiben una extensa diversidad en sus características físico-químicas y su composición química. Esto es particularmente relevante en flores, hojas, hierbas y

raíces, que en su estado fresco poseen una humedad significativamente superior (Santos, 2013).

2.3.6. FACTORES PARA LA DESTILACIÓN DEL ACEITE ESENCIAL

- **Difusión de Aceites Esenciales y Agua caliente a través de la Membrana de las Plantas:** Una vez que se ha dividido el material de la planta, únicamente una porción del aceite esencial se encuentra en las superficies y está a punto de evaporarse. El remanente del aceite alcanza la superficie solo tras pasar por una pared (diafragma), se conoce como "libre difusión", mientras que, si la difusión ocurre a través de una membrana permeable, se denomina osmosis (Santos, 2013).

- **Efecto de la Hidrólisis en la Destilación de la Planta:** Dado que hay agua, especialmente a altas temperaturas, los ésteres deben interactuar con el agua para generar los ácidos y alcoholes esenciales. Por lo tanto, si el agua es abundante y las condiciones son ácidas, se generarán cantidades considerables de alcohol y ácido. Así, la hidrólisis alcanzará una amplia magnitud (Santos, 2013).

- **Efectos del Calor de Destilación de Plantas:** Todos los componentes de los aceites esenciales presentan algún tipo de inestabilidad a altas temperaturas. Para conseguir el mejor aceite, es imprescindible garantizar que, durante la destilación, los aceites esenciales (o el material de la planta) se conserven a temperaturas bajas o, en cualquier caso, se conserven a altas temperaturas por el menor periodo de tiempo posible (Santos, 2013).

2.3.7. CARACTERÍSTICAS DE LOS ACEITES ESENCIALES

2.3.7.1. CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS

Se detalla el aroma, el tono, el gusto y la apariencia de los aceites obtenidos, ya que estos atributos físicos ayudan a establecer la calidad y además guían acerca de los potenciales usos industriales (Bellozas, Minig, Molde, & Manso, 2020).

a. **Color:** Se basan en la composición de los aceites esenciales, usualmente son incoloros, pero tienen un tono cercano al amarillo. Al ser expuestos al entorno, se oxidan (transforman su color) con facilidad (Montoya, 2010).

b. **Olor:** Es la característica principal de los aceites esenciales y resulta complicado de caracterizar, especialmente los olores de una mezcla compleja a menos que uno de los componentes sea tan distintivo que determine en gran medida el aroma o el gusto de la composición. Puede categorizarse en floral, frutal, herbáceo, o con olores parecidos (Montoya, 2010).

2.3.7.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

a. Densidad:

La densidad es una magnitud que se refiere a lo que pesa la masa en un volumen específico; se puede usar tanto de forma relativa como absoluta. La densidad normal o absoluta, que también se conoce como densidad real, manifiesta la masa por cada unidad de volumen. El término "densidad" generalmente se entiende como densidad absoluta cuando no se aclara de ninguna manera. La densidad aparente o relativa representa la relación que existe entre la densidad de una

sustancia y una densidad de referencia, lo cual da como resultado una magnitud adimensional, es decir, sin unidades. (Montoya, 2010).

b. Índice de refracción:

El coeficiente de refracción de un aceite esencial en comparación con el del aire, está en relación entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción producido, de un rayo de luz que se propaga del aire hacia el aceite. A pesar de que los valores indicados por el índice de refracción de los aceites esenciales varían considerablemente, se lleva a cabo su determinación ya que puede indicar adulteraciones y ancianidad de estos. Se puede establecer a través de un refractómetro electrónico y generalmente se registra a 20 °C, o en caso contrario, se efectúa una corrección por variación de temperatura. Los beneficios más destacados de este parámetro son la velocidad y la facilidad con la que se puede conseguir (Montoya, 2010).

c. Punto de solidificación o de congelación:

La temperatura a la que un aceite cambia de estado líquido a sólido se llama punto de congelación o solidificación. Este dato permite identificar y distinguir sus componentes, detectar adulteraciones y calcular su pureza, así como saber el porcentaje de ácidos grasos saturados e insaturados; también define la calidad comercial del producto al anticipar cómo se comportará visual y físicamente durante el almacenamiento y transporte a temperaturas bajas. (Montoya, 2010).

d. Rotación óptica:

Los elementos de los aceites esenciales a menudo son ópticamente activos (alteran el plano de polarización de la luz), predominando un isómero óptico. Por lo tanto, establecer el poder

rotatorio puede ser muy beneficioso para identificar adulteraciones o falsificaciones. Además, esta propiedad se evalúa de manera sencilla, ágil y segura, lo que justifica la relevancia de su establecimiento (Montoya, 2010).

e. Solubilidad en etanol

Todos los aceites fundamentales se pueden disolver en alcohol etílico absoluto y muchos de ellos pueden disolverse en alcohol etílico diluido. Posee particular relevancia ya que, además de ser una constante física mencionada en la bibliografía, señala, especialmente en ciertas situaciones, la adultez del aceite, y en otras, puede señalar previamente, ciertos usos del aceite esencial estudiado.

La solubilidad de las esencias en alcohol refleja su contenido en monoterpenos: a mayor solubilidad, menos monoterpenos se encuentran en la esencia, o se incrementa su contenido de compuestos oxigenados, como los alcoholes y fenoles. Además, es un método muy simple para identificar adulteraciones causadas por la incorporación de aceites vegetales o minerales, que no se pueden disolver en alcohol (Montoya, 2010).

2.3.7.3. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

a. Índice de acidez.

El índice de acidez representa la cantidad en miligramos de hidróxido de potasio requerida para neutralizar un gramo de un compuesto químico. En resumen, este valor establece la cantidad de ácido presente en la sustancia (Madhu, 2020).

El cálculo del índice de acidez implica la disolución de una cantidad determinada de una muestra en un disolvente orgánico (usualmente isopropanol) y posteriormente una titulación con

una disolución de hidróxido de sodio. En este escenario, la disolución de hidróxido de sodio debe poseer una concentración determinada y la fenolftaleína es el indicador de dicha titulación. La transición de color se produce de incoloro a rosa (Madhu, 2020).

b. Índice de saponificación.

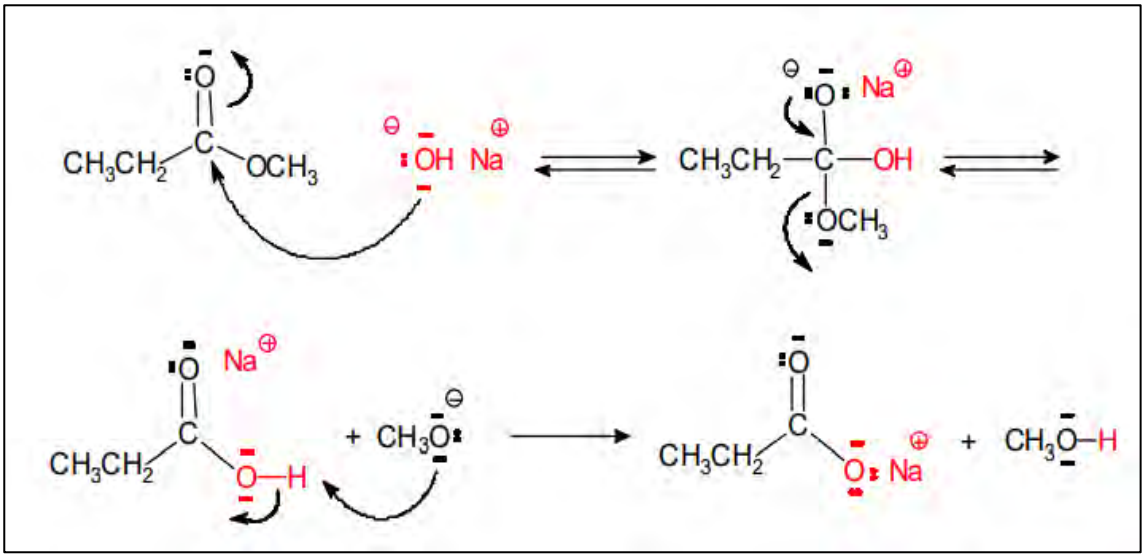
El índice de saponificación es un parámetro fisicoquímico que expresa la cantidad de hidróxido de potasio (KOH), en miligramos, necesaria para saponificar los ésteres presentes en un gramo de una muestra de aceite o grasa. Este índice se basa en una reacción química de hidrólisis alcalina, denominada saponificación, mediante la cual los enlaces éster son hidrolizados en presencia de una base fuerte, produciendo alcoholes y las sales correspondientes de los ácidos grasos (Wade, 2012)

El valor obtenido permite estimar la cantidad y naturaleza de los componentes saponificables presentes en una muestra. De manera general, un índice de saponificación elevado se relaciona con la presencia de compuestos que, al ser saponificados, presentan cadenas de ácidos grasos relativamente cortas y, por tanto, menor masa molecular promedio. En cambio, valores bajos suelen asociarse con componentes de mayor masa molecular. Por ello, este parámetro constituye un indicador útil para la caracterización y control de calidad de sustancias lipídicas (Wade, 2012).

El ion hidróxido interacciona con el carbonilo del éster, creando un intermedio tetrahédrido. Cuando el grupo carbonilo se regenera, se efectúa la supresión del ion alcóxido y se genera un ácido carboxílico. La transferencia rápida de protón da lugar al carboxilato y al alcohol. Este paso final es extremadamente exotérmico y traslada los dos balances previos del proceso de saponificación hacia su finalización, lo que convierte el proceso en irreversible (Wade, 2012).

Figura 5

Mecanismo de saponificación de un éster en medio básico



Nota. Fuente: (Wade, 2012).

2.3.8. DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LOS ACEITES ESENCIALES

Molecularmente los aceites esenciales son compuestos de mezcla compleja de una amplia gama de sustancias orgánicas volátiles que tienen una estructura química variada; están formados principalmente por monoterpenos, sesquiterpenos, fenilpropanos (Martinez A. , 2003)

Los aceites esenciales están compuestos en su mayoría por monoterpenos y sesquiterpenos, que poseen estructuras monocíclicas, acíclicas, biciclicas o tricíclicas (solo los sesquiterpenos). Dichas estructuras pueden ser hidrocarbonadas o presentar derivados oxigenados como ésteres, peróxidos, óxidos, cetonas, aldehídos, alcoholes o éteres. Los compuestos minoritarios son los derivados aromáticos fenilpropanoicos, que suelen ser oxigenados y a menudo tienen grupos fenólicos (Solís, 2018)

Para su determinación de la composición química de los aceites esenciales ha tenido una contribución muy importante los métodos cromatográficos de alta resolución, HPLC, métodos espectroscópicos, en especial la espectrometría de masas (EM), la espectroscopía infrarroja (IR) y la espectroscopía de resonancia magnética nuclear (RMN) y sistemas de cromatografía que utilizan métodos espectroscópicos, en particular la cromatografía gaseosa vinculada a la espectroscopia de masas (CG-MS) y la cromatografía gaseosa vinculada a la espectroscopia infrarroja (CG-IR) (Martinez A. , 2003).

2.4. CROMATOGRAFÍA DE GASES

La cromatografía gaseosa facilita la separación de los elementos de una muestra gaseosa, ya que estos se ubican entre una fase gaseosa móvil y una fase estacionaria líquida o sólida alojada en una columna. La muestra a examinar se traslada a la fase gaseosa e inyecta en una de las puntas de la columna cromatográfica para ser analizada. La elusión de los componentes se efectúa a través del movimiento de una fase gaseosa móvil que, en contraposición a la de otros procedimientos cromatográficos, es inerte y no se relaciona con las moléculas de las especies presentes en la muestra; simplemente las lleva a través de la columna (Rivera, 2008).

Hay dos clases de cromatografía gaseosa: la que utiliza gas líquido y la que utiliza gas sólido. La primera, es la más utilizada en todos los ámbitos científicos y se le denomina frecuentemente como cromatografía gaseosa. La cromatografía de gas-sólido es menos utilizada ya que numerosas moléculas reactivas o polares tienen largos periodos de retención y las filas de los picos de elución no son tolerables (Rivera, 2008).

La cromatografía gaseosa es un método de análisis que proporciona resoluciones excepcionales con una sensibilidad que va desde miligramos hasta picogramos. Los hallazgos son

numéricos y se alcanzan en un lapso de tiempo relativamente breve. Los elementos de las muestras deben mantenerse estables a la temperatura de funcionamiento, además de tener volatilidad. La fase estacionaria es un líquido de baja volatilidad que cubre un soporte firme como las paredes de la columna cromatográfica. La separación ocurre a través de la división de las moléculas de la muestra entre la fase estacionaria y la fase móvil (líquida y gaseosa) (Rivera, 2008).

2.4.1. VENTAJAS DE LA CROMATOGRAFÍA DE GASES

La cromatografía de gases tiene las siguientes ventajas:

- Relativamente simple y es muy confiable.
- Para su análisis requiere un volumen de muestra pequeña en µL.
- El equipo es sensible y detecta en ppm y ppb.
- Da resultado en alta resolución y es eficiente.
- Es de análisis rápido en minutos.
- Es de bajo costo (Barquero, 2006).

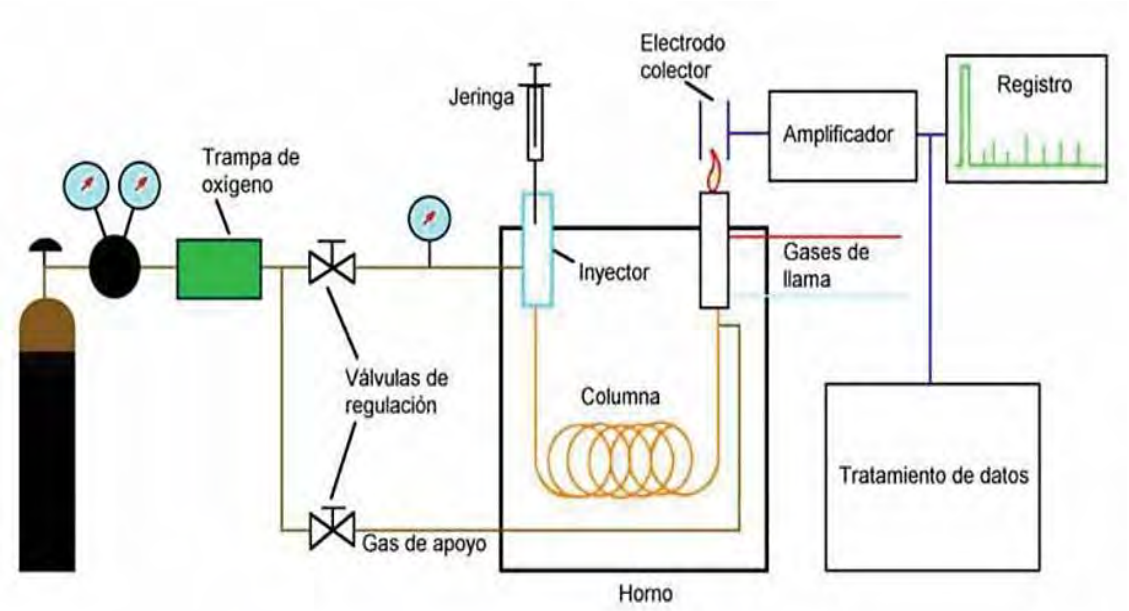
2.4.2. DESVENTAJAS DE LA CROMATOGRAFÍA DE GASES

- Requiere espectroscopia de masa para confirmar la identificación de señal.
- Solo trabaja con muestras en pequeñas cantidades.
- El equipo no se puede utilizar en muestras térmicamente inestables.
- Es limitada a muestras que son volátiles (Barquero, 2006).

El equipo de cromatografía de gases utiliza una fuente de gases, cuenta con un sistema de inyección, horno y columna cromatográfica y detectores.

Figura 6

Sistema de cromatografía de gases.



Nota. Fuente: (Parrales, 2012)

2.5. ESPECTROMETRÍA DE MASAS

La espectrometría de masas (MS) representa una de las metodologías de análisis más integrales que se conocen. Esta técnica ha sido recientemente empleada no solo en estudios de investigación, sino también en el análisis cotidiano de los procesos industriales, en el control de calidad, entre otros (Gutiérrez & Droguet, 2002).

Sus principales cualidades son:

- Habilidad de identificación casi incuestionable, dado que ofrece un espectro distintivo de cada molécula. - Cuantitativo: facilita la medición de la concentración de los componentes.
- Alta sensibilidad: usualmente se registran concentraciones que oscilan entre ppm o ppb, y en situaciones particulares pueden alcanzar ppt.
- Es universal y concreta.
- Ofrece datos estructurales acerca de la molécula estudiada.
- Proporciona datos isotópicos.

Es un método veloz: se puede llevar a cabo un espectro en décimas de segundo, lo que permite su monitorización para adquirir datos en tiempo real acerca de la composición de una combinación de gases (Gutiérrez & Droguet, 2002).

En el espectrómetro de masas, se realiza la ionización de la muestra a través de diversos procedimientos. El método de ionización más habitual es el de impacto electrónico, que bombardea las moléculas con electrones de determinada energía, con el potencial de causar la liberación estimulada de un electrón de las moléculas y de esta manera ionizarlas (Gutiérrez & Droguet, 2002).

El análisis de espectrometría de masas se realiza principalmente en cuatro etapas fundamentales:

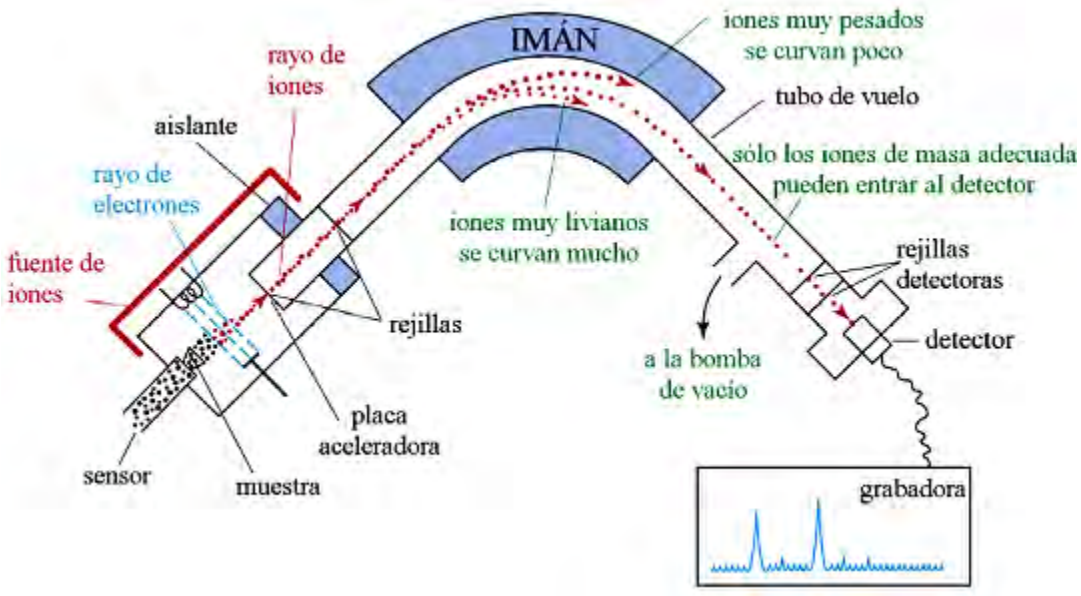
1. Preparación o introducción de la muestra.
2. La ionización de la muestra, donde átomos o moléculas se convierten en especies iónicas en estado gaseoso, provocando así la pérdida de electrones o protones.
3. El proceso de separación y estudio de los iones moleculares y los fragmentos cargados se realiza de acuerdo a su relación de masa/carga.
4. Finalmente, se consigue el espectro de masas, donde se muestra la cantidad relativa de iones y fragmentos distintos entre masa y carga (Gutiérrez B. M., 2002).

Espectrómetro de masas tiene componentes básicos como:

- Introducción de muestra.
- Ionización: sistema de ionización.
- Análisis: analizador de masas.
- Detección: detector.
- Sistema de vacío.
- Sistema de adquisición y tratamiento de los datos (Gutiérrez B. M., 2002)

Figura 7

Sistema de espectrometría de masas.



Nota. Fuente: (Martín, 2016)

2.6. ACOPLAMIENTO CROMATOGRAFÍA DE GASES-ESPECTROMETRÍA DE MASA

La cromatografía gaseosa es un método de separación que puede lograr la separación de combinaciones muy complejas. Sin embargo, una vez que todos los elementos individuales de una muestra problemática han sido separados, identificados e incluso cuantificados, la única información que tenemos para identificar cada uno de ellos es el tiempo de retención de los picos cromatográficos correspondientes. Esta información no basta para una identificación precisa, especialmente cuando examinamos muestras con un alto número de componentes, como suele suceder en la cromatografía de gases capilares (Solís, 2018).

Además, la espectrometría de masas tiene la capacidad casi incuestionable de reconocer cualquier sustancia pura, sin embargo, usualmente no logra distinguir los elementos individuales

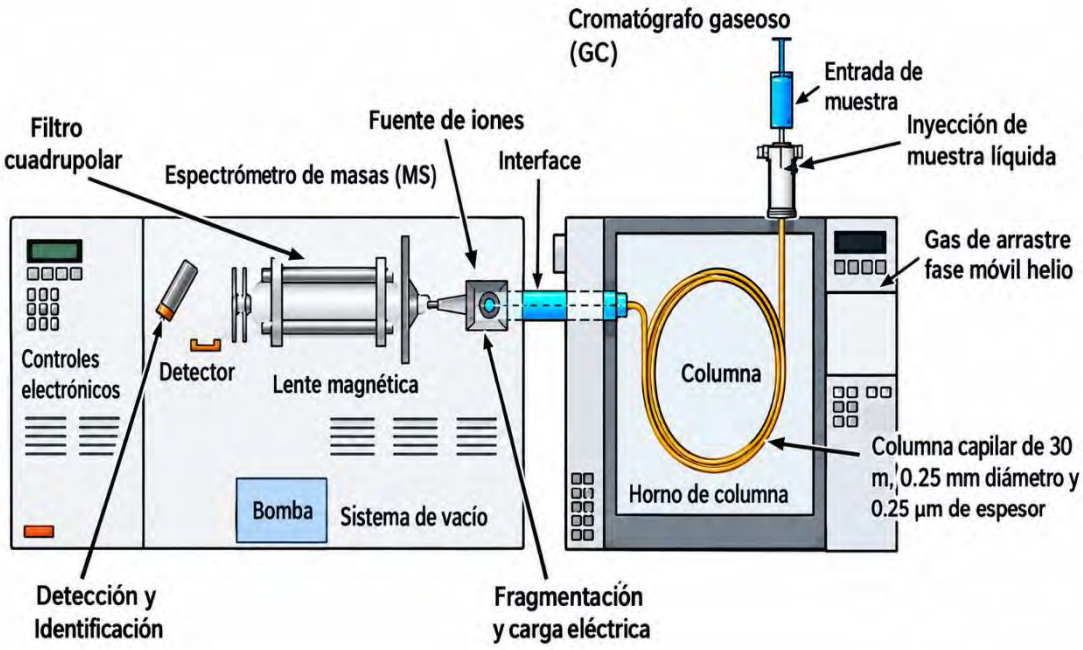
de una mezcla sin separar primero sus componentes, debido a la extremadamente complejidad del espectro generado por la superposición de los espectros específicos de cada componente (Solís, 2018).

Así pues, la combinación de dos métodos, GC (Cromatografía de Gas) y MS (Espectrometría de Masas), genera una técnica conjunta GC-MS que facilita la separación e identificación de combinaciones complejas (Solís, 2018).

En conclusión, una combinación de sustancias introducidas en el cromatógrafo de gases se divide en la columna cromatográfica, lo que resulta en la elución sucesiva de los componentes individuales aislados que son transferidos directamente al espectrómetro de masas. Cada uno de estos elementos se documenta como pico cromatográfico y se reconoce a través de su correspondiente espectro de masas. En este procedimiento, el espectrómetro de masas, además de suministrar espectros, funciona como detector de corriente iónica al documentar la corriente total de iones producida en la fuente iónica, cuya representación gráfica se denomina cromatograma o "TIC" (corriente total de iones). De hecho, todas las corrientes iónicas producidas por los iones generan un pico gaussiano de área que coincide con la concentración del compuesto identificado (Solís, 2018).

Figura 8

Sistema de Cromatografía de Gases acoplado a Espectrometría de Masas



Nota. Fuente: (Martín, 2016)

2.7. INSECTICIDAS

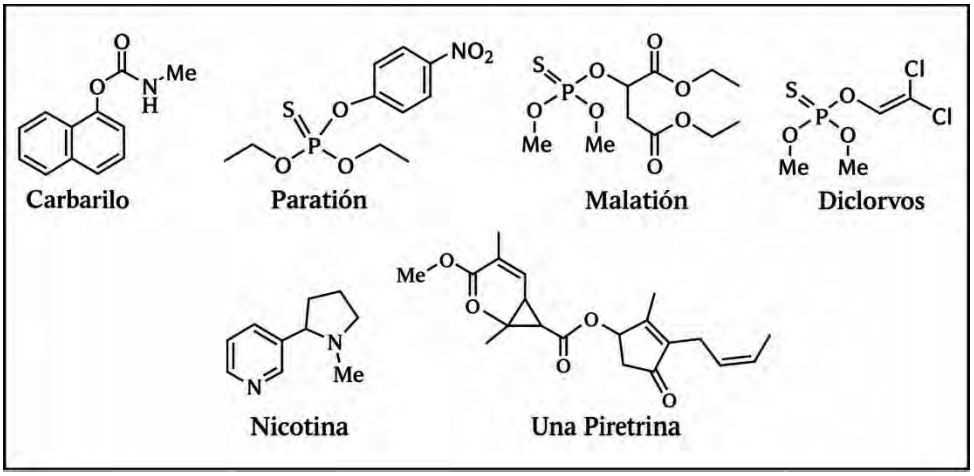
Los insecticidas son compuestos químicos utilizados para controlar o matar insectos que pueden ser portadores de enfermedades y principalmente actúa contra los insectos (hormigas, cucarachas, mosquitos, moscas escarabajos, etc.). Los insecticidas son de naturaleza química y biológica y representan una amplia gama de compuestos químicos que producen toxicidad en insectos, especies de mamíferos no objetivo (incluidos los humanos) y aves mediante diversos mecanismos de acción (Gupta, Malik, Mukherjee, & Dettbarn, 2019).

En especies no objetivo, los insecticidas tienen el potencial de causar desde un dolor leve hasta una parálisis severa y finalmente la muerte. Los insecticidas tienen la capacidad de vincularse a diversas enzimas, receptores y otras proteínas, y los sitios de unión y los aductos, así como los

residuos de insecticidas y sus metabolitos, pueden emplearse como biomarcadores de exposición y reacciones (Gupta, Malik, Mukherjee, & Dettbarn, 2019).

Figura 9

Estructuras químicas de insecticidas comúnmente utilizados.



Nota. Fuente: (Gupta, Malik, Mukherjee, & Dettbarn, 2019).

1. ORGANOCLORADOS

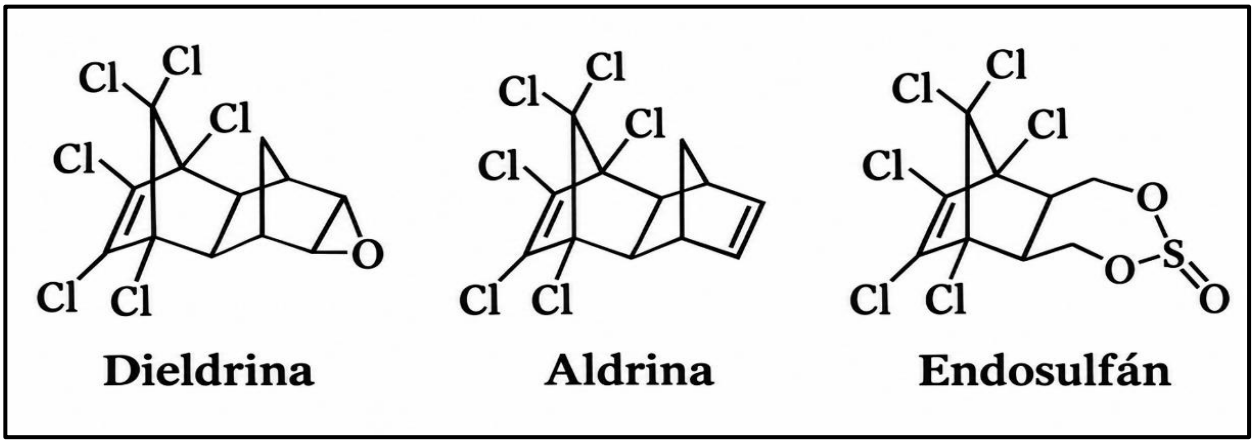
Los compuestos clorados, ciclodienos como la aldrina y la dieldrina, empleados como insecticidas, empezaron a ser accesibles en los años 40. El diclorodifeniltricloroetano (DDT) se presentó durante la Segunda Guerra Mundial y se empleó extensamente como insecticida a nivel global. Uno de los motivos por los que los organoclorados (OC) resultaron ser insecticidas eficaces fue su habilidad para mantenerse en el entorno. Por esa constancia, la mayoría han sido retiradas del uso en el presente (Ensley, 2018).

El lindano (gamma-hexaclorociclohexano) y el endosulfán son los óxidos de carbono más biodegradables y siguen en uso hoy en día. Los neurotransmisores alifáticos (DDT) influyen en los nervios periféricos y cerebrales al disminuir la absorción de sodio (Na^+) e inhibir la liberación de potasio (K^+). Esto provoca un exceso de K^+ intracelular en la neurona, lo que parcialmente

despolariza la célula. Durante los años 80, se estableció el mecanismo tóxico de los insecticidas OC de ciclodieno. Se reveló que estas sustancias funcionaban como antagonistas no competitivos que influían en el canal de iones cloruro del receptor de ácido gamma-aminobutírico A (Ensley, 2018).

Figura 10

Organoclorados.



Nota. Fuente: (Ensley, 2018).

2. CARBAMATOS

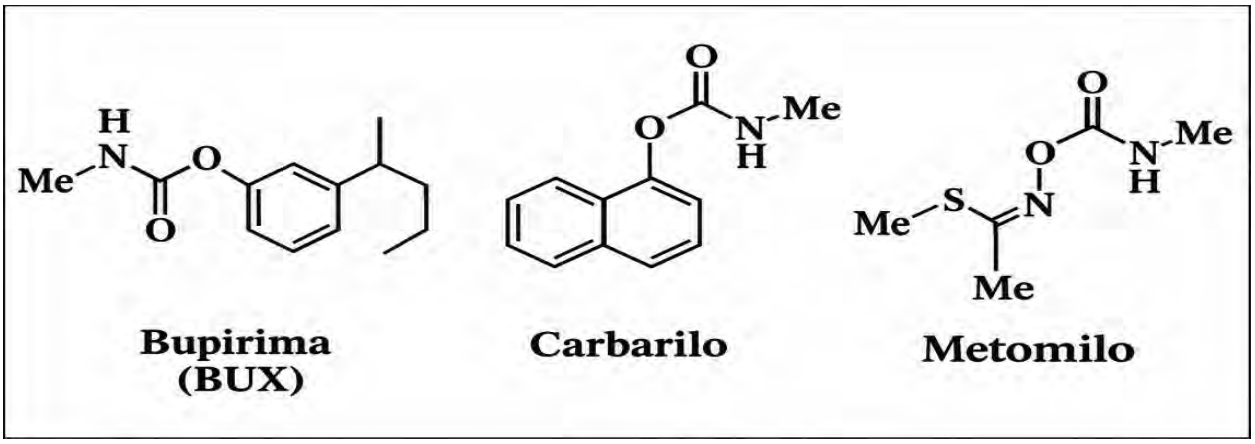
Los carbamatos son sustancias orgánicas que se originan del ácido carbámico (NH_2COOH). Los carbamatos, los ésteres de carbamato y los ácidos carbámicos son grupos funcionales que están estructuralmente interconectados y pueden ser químicamente interconvertidos (Vale & Lotti, 2015)

Los insecticidas basados en carbamatos surgieron en los años 50 como respuesta a la búsqueda de insecticidas que tengan actividad anticolinesteral, pero con una mayor especificidad y menor toxicidad para los mamíferos en comparación con los insecticidas organofosforados. Los carbamatos son ampliamente utilizados en numerosos países donde la industria agrícola es

relevante y el control de plagas es crucial, y a menudo se utilizan como opciones alternativas a los insecticidas organofosforados. Algunos medicamentos, como la fisostigmina y la piridostigmina, son frecuentemente utilizados en el ámbito clínico (Vale & Lotti, 2015).

Figura 11

Carbamatos.



Nota. Fuente: (Vale & Lotti, 2015).

3. ORGANOFOSFORADOS

Los organofosforados son sustancias químicas generadas a través de un proceso de esterificación que implica la participación de ácido fosfórico y alcohol. Estos compuestos químicos actúan como elementos esenciales en herbicidas, pesticidas e insecticidas, y poseen una extensa utilización en la producción de plásticos y disolventes. Los organofosforados son igualmente los elementos fundamentales del gas nervioso. En el organismo humano, los organofosforados funcionan como inhibidores de la enzima acetilcolinesterasa, generando una sobreabundancia de neurotransmisor acetilcolina (ACh). Este sobre abundancia de ACh en el organismo lleva a la aparición de síntomas vinculados con el toxídromo colinérgico. La exposición a compuestos organofosforados, tanto aguda como crónica, puede causar varios niveles de toxicidad en seres humanos, animales, plantas e insectos. esta tarea examina el mecanismo de acción de estos

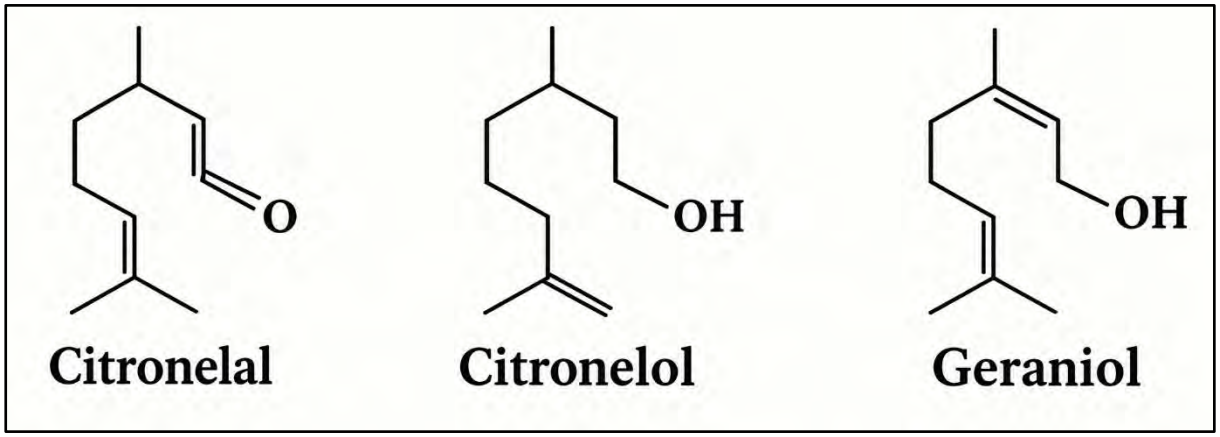
compuestos químicos, su efecto en los pacientes y el manejo de la exposición a materiales organofosforados. esta tarea también resalta la importancia crucial de un equipo interprofesional de atención médica en la valoración y atención de los individuos afectados por esta afección (Adeyinka, Muco, Regina, & Pierre, 2023).

2.8.REPELENTES

Los repelentes son sustancias (químicas o natural) aplicado sobre la piel, ropa o en el ambiente para ahuyentar insectos como mosquitos, garrapatas y moscas. Los repelentes de origen vegetal han sido empleados por generaciones en la tradición como estrategia de protección individual contra los mosquitos que persiguen visitantes. El saber acerca de las plantas repelentes tradicionales, adquirido mediante investigaciones etnobotánicas, es un recurso valioso para la creación de nuevos productos naturales. Recientemente, los repelentes comerciales con componentes de origen vegetal han adquirido una creciente popularidad entre los consumidores, dado que estos suelen ser vistos como "seguros" en comparación con los repelentes sintéticos ya establecidos desde hace mucho tiempo, aunque esto a veces es una percepción incorrecta (Maia & Moore, 2011).

Figura 12

Repelentes comunes más utilizados



Nota. Fuente: (Maia & Moore, 2011).

2.9.INSECTICIDAS DE ORIGEN BOTÁNICO

Los insecticidas botánicos son sustancias naturales con características insecticidas y su aplicación para proteger los cultivos es tan antigua como la práctica de la agricultura. Pese a haber sido empleados durante más de cien años, la aparición de insecticidas sintéticos lamentablemente ha reemplazado su empleo actual. Por su rápida acción, bajo costo, aplicación sencilla y eficacia frente a una variedad extensa de especies perjudiciales, los insecticidas sintéticos se han vuelto un componente esencial en la gestión de plagas en los sistemas de agricultura contemporáneos. No obstante, tras décadas de uso, se han hecho visibles sus efectos adversos, tales como la toxicidad para humanos y animales, la polución ambiental y la toxicidad para insectos no objetivo. Por ende, se está reactivando el interés en opciones menos riesgosas para el control de plagas. Se están fomentando especies vegetales que poseen acciones insecticidas reconocidas y se están llevando a cabo estudios para descubrir nuevas fuentes de insecticidas botánicos (Gršić & Grdiša, 2013).

La piretrina es el insecticida botánico más relevante, un metabolito secundario del piretro dálmico, el neem. Luego se encuentran los insecticidas que contienen aceites esenciales como la rotenona, la quassia, la ryania y la sabadilla. Poseen varias características químicas y mecanismos de acción. No obstante, ciertos rasgos comunes incluyen una rápida degradación ante la luz solar, el aire y la humedad, y una selectividad hacia insectos no objetivo. Lamentablemente, ninguno de estos insecticidas se utiliza extensamente para el control de plagas, pero es conocido por los cultivadores de cultivos orgánicos en las naciones industrializadas (Gršić & Grdiša, 2013).

2.10. EFECTO TÓXICO DE LOS INSECTICIDAS

Usualmente, se indica la toxicidad de los insecticidas o de cualquier otro tóxico a un ser vivo en términos de DL_{50} (dosis letal media); Medida estándar de la toxicidad del entorno alrededor. La mitad de la población (50%) de una prueba realizada en un animal concreto durante un periodo específico fallece debido a la exposición mediante la inhalación o la respiración. Como un análisis de toxicidad, los valores de CL_{50} no presentan una relación directa entre una especie y otra, ni con los seres humanos. La evaluación CL_{50} se realiza en microgramos o miligramos por litro, o por millón (ppm), de aire o agua. El material es más tóxico a medida que disminuye la cantidad CL_{50} (Mossa, Mohafrash, & Chandrasekaran, 2018).

Para determinar la susceptibilidad de cualquier grupo de insectos a cualquier veneno, se emplea el método CL_{50} a través de una evaluación probit que implica:

- Diagramar los índices de mortalidad registrados basándose en el logaritmo de las dosis utilizadas.

- Tras la representación gráfica de los puntos o valores de mortalidad, se traza la línea recta que esté más próxima a los valores de mortalidad observados.

- Luego, se proyecta una línea recta desde el 50% en el eje Y hacia la línea que representa los valores de mortalidad previstos; en ese punto de corte, se traza otra línea perpendicular a la anterior orientada hacia el eje X. El punto de corte en este eje nos señalará la dosis que genera un 50% de mortalidad o CL_{50}.

El resultado es una línea recta donde podemos interpolar el 50% de la respuesta y determinar la concentración de tóxico que provoca dicha respuesta (Delgado, 2015).

2.11. PRINCIPALES MÉTODOS DE APLICACIÓN DE INSECTICIDAS

Hoy en día, existen diversos métodos de uso de insecticidas, plaguicidas y pesticidas que se aplican en función de la composición del pesticida, la plaga y el área a tratar. Los productos como insecticidas, plaguicidas y pesticidas en estos últimos año o décadas son de origen sintético y natural u orgánicos que se utilizan para contrarrestar las plagas, insectos y muchas enfermedades. Una alternativa adecuada en este contexto es la utilización de plantas aromáticas y sus derivados, cuya acción repelente o insecticida sobre distintos insectos y otros artrópodos plaga ha sido reportado en múltiples investigaciones (Flores, Ramos, Gonzáles, Zavala, & Soto, 2020).

Los principales métodos de aplicación son los siguientes:

1. **Aspersión.**

Este método se emplea principalmente en usos líquidos, siendo este el que se relaciona más con los controladores de plagas. Se aplica en fisuras y cavidades, bandas en la superficie, tanto en

el entorno de la propiedad como en zonas específicas. Se aplica a la mayoría de los insectos rastreros; su aplicación se basará en lo que señala la etiqueta del producto o concentración suficiente para causar la mortalidad (Marquez, s.f)

2. Cebado.

Este procedimiento implica el uso de un insecticida o rodenticida que contenga un atrayente alimenticio, que torne el producto más atractivo para el insecto y que, al interactuar con el producto a través de la ingesta, se contamine. Algunos productos de esta categoría son el gel para el cucarachicida y los cebos para el rodenticida (Marquez, s.f)

3. Espolvoreo.

Se emplea principalmente para aplicar polvos en grietas, fisuras y en sitios donde la utilización de líquidos no resulta adecuada, como, por ejemplo. Una superficie eléctrica. Es importante tener en cuenta que no todos los pesticidas en polvo pueden utilizarse con este método, solo aquellos que se indican en su etiqueta. Principalmente se enfoca en insectos rastreros, termitas, hormigas y demás (Marquez, s.f).

4. Nebulización.

También denominado ULV (Ultra Bajo Volumen en inglés), este procedimiento implica generar una niebla extremadamente fina. Esto se consigue al combinar en el nebulizador el insecticida y el aire comprimido, lo que reduce al mínimo el tamaño de la gota y permite su mantenimiento en el entorno. Este procedimiento se aconseja para manejar espacios de gran tamaño y alta altura, como son: Almacenes, Bodegas, espacios con techos elevados, entre otros.

Sugerencia para combatir insectos voladores, plagas de productos en almacenaje, insectos de seguimiento, entre otros (Marquez, s.f).

5. Aplicación gel.

Este procedimiento requiere el uso de una pistola específica que nos facilita una aplicación del gel más minuciosa y limpia. Se aconseja para el control de hormigas y cucarachas. Perfecto para su uso en cocinas, oficinas, laboratorios, hospitales y zonas altamente delicadas. Su éxito se basa en que no se requiere desalojar zonas y es altamente seguro, dado que su implementación es muy oportuna (Marquez, s.f).

6. Termonebulización.

Utilizado para el control de plagas, vectores y desinfecciones. La termonebulización se encarga de producir gotas extremadamente finas, empleando energía termo-neumática. La mezcla líquida se vaporiza en el dispositivo de uso (Termonebulizadora) y se transforma en un aerosol delgado que se condensa al interactuar con el aire exterior, que está a una temperatura más baja, generando una niebla gruesa y perceptible. Este procedimiento permite el uso de insecticidas, aceites, desinfectantes y fungicidas (Marquez, s.f)

Esta niebla alberga una dosis mínima del componente activo en la micro gota, con la característica de mantenerse en el aire y desplazarse extensas distancias sin disminuir su eficacia, llegando a cualquier parte de la instalación. Este procedimiento se aconseja para manejar espacios de gran tamaño y alta altura, como los siguientes: Almacenes, Bodegas, espacios con techos elevados, entre otros y recomendado para combatir insectos voladores, plagas de productos en almacenaje, insectos de seguimiento, entre otros (Marquez, s.f)

7. Aspiración.

Técnica altamente aconsejable cuando enfrentamos una infestación intensa, dado que contribuye a reducir rápidamente la población. Un buen consejo es llevar a cabo una aplicación dirigida con una piretrina en aerosol en la zona problemática, esto provocará que la plaga se disperse y podamos aspirarla. Se aconseja emplear una aspiradora de alta gama y añadir algo de insecticida en el contenedor de almacenamiento de la aspiradora (Marquez, s.f).

8. Fumigación.

Se emplea incorrectamente este término para referirse a cualquier tipo de tratamiento contra las plagas. No obstante, la Fumigación implica el uso de polvos suspendidos, vapores, gases o humo para desinfectar un objeto o erradicar plagas. Usualmente se emplea en el sector agrícola o para la manipulación de granos almacenados (Marquez, s.f)

9. Vaporización.

Principalmente se emplea para la regulación de la chinche de cama. Es extremadamente seguro, dado que no se emplea ninguna sustancia química. Se utiliza vapor seco que debe alcanzar 180 °C. Este vapor tiene la capacidad de eliminar completamente los huevecillos y una gran cantidad de insectos en movimiento en la primera pasada. Además, resulta sumamente beneficioso en los servicios de desinfección. Garantiza el uso de una vaporizadora que llegue a 180°C, de lo contrario, no se puede lograr el objetivo (Marquez, s.f).

2.12. CLASIFICACIÓN SISTEMÁTICA DE INSECTO *Linepithema sp*

El género *Linepithema sp* forma parte de la subfamilia Dolichoderinae. Actualmente comprende 20 especies repartidas por América, aunque han surgido colonias invasoras en otras regiones del planeta, a causa de acciones humanas (Wild, 2007)

Reino: Animalia

Clase: Insecta

Orden: Hymenoptera

Familia: Formicidae

Género: *Linepithema*

Especie: *Linepithema sp.*

Nombre común: Hormiga marrón, Hormiga Argentina,

2.12.1. DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA

La familia formicidae tiene una cabeza prognata, un segmento basal antena largo y un flagelo que consta de 4 a 12 segmentos en hembras y 9 a 13 en machos, ambos con ocelos. Las que se encuentran en todos los machos y la mayoría de las hembras, pueden tener hasta dos celdas. Estructura mesosoma y metasoma. Las hembras se asemejan bastante a las obreras, aunque siempre poseen un mesosoma fuerte y alas, que se pierden al ser fecundadas; los machos son de tamaño reducido y elegante (Gallego, 2017).

Son de tonalidad marrón oscuro resplandeciente con zonas de dos tonalidades de marrón claro resplandeciente y amarillo oscuro resplandeciente. Además, se distingue por dos rasgos fundamentales: el propodeo es visible dorsalmente, no escondido bajo el abdomen y el mesosoma no tiene espinas; además, este género posee dos pelos cortos en la parte anterior del clípeo (Palacio, 2003). Esta especie desempeña un papel crucial en las hojas al alimentarse de insectos muertos pertenecientes a las familias Chrysomelidae (Coleoptera) y Dolichoderinae (Diptera). En contraste, las especies pertenecientes a este género son omnívoras (alimentación generalista) y se muestran con facilidad con cebos (Silvestre & Silva, 2003).

Figura 13

Insectos de Linepithema sp.



Nota. Fuente: (Iriberri, 2020).

2.13. ACCIÓN FISIOLÓGICA DE ACEITES ESENCIALES FRENTE A INSECTOS

Los aceites esenciales se distinguen por su efecto neurotóxico en insectos y por su reducida toxicidad para mamíferos y otras especies. Este efecto tóxico tiene una relación directa con los

metabolitos secundarios como monoterpenos, sesquiterpenos y fenilpropanos que los forman y también con las características químicas que tienen (Patiño, 2018).

Basándonos en esto, los aceites esenciales pueden causar daño al insecto a través vías de contacto:

- Inhalación: Debido a su abundancia en compuestos variables, provoca su volatilidad. Impregnado es un material sólido, el insecto puede inhalar causando la toxicidad.
- Contacto: Los insectos mueren debido a la creación de un film impermeable, lo que causa la asfixia del insecto.
- Absorción: Por su naturaleza lipofílica son incorporados en la cutícula de los insectos debido a su naturaleza lipofílica.
- Ingestión: Los insectos experimentan una intoxicación después de consumir producto impregnada con aceite.

Los aceites esenciales y sus componentes, tales como α-pineno, eugenol, limoneno, terpinol, citronelol, citronelal, alcanfor, cineol y timol, se distinguen por su rápida acción tóxica en los insectos. Entre los mecanismos que se han estudiado se incluyen:

- La interferencia con la octopamina, neuromodulador.
- La obstrucción de los conductos del ácido gamma-aminobutírico; la restricción de la acetilcolinesterasa
- Obstrucción de los canales iónicos
- Restricción de la cadena de transmisión de electrones

- Restricción de la acción catalítica de las enzimas que desintoxican (Murray, 2006).

2.14. PISOS ECOLÓGICOS DE LA REGION CUSCO

El departamento de Cusco presenta una gran diversidad de pisos ecológicos debido a su amplia variación altitudinal y a la complejidad de su topografía, factores que determinan la existencia de diferentes condiciones climáticas y una amplia diversidad de flora y fauna. Estos pisos ecológicos pueden ser categorizados de acuerdo con la clasificación propuesta por el geógrafo peruano Javier Pulgar Vidal, quien identificó ocho regiones naturales en el territorio peruano (Aragón & Chuspe, 2018).

1. **Selva baja u Omagua (menos de 400 msnm)**. Solo un reducido segmento del departamento de Cusco adquiere esta zona en la Amazonía (área de megantoni), caracterizada por su clima tropical y su biodiversidad amazónica.

2. **Costa o chala (0 – 500 msnm)**. Solo una pequeña área de Cusco, como el distrito de Echarate en la provincia de Convención, se encuentra en áreas bajas próximas a la selva, experimentando un clima cálido y húmedo.

3. **Selva Alta o Rupa (400 – 1000 msnm en la vertiente amazónica)**. En la provincia de Convención, existen áreas tropicales como Quillabamba y Santa Teresa, caracterizadas por un clima cálido y húmedo, donde se cultivan cacao, café y frutas exóticas.

4. **Yunga (500 – 2300 msnm)**. Son zonas subtropicales en los valles entre los Andes, que forman parte de la provincia de Convención y Calca, con un clima templado, perfecto para la siembra de café, coca y frutas.

5. **Quechua (2300 – 3500 msnm).** La zona de valles fértiles es donde se desarrolló una gran cantidad de la agricultura incaica, abarcando ciudades como Cusco, Urubamba y una porción de Calca, con clima templado donde se cultivan maíz, trigo y habas.

6. **Suni o Jalca (3500 – 4100 msnm).** Son áreas con clima templado a frío que están ubicadas dentro de esa altitud; donde, se denomina es dos pisos ecológicos como son: Suni (valle alto) que esta entre 3500 – 3650, donde se cultiva agricultura diversa como papa, maíz, trigo, hortalizas y algunos frutales. Y el otro se denomina como Puna baja (Jalca) que esta entre 3650 – 4100 m, donde hay cultivo de tubérculos menores, quinua, cebada, crianza de ganado (vacuno, ovino, camélidos) y abarcando zonas que forman parte de Canchis, Espinar y Chumbivilcas.

7. **Puna (4100 – 4800 msnm)**. son regiones altoandinas que funcionan como pastizales naturales para la crianza de auquénidos como llamas y alpacas, caracterizadas por un clima frío y seco con frecuentes heladas. Incluyen áreas como Chumbivilcas, Sicuani y extensas áreas en Espinar.

8. **Janca o Cordillera (4800 – 6768 msnm)**. La región se encuentra repleta de nieve constante y montañas altas, tales como el Ausangate y el Salkantay, con un clima glacial y escasa vegetación (Aragón & Chuspe, 2018).

Estos pisos ecológicos facilitan una amplia variedad de cultivos, desde papas nativas en Puna hasta café en la Yunga. Es relevante ya que afecta la agricultura y las costumbres de las comunidades andinas y amazónicas, además; resulta atractivo para el turismo debido a sus diversos paisajes como montañas, valles y selvas (Aragón & Chuspe, 2018).

2.14.1. COMPOSICIÓN DE LOS ACEITES ESENCIALES Y LOS PISOS ECOLÓGICOS

La composición química de los aceites esenciales en las plantas varía considerablemente con el medio ecológico (altitud, clima, suelo y otros elementos del entorno). Estas fluctuaciones son resultado de las adaptaciones de las plantas a las circunstancias particulares de cada piso ecológico. A continuación, se describen los factores clave que determinan la variación (Carrasco & Simbaña, 2016).

Altitud y clima

Mayor y altitud (paramos, zonas altoandinas) Las plantas tienden a generar aceites que contienen un alto porcentaje de monoterpenos (como el limoneno y el pineno) como mecanismo de protección frente a la radiación UV y el calor. Algunas especies potencian la actividad antioxidante de compuestos fenólicos (timol, carvacrol). Los aceites de romero (Rosmarinus officinalis) que se encuentran en áreas elevadas pueden contener más α-pineno y canfeno (Carrasco & Simbaña, 2016).

Zonas bajas (selvas tropicales valles cálidos) Prefieren sesquiterpenos (como el B-cariofileno) y compuestos más volátiles a causa de las elevadas temperaturas, y existe una mayor variedad de compuestos aromáticos (linalool, citronelal) en plantas que se han adaptado a polinizadores particulares. En áreas de calidad, el aceite de citronela (Cymbopogon spp.) posee un contenido superior de citronelal y geraniol (Carrasco & Simbaña, 2016).

Tipo de suelo

Suelos ricos en nutrientes: benefician la producción de compuestos nitrogenados y alcaloides vinculados a los aceites.

Suelos pobres o secos: Las plantas tienen la capacidad de incrementar la generación de terpenoides (como el mentol presente en la menta) con el fin de disminuir la pérdida de agua (Carrasco & Simbaña, 2016).

Disponibilidad hídrica

- **zonas áridas.** Son regiones que presentan muy poca disponibilidad de agua**,** debido a que las precipitaciones son escasas y la evaporación suele ser elevada. Estas condiciones generan suelos secos y una limitada disponibilidad de agua para las plantas. Los aceites tienden a tener un mayor contenido de fenoles y terpenos (como el timol en el orégano) como defensa frente a herbívoros y el estrés del agua.

- **Zonas húmedas.** Son regiones donde existe mayor disponibilidad de agua, debido a que las precipitaciones son relativamente abundantes y la humedad ambiental es elevada. Esto favorece la presencia de vegetación y una mayor disponibilidad de agua en el suelo. Podrían contener una mayor cantidad de esteres y alcoholes (por ejemplo, el aceto de linalilo en lavanda) (Carrasco & Simbaña, 2016)

- **Radiación solar.** Es la energía proveniente del Sol que llega a la superficie terrestre**.** Esta energía influye directamente en la temperatura, la evaporación del agua y la transpiración de las plantas. La exposición a los rayos UV aumenta la producción de compuestos de protección como los flavonoides y los terpenos, por ejemplo; el aceite de Tagetes (clavelillo) en áreas soleadas posee más tagetona.

- **Variaciones estacionales**. Son los cambios que ocurren durante las diferentes estaciones del año en variables como la precipitación, temperatura, humedad, radiación solar y

disponibilidad de agua. En periodos de sequía, ciertos aceites incrementan su contenido de monoterpenos, mientras que, en periodos de lluvia, pueden prevalecer los sesquiterpenos (Carrasco & Simbaña, 2016).

2.15. HIPOTESIS

Hipótesis general

La composición química del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata varía según el piso ecológico de procedencia, y dichas variaciones influyen en el efecto insecticida sobre adultos de *Linepithema sp.*

Hipótesis especificas

- El porcentaje de extracción del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata varía entre los tres pisos ecológicos.
- Las características fisicoquímicas del aceite del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata presentan diferencias según el piso ecológico de procedencia.
- La composición química del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata presenta diferencia en el porcentaje de abundancia de sus compuestos según el piso ecológico de procedencia.
- El efecto insecticida del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata sobre los insectos de *Linepithema sp,* varía según el piso ecológico de procedencia.

2.15.1. VARIABLES

- **Variable Independiente**

Aceite esencial de *Mentha x piperita* var, citrata procedente de tres pisos ecológicos.

- **Variable Dependiente**

Efecto insecticida sobre los insectos adultos de *Linepithema sp.*

2.15.2. VARIABLES INTERVINIENTES

- **CONTROLADAS**

Lugar de colección, homogeneidad de la muestra, condiciones de extracción y condiciones de experimentación de efecto insecticida de los aceites esenciales de los tres pisos ecológicos.

- **NO CONTROLADAS**

Ciclo vegetativo de la planta durante el muestreo y periodo de vida de los animales de experimentación.

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, de nivel descriptivo – comparativo y de diseño experimental.

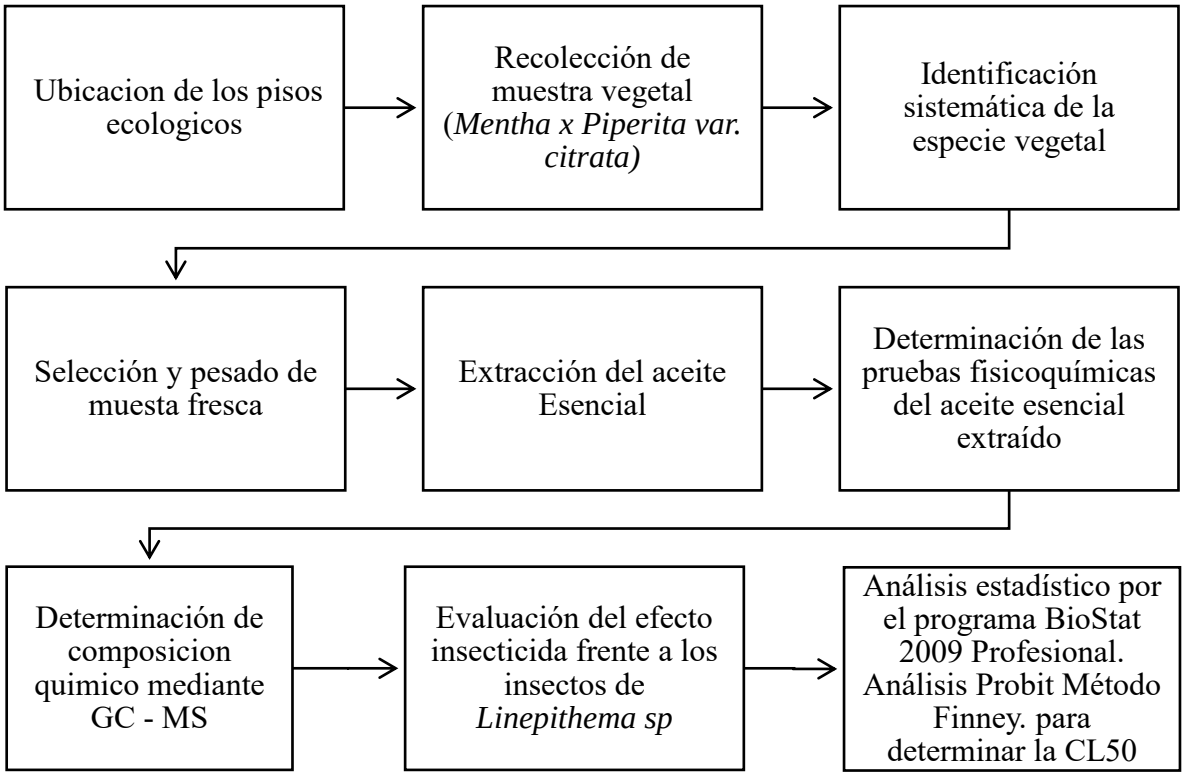
El enfoque cuantitativo, los datos obtenidos del porcentaje de extracción, las propiedades fisicoquímicas, la composición química y la actividad insecticida del aceite esencial serán evaluadas y analizadas mediante procedimiento estadístico. Así mismo la investigación es de tipo aplicada, ya que está orientada a generar conocimiento con aplicación práctica mediante la evaluación comparativa de la composición química del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata procedente de tres pisos ecológicos y la determinación de su efecto insecticida sobre los insectos de *Linepithema sp,* con la finalidad de aportar evidencia científica de este recurso natural como alternativa para el control de insectos.

Es de nivel descriptivo – comparativo, describe las características fisicoquímicas, la composición química del aceite esencial determinada por CG – MS y compara dichas características y su efecto insecticida entre muestras procedentes de tres pisos ecológicos. La investigación también presenta un diseño experimental, ya que se manipula la variable independiente, correspondiente al aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata procedente de tres pisos ecológicos y sus concentraciones, para evaluar su efecto sobre la variable dependiente que es la mortalidad de insectos *Linepithema sp*, bajo condiciones controladas de laboratorio.

3.2.PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

El desarrollo de la investigación incluye las siguientes etapas:

Diagrama de flujo del trabajo experimental



3.2.1. MATERIALES, INSTRUMENTOS, EQUIPOS Y REACTIVOS

MATERIALES DE CAMPO

- Cuaderno de campo.
- Lapiceros.
- Cámara fotográfica modelo Samsung A31
- Papel Kraft.
- Tijeras.
- Tijera de podar.

- Etanol al 70%.
- Plumón indeleble.
- Cinta embalaje.
- Altímetro (ws – 110)

MATERIALES DE LABORATORIO

- Tubos de ensayo.
- Vasos precipitados de 50, 100, 250 mL.
- Matraces de 50 – 500 mL.
- Bureta.
- Baguetas.
- Embudos de vidrio.
- Termómetro de 100 °C
- Pinzas.
- Probetas de 25 – 100 mL.
- Pipetas graduadas de 1 – 10 mL.
- Picnómetro de 10 mL.
- Jeringas de 5 – 10 mL.
- Frascos de color ámbar de 10 – 20 mL.
- Desecador.
- Picnómetro de 5ml.
- Micropipetas de 10 – 100 µL.
- Micropipetas de 10 – 200 µL.
- Termómetro de 100 °C.
- Puntas para micropipetas de 50 µL.

EQUIPOS DE LABORATORIO

- Balanza analítica (Precisa Gravimétrica AG 321 LX).
- Equipo de hidrodestilación con trampa Clevenger Movilab.
- Estufa (Memmert UF 30).
- Centrifuga (Hermle Z 206 A).
- Refractómetro (Abbe Refractometer).
- Polarímetro (Rodolph Research Analytical Autopol I).
- Cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas (Trace 1310 Thermo Scientific).
- Refrigeradora (Fiocchetti Scientific Refrerators).

REACTIVOS

- Acetona (C_3H_6O) Q.P.
- Ácido clorhídrico (HCl) 0.1 N.
- Agua destilada.
- Cloroformo ($CHCl_3$) Q.P.
- Etanol al 40, 50, 70 y 95%. v/v
- Fenolftaleína ($C_{20}H_{14}O_4$) al 0.1 % p/v.
- Hexano (C_4H_{14}) Q.P.
- Hidróxido de sodio NaOH 0.1 N.
- Metanol (CH_3-OH) Q.P.
- n-Heptano (C_7H_{16}) Q.P.
- Solución estandarizada de HCl 0.125 N.
- Solución etanolica de KOH 0.1 N.
- Solución estandarizada de KOH 0.127 N.
- Sulfato de sodio anhidrido (Na_2S0_4)

- Tween 80 Q.P.
- Insecticida patrón.

3.2.2. MUESTREO DE LA ESPECIE VEGETAL

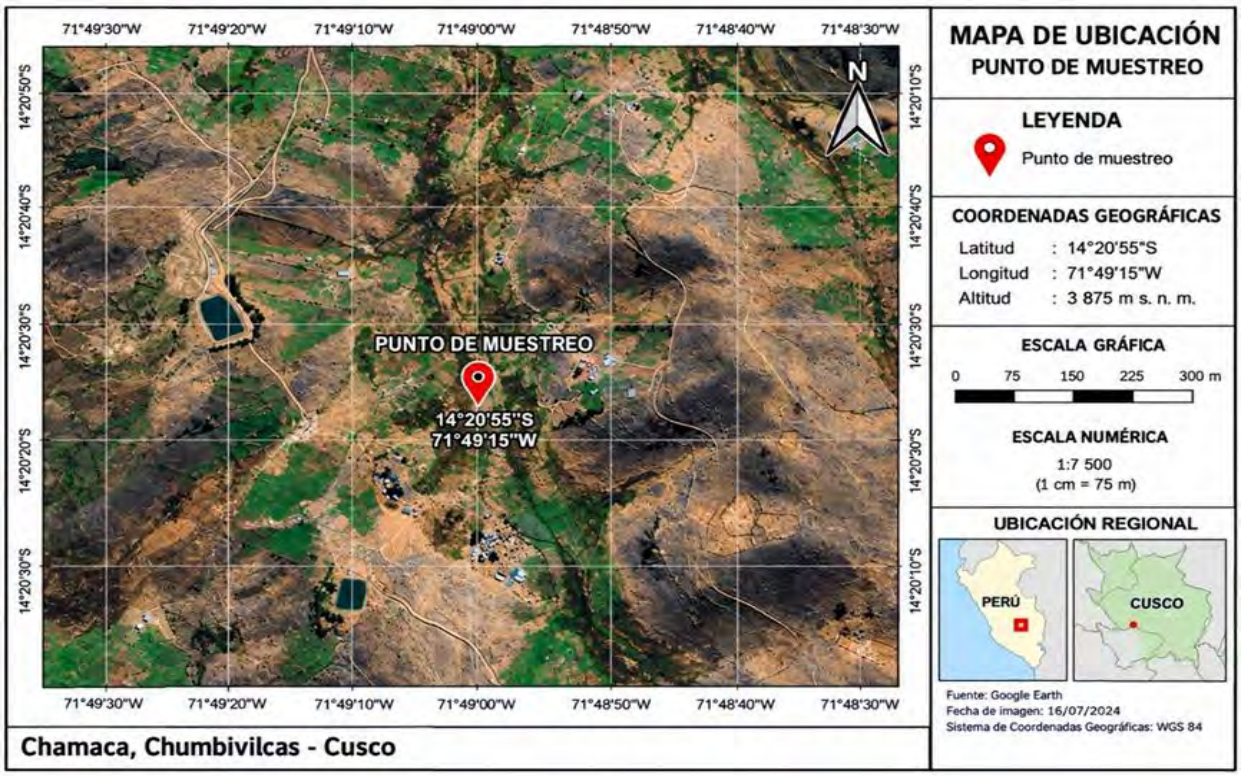
a. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

- **Distrito de Chamaca, Provincia de Chumbivilcas – Cusco**

La recolección del material vegetal se realizó en el sector de Acchalia del Distrito de Chamaca, Provincia de Chumbivilcas, Departamento de Cusco; con una superficie territorial de 674,2 km². El Distrito de Chamaca se encuentra entre las coordenadas 14°20′55″ S de latitud sur y 71°49′15″ W de longitud oeste, a una altitud de 3875 m.s.n.m. *Nota*. Fuente: Google Earth

Figura 14

Ubicación geográfica de Distrito de Chamaca Provincia de Chumbivilcas - Cusco



- **Distrito de San Sebastián, Provincia de Cusco – Cusco**

La segunda recolección de material vegetal fue en la comunidad de Ccorao del distrito de San Sebastián, Provincia de Cusco; se encuentra entre las coordenadas 13° 27' 55" S de latitud sur y 71° 55' 55" W longitud oeste a una altitud de 3620 m.s.n.m.

Figura 15

Ubicación geográfica de Ccorao del distrito de San Sebastián - Cusco



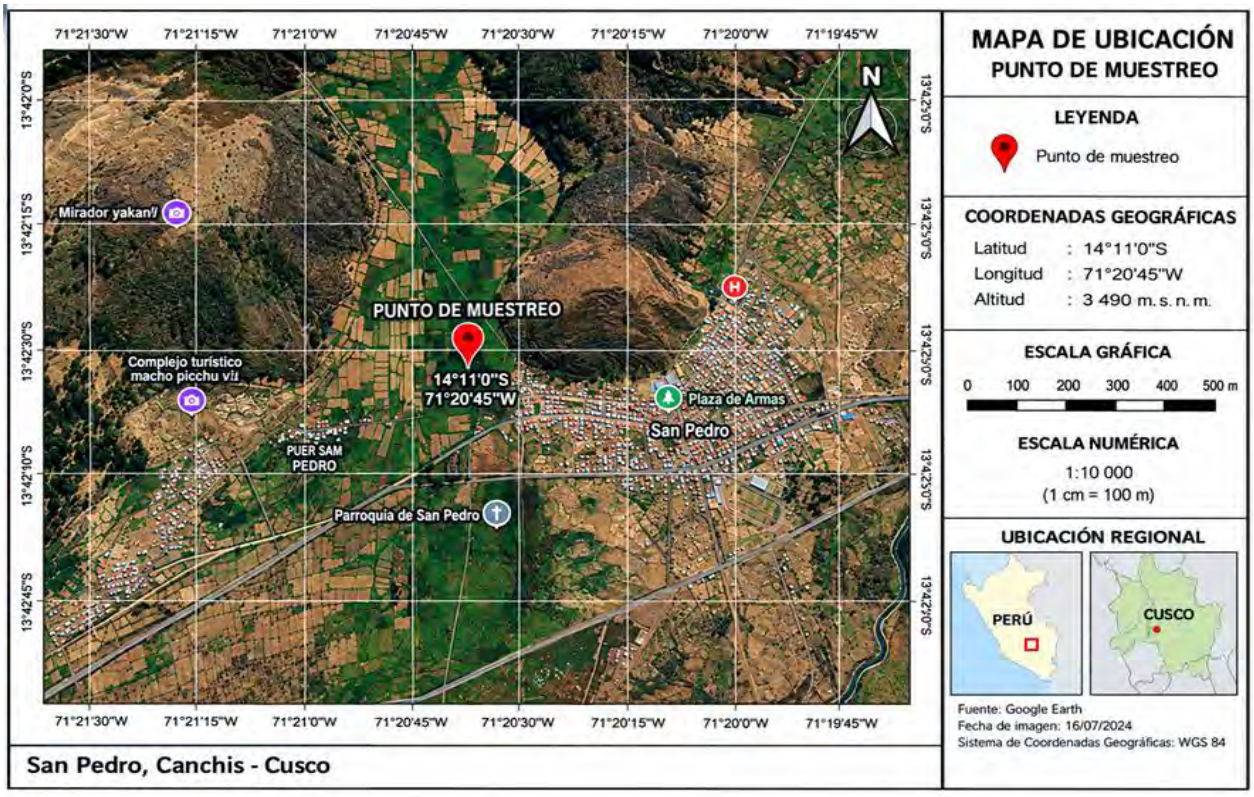
Nota. Fuente: Google Earth

- **Distrito de San Pedro, Provincia de Canchis – Cusco**

Tercera recolección se realizó en los alrededores del distrito de San Pedro, Provincia de Canchis del departamento de Cusco, entre las coordenadas de 14° 11' 10" S de latitud sur y 71° 20' 45" W longitud oeste, a una altitud de 3490 m.s.n.m.

Figura 16

Ubicación geográfica de Distrito de San Pedro Provincia de Canchis - Cusco



Nota. Fuentes: Google Earth

b. RECOLECCIÓN DE MUESTRA

Para llevar a cabo la investigación, se recolectaron las muestras de *Mentha x piperita* var. citrata, con un tamaño de 20 – 30 cm de altura conformada por hojas y tallos verdes en plena etapa

de floración, la recolección de las muestras se llevó a cabo en tres pisos ecológicos del departamento de Cusco:

- Primer piso ecológico a 3875 m.s.n.m, (puna baja) con el código M1; de la Comunidad de Añahuichi de Distrito de Chamaca, Provincia de Chumbivilcas del Departamento de Cusco
- Segundo piso ecológico a 3620 m.s.n.m (suni alto) con el código M2; de la comunidad de Ccorao del Distrito de San Sebastián, Provincia Cusco del Departamento de Cusco,
- Tercer piso ecológico a 3490 m.s.n.m (suni) con el código M3; de los alrededores del Distrito de San Pedro, Provincia de Canchis del Departamento de Cusco,

Se colectó aproximadamente dos kilos de muestra fresca de cada piso ecológico para la obtención de aceite esencial; las muestras colectadas fueron depositadas en una bolsa de papel y debidamente rotulado, luego de manera inmediata fueron transportados al laboratorio de fitoquímica de la Escuela Profesional de Química de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, para su selección y extracción de aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata.

c. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Para la obtención de aceite esencial, las muestras frescas de *Mentha x piperita var*. citrata, procedentes de los tres pisos ecológicos, previamente fueron separados solo hojas y tallos en un buen estado de conservación, libre de todo material extraño; luego fueron fragmentadas en partículas más pequeñas para el proceso de extracción de aceite esencial.

3.2.3. EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL

La extracción de los aceites esenciales de *Mentha x piperita* var. citrata, se realizó en el laboratorio de Fitoquímica de la Escuela Profesional de Química, por el método de hidrodestilación con trampa de Clevenger, siguiendo el procedimiento reportado por (Solís, 2018), cuyo procedimiento se detalla a continuación:

- Se pesó 350 gramos la muestra de *Mentha x piperita* var. citrata para las tres muestras.
- La muestra debidamente pesada se depositó en un balón del equipo de hidrodestilación sumergido en agua, y luego se llevó a ebullición mediante una fuente de calor.
- El vapor del agua arrastró el aceite esencial de *Mentha x piperita* var. Citrata enfriándose en el refrigerante por condensación se separó el aceite esencial y se recolectó en la trampa de Clevenger.
- Se medió el volumen del aceite esencial y se trasvasó a un frasco de vidrio ámbar.
- Posteriormente se secó el aceite esencial con sulfato de sodio anhidro.
- Para las tres muestras de *Mentha x piperita* var. citrata (M1, M2 y M3), de los tres pisos ecológicos se repitieron el mismo procedimiento.

El porcentaje de extracción se calcula con el peso de la muestra fresca y el volumen del aceite esencial obtenido, empleando la siguientes formula.

$$\%E = \frac{\text{Volumen de aceite obtenido (mL)}}{\text{Peso de muestra (g)}} \text{ x100}$$

3.3.CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL ACEITE ESENCIAL

Para describir las características fisicoquímicas de los aceites esenciales de *Mentha x piperita* var. citrata, se emplearon métodos y técnicas estandarizadas que se describen a continuación:

3.3.1. PRUEBA DE SOLUBILIDAD

Los aceites esenciales, dependiendo de la estructura y polaridad de sus componentes pueden formar mezclas homogéneas con diferentes disolventes y soluciones etanólicas de diferentes concentraciones. Las pruebas de solubilidad se realizaron tomando en cuenta la Norma Técnica Peruana (319.084) para pruebas de solubilidad.

PROCEDIMIENTO:

- Se mezcló 0.2 mL de aceite esencial con 1 mL de solvente (agua, etanol del 40%, 50%, 70% y 95%, metanol, acetona, hexano y cloroformo).
- Después se sometió a una ligera agitación y luego se observó la solubilidad.
- Este procedimiento se llevó a cabo por triplicado, bajo condiciones ambientales.

Aplicando la Norma Técnica Peruana INDECOPI 319.084 (Chavez, 2002)

3.3.2. DETERMINACIÓN DE DENSIDAD RELATIVA

La densidad relativa se refiere a la correlación entre la masa de un volumen de aceite esencial y la masa de un volumen equivalente de agua destilada a la temperatura de 20°C como referencia. La densidad de los aceites esenciales se determinó en un picnómetro aplicando la Norma Técnica Peruana INDECOPI 319.08 (Chavez, 2002).

PROCEDIMIENTO:

- Primero se pesó el picnómetro limpio, vacío y seco.
- Posteriormente, se llenó con agua destilada, procurando evitar la formación de burbujas de aire. Luego, se introdujo en un baño isotérmico a 20 °C durante 30 minutos, controlando la temperatura mediante el termómetro del picnómetro.
- Una vez alcanzada la temperatura de equilibrio, se enrasó la rama capilar con agua destilada a la misma temperatura. A continuación, el picnómetro se retiró del baño isotérmico, se secó cuidadosamente por su parte externa y se determinó su masa.
- Posteriormente, el picnómetro se vació, se limpió y se secó completamente. Luego, se llenó con el aceite esencial y se repitió el mismo procedimiento empleado con el agua destilada, determinándose finalmente la masa del picnómetro con el aceite esencia

La densidad se calculó aplicando la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{P_2 - P}{P_1 - P}$$

Donde:

$\rho =$ densidad relativa

P = peso del picnómetro vacío.

P_1 = peso del picnómetro lleno con agua destilado a 20 °C.

P_2 = peso del picnómetro lleno con aceite esencial a 20 °C.

3.3.3. ÍNDICE DE REFRACCIÓN

El índice de refracción determina la correlación entre la velocidad de difusión de la luz en el aire y la muestra líquida de aceite esencial. El índice de refracción de los aceites esenciales se determinó en el refractómetro de Abbe. aplicando la Norma Técnica Peruana INDECOPI 319.075 (Chavez, 2002).

PROCEDIMIENTO:

- El refractómetro previamente fue calibrado con agua destilada a una temperatura de 20°C.
- El instrumento se sometió a una circulación de agua a 20°C, con el fin de que el instrumento alcance esta temperatura, a la cual se llevaron a cabo las mediciones.
- Para determinar el índice de refracción se colocó una gota de aceite esencial en los prismas limpios y secos, se esperó hasta que alcance la temperatura y después se tomó la lectura en el refractómetro de Abbe.

3.3.4. DETERMINACIÓN DE LA ROTACIÓN ÓPTICA

Se refiere a la rotación de un plano polarizador de un haz de luz polarizado por una sustancia ópticamente activa; se refleja en un ángulo α, que constituye los planos polarizadores del haz que incide y el haz que emerge en dicha sustancia, conocido como ángulo de rotación óptica. La rotación óptica de los aceites esenciales se determinó en el polarímetro aplicando la Norma Técnica Peruana INDECOPI 319.076 (Chavez, 2002).

PROCEDIMIENTO:

- Se preparó las soluciones de los aceites esenciales de *Mentha x piperita* var. citrata al 1% en etanol absoluto.
- El equipo se calibró con etanol absoluto, con el tubo del polarímetro de 1 dm de longitud y con una capacidad de 10 mL.
- Luego el tubo del polarímetro se llenó con la solución de aceite esencial a 20°C y luego se registró la lectura de la rotación óptica en el polarímetro.

3.3.5. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ACIDEZ

El índice de acidez del aceite esencial se determinó mediante el método volumétrico de titulación ácido-base, siguiendo lo descrito por la normativa técnica peruana 319.085:1974 (Chavez, 2002).

El índice de acidez se establece mediante la neutralización de los ácidos libres, utilizando una disolución de KOH de 0.1 N. en presencia de un indicador de fenolftaleína del 0.1%.

$$R - COOH + KOH \rightarrow R - COOK + H_2O$$

$$\text{Acido} \quad + \quad \text{Base} \rightarrow \quad \text{Sal} \quad + \quad \text{Agua}$$

Método: titulación acido – base.

PROCEDIMIENTO:

- Se pesó 0.410 gramos de aceite esencial en un matraz de Erlenmeyer de 100 mL.

- Después se añadió un volumen de 10 mL de etanol neutralizado y 3 gotas de indicador de fenolftaleína al 0,1 %.
- Posteriormente se realizó la titulación con una solución de hidróxido de potasio 0.10 N hasta que cambie un viraje de color rosado y se anotó el volumen gastado.
- El procedimiento se realizó por triplicado.

El índice de acidez se determinó mediante esta fórmula:

$$IA = (56.1 \text{ x } Vg \text{ x } N)/M$$

Donde:

Vg = ml de KOH gastados.

N = Normalidad de KOH

56.1 = Meq de KOH en mg.

M =Peso de muestra en gramos.

3.3.6. DETERMINACIÓN DE ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN

El índice de saponificación (IS) se define como la cantidad de miligramos de KOH que se necesitan para saponificar 1 g de aceite esencial, determinando la presencia de esteres. Se determinó aplicando el método descrito y reportado por las Normas Técnicas Peruanas (Chavez, 2002).

$$R - COOR' + KOH \rightarrow R - COOK + R' - OH$$

PROCEDIMIENTO:

- En un matraz Erlenmeyer de 250 mL, se pesó 0.410 g de aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata,
- después se añadió 15 mL de solución etanolica de hidróxido de potasio 0.1 N y se reflujo durante 30 minutos.
- después de enfriar se añadió 3 gotas de indicador fenolftaleína al 0.1%.
- Posteriormente se tituló con una solución de ácido clorhídrico 0.1 N hasta que el color cambie. Además; se llevó a cabo una titulación en blanco con una muestra de aceite esencial que no haya sido saponificada.
- El procedimiento se realizó por triplicado.

El índice de saponificación se calculó por mediante esta fórmula:

$$IS = \frac{56.1\ X\ N\ (V_1 - V_2)}{M}$$

Donde:

N = concentración de HCl 0.1 N.

56.1 = Meq de KOH en mg.

V1 = Volumen gastado en mL de HCl en blanco

V2 = Volumen gastado en mL de HCl en la muestra.

M = masa en granos de la muestra.

3.3.7. DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA

La determinación de la composición química del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata se realizó por Cromatografía de Gases - Espectrometría de Masas (CG – MS), según el protocolo descrito por (Solis, y otros, 2017).

PROCEDIMIENTO:

- Se preparó una muestra con 100 µL de aceite esencial de *Mentha* × *piperita* var. *citrata*, la cual se diluyó con 500 µL de n-heptano y se colocó en un vial de 1 mL.
- El programa de temperatura del horno inició a 70 °C, manteniéndose durante 5 minutos, seguido de un incremento gradual hasta alcanzar 260 °C.
- Se empleó helio como gas portador con un flujo constante de 1,0 mL/min, mientras que las temperaturas del inyector y del detector se mantuvieron en 260 °C.
- El equipo estuvo equipado con una columna capilar TG-5SILMS de 30 m de longitud, 0,25 mm de diámetro interno y 0,25 µm de espesor de película. El tiempo total de análisis fue de 50 minutos.

Los compuestos separados mediante cromatografía de gases ingresaron directamente al espectrómetro de masas, donde se obtuvo el espectro de masas correspondiente a cada componente. Los cromatogramas obtenidos permitieron determinar el número de componentes presentes y su porcentaje relativo. La identificación de los compuestos se realizó mediante la comparación de los tiempos de retención y los espectros de masas con los registrados en las bibliotecas internas Mainlib y Replib del equipo.

3.4.DETERMINACIÓN DEL EFECTO INSECTICIDA

3.4.1. RECOLECCIÓN DE INSECTOS

Los insectos adultos de la especie *Linepithema* sp. fueron recolectados en un área domiciliaria ubicada en la Asociación Pueblo Joven Viva el Perú, distrito de Santiago, provincia de Cusco. Para la colecta se colocaron dos recipientes de plástico que contenían porciones de torta como cebo alimenticio durante la noche. Una vez que los insectos se concentraron en los recipientes, estos fueron cubiertos con tapas acondicionadas con malla fina de poliéster para permitir una adecuada ventilación y evitar la fuga de los especímenes.

Posteriormente, los insectos fueron transportados al Laboratorio de Fitoquímica, donde permanecieron durante tres días bajo condiciones controladas antes de ser utilizados en los ensayos experimentales

3.4.2. EFECTO INSECTICIDA

3.4.2.1. DISEÑO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAR EFECTO INSECTICIDA

El diseño experimental para determinar el efecto insecticida de los aceites esenciales de *Mentha x piperita* var. citrata sobre los insectos adultos de la especie *Linepithema sp,* consideró grupos aleatorios de insectos, diferentes concentraciones de aceite esencial y la mortalidad de los insectos a diferentes tiempos por observación directa, según el siguiente esquema (Rios, Stashenko, & Duque, 2017).

Tabla 2

Diseño experimental de efecto insecticida del aceite esencial de Mentha x piperita var. citrata sobre los insectos Linephitema sp

Grupo	Tratamiento experimental	2 hora	8 horas	12 horas	24 horas
G1	C1	O1-1	O1-2	O1-3	O1-4
G2	C2	O2-1	O2-2	O2-3	O2-4
G3	C3	O3-1	O3-2	O3-3	O3-4
G4	C4	O4-1	O4-2	O4-3	O4-4
G5	C5	O5-1	O5-2	O5-3	O5-4
G6	C6	O6-1	O6-2	O6-3	O6-4
G7	C7	O7-1	O7-2	O7-3	O7-4

La tabla muestra la cantidad de grupos a establecer, la aplicación de aceite esencial a diferente concentración y el registro de mortalidad de los insectos. Para cada muestra se siguió el mismo modelo.

Donde:

G1, G2, G3, G4, G5, **G6 y G7**: Indica número de grupos de 20 insectos de la especie *Linepithema sp*, sometidas a la toxicidad del aceite esencial, determinadas en recipientes de plástico de 250 mL.

C, tratamiento experimental, como:

C1 = Blanco, solución de tween 80

C2 = Patrón (Bin Ladino Mata Hormigas)

C3 = suspensión de aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata al 0.20 %.

C4 = suspensión de aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata al 0.30 %.

C5 = suspensión de aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata al 0.40 %.

C6 = suspensión de aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata al 0.50 %.

C7 = suspensión de aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata al 0.60 %.

O1-1 = Conteo de insectos muertos después de 2 horas.

O1-2 = conteo de insectos muertos después de 8 horas,

O1-3 = conteo de insectos muertos después de 12 horas.

O1-4 = conteo de insectos muertos después de 24 horas

El mismo diseño experimental se utilizó para las tres muestras del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata.

3.4.2.2.EFECTO INSECTICIDA DEL ACEITE ESENCIAL

La determinación del efecto insecticida de los aceites esenciales de *Mentha x piperita* var, citrata sobre los insectos adultos de la especie *Linepithema sp*, se realizó por método de impregnación en papel, tal como se ha descrito y reportado por Tapondjou et al. (2005),

PROCEDIMIENTO:

- Se preparó una solución de Tween 80 al 0,2 % en agua destilada, la cual se utilizó como agente emulsificante para la preparación de las diferentes concentraciones del

aceite esencial de *Mentha* × *piperita* var. *citrata*: 0,20; 0,30; 0,40; 0,50 y 0,60 % (v/v).

- De cada concentración se aplicó 1 mL sobre la superficie de un disco de papel filtro de 9 cm de diámetro, colocado en la base de un recipiente de plástico de 250 mL con tapa hermética.
- Una vez impregnado el papel filtro, se introdujeron 20 insectos adultos de *Linepithema* sp. en cada recipiente, el cual se cerró inmediatamente para evitar la fuga de los insectos y la pérdida de compuestos volátiles del aceite esencial.

Como control negativo se empleó una solución de Tween 80 al 0,2 % en agua destilada, sin adición de aceite esencial y de la misma manera se realizó la aplicación del patrón de comparación con nombre comercial Bin Ladino Mata Hormigas utilizando una dosis estandarizada de 0,05 g por placa Petri. La mortalidad de los insectos se evaluó a las 2, 8, 12 y 24 horas después del inicio del experimento. Se consideró muerto a cada insecto cuando no da la respuesta al ser estimulado mediante el contacto de un puntero romo.

3.4.2.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL EFECTO INSECTICIDA

El análisis estadístico del efecto insecticida del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata para los insectos adultos de *Linepithema sp*., se llevó a cabo empleando el programa de BioStad 2009, para determinar la CL_{50}, que es la concentración capaz de provocar una mortalidad del 50 % de los insectos adultos de *Linepithema sp.,* se empleó el método Finney de análisis Probit.

El modelo Próbit representa una opción logarítmica - lineal para gestionar grupos de datos que poseen una variable dependiente categórica. Este modelo generalmente se emplea para

examinar datos de tipo dosis – respuesta. Los resultados de un bioensayo no pueden ser examinados con el método estadístico convencional que se emplea en los ensayos de campo, sino que se requiere emplear una metodología conocida como estadística cuantal. Esta se distingue por la reacción a un estímulo de n unidades experimentales, siendo r las que responden y n las que no. El propósito principal de este tipo de estudio es determinar el grado de estímulo requerido para generar una respuesta en un conjunto de personas de la población. El grado de estímulo que provoca una reacción en el 50% de individuos de una población en estudio es un parámetro de caracterización relevante, identificado como CL_{50}, concentración letal media (Bailon, 2020).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL

Los resultados de porcentaje de rendimiento mediante el método de hidrodestilación con trampa de Clevenger, del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata de los tres pisos ecológicos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3

Porcentaje de rendimiento del aceite esencial

***Mentha x piperita* var. citrata: Peso de muestra W (350 g)**					
	Porcentaje de extracción (p/v)				
	PE_1	PE_2	PE_3	PE_4	Promedio (%)
Chamaca (3875 msnm)	0.27	0.28	0.27	0.30	0.28 ± 0.014
Ccorao (3620 msnm)	0.29	0.31	0.30	0.32	0.31 ± 0.013
San Pedro (3490 msnm)	0.42	0.43	0.45	0.41	0.43 ± 0.017

Nota: PE = porcentaje de extracción.

Los resultados presentados en la Tabla 3 evidencian diferencias en el porcentaje de extracción del aceite esencial de *Mentha* × *piperita* var. *citrata* procedente de los tres pisos ecológicos evaluados. La muestra recolectada en San Pedro (3490 m s. n. m.) presentó el mayor rendimiento promedio (0,43 % p/v), seguida por la muestra de Ccorao (3620 m s. n. m.), con un rendimiento de 0,31 % p/v. En contraste, la muestra procedente de Chamaca (3875 m s. n. m.) registró el menor rendimiento promedio (0,28 % p/v).

Estos resultados muestran que, bajo las condiciones del presente estudio, el rendimiento del aceite esencial tendió a disminuir conforme aumentó la altitud del lugar de procedencia de la muestra. Esta variación podría estar relacionada con las diferencias en las condiciones ambientales propias de cada piso ecológico, como la temperatura, la humedad, la radiación solar, las características del suelo y otros factores que influyen en la biosíntesis y acumulación de metabolitos secundarios responsables de la producción de aceites esenciales.

Los resultados obtenidos en la presente investigación son consistentes con lo reportado por otros autores, quienes señalan que la altitud influye en el rendimiento del aceite esencial de *Mentha × piperita*. En este contexto, Alibegov et al. (2024) informaron que las plantas cultivadas a menor altitud (1100 m s. n. m.) alcanzaron un rendimiento de aceite esencial de 1,55 %, mientras que a 1650 m s. n. m. este disminuyó a 1,41 %. De manera similar, Núñez (2024) reportó que el rendimiento del aceite esencial varía según la altitud y el piso ecológico, registrando un valor de 4,82 % en la zona de menor altitud y de 2,56 % en la de mayor altitud. En conjunto, estos antecedentes respaldan la tendencia observada en el presente estudio, donde las muestras procedentes de menores altitudes presentaron mayores porcentajes de extracción de aceite esencial en comparación con aquellas recolectadas a mayor altitud.

Tabla 4

Análisis de varianza (ANOVA) para el rendimiento del aceite esencial de Mentha x piperita var. citrata procedente de tres pisos ecológicos.

Fuente de variación	SC	gl	CM	F	p
Entre localidades	0.05105	2	0.02553	116.34	<0.001
Dentro de localidades	0.00198	9	0.00022		
Total	0.05303	11			

Nota: SC= suma de cuadros, gl = grados de libertad, CM = cuadrado medio, F = estaditico F de Fisher y p = valor de significancia. Resultados brindados por el programa estadístico de BioStad 2009 profesional 5.8.1.

El análisis de varianza (ANOVA) mostro diferencia altamente significativa en el rendimiento del aceite esencial entre las tres procedencias evaluadas ($F = 116.34$; $p < 0.001$). esto indica que la procedencia influye significativamente sobre el porcentaje de extracción del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata.

4.2 PRUEBAS DE SOLUBILIDAD DEL ACEITE ESENCIAL DE *Mentha x piperita* var. citrata

Los resultados de pruebas de solubilidad en diferentes disolventes, del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata de los tres pisos ecológicos, se muestran en la Tabla 5:

Tabla 5

Resultado de pruebas solubilidad de los aceites esenciales

***Mentha x piperita* var. citrata (tres pisos ecológicos)**			
Disolvente	**Chamaca (3875 msnm)**	**Ccorao (3620 msnm)**	**San Pedro (3490 msnm)**
Etanol 40%	-	-	-
Etanol 50%	-	-	-
Etanol 70%	+	+	+
Etanol 96%	+ + +	+ + +	+ + +
Metanol	+ + +	+ + +	+ + +
Acetona	+ + +	+ + +	+ + +
Cloroformo	+ + +	+ + +	+ + +
Hexano	+ + +	+ + +	+ + +

Nota: Muy soluble = +++, Soluble = ++, Poco soluble = + Insoluble = -

La solubilidad de aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata de los tres pisos ecológicos, de la Tabla 5, muestra que es muy soluble en disolventes apolares y de polaridad media; pero su solubilidad es muy baja o nula en disolventes con polaridad alta, Estos resultados muestran que no presentan diferencias en cuanto a su solubilidad; además indica, que la mayor parte de sus componentes del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata son apolares y medianamente polares.

4.3 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL ACEITE ESENCIAL DE *Mentha x piperita* var. citrata

Los resultados de las características fisicoquímicas de *Mentha x piperita* var. citrata de los tres pisos ecológicos, se muestran en la Tabla 6:

Tabla 6

Características fisicoquímicas del aceite esencial de Mentha x piperita var. citrata

		***Mentha x piperita* var. citrata (tres pisos ecológicos)**		
Aceite esencial	**n**	**Chamaca (3875 msnm)**	**Ccorao (3620 msnm)**	**San Pedro (3490 msnm)**
Aspecto		Liquido fluido aceitoso	Liquido fluido aceitoso	Liquido fluido aceitoso
Color		Amarillo tenue	Amarillo tenue	Amarillo tenue
Olor		Aroma refrescante	Aroma refrescante	Aroma refrescante
Densidad relativa a 20 °C (g/ml). ($\overline{X}$)	3	0.8947 ± 0.0019	0.8946 ± 0.0002	0.8949 ± 0.0002
Índice de refracción a 20 °C (nD). ($\overline{X}$)	3	1.4572 ± 0.0002	1.4598 ± 0.0002	1.4573 ± 0.0002
Rotación óptica. ($\overline{X}$)	3	0.3128 ± 0.0001	0.3151 ± 0.0002	0.3164 ± 0.0001
Índice de acidez. ($\overline{X}$)	3	1.9512 ± 0.0001	1.9510 ± 0.0001	1.9513 ± 0.0001
Índice de saponificación. ($\overline{X}$)	3	51.12 ± 0.02	50.25 ± 0.02	52.99 ± 0.02

Nota: $\overline{X}$ = promedio, n = número de repeticiones

Los resultados de la Tabla 6 presentan las características fisicoquímicas y organolépticas del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata de los tres pisos ecológicos. Los aceites esenciales de los tres pisos ecológicos presentan características similares y no muestran diferencias. Otras investigaciones también arribaron a resultados similares, así como; Nuñez

(2024) indica que el aceite esencial extraído de *Mentha x piperita* de las localidades Huamanguilla, Quinua y Socos, presentan un color amarillo claro, un aroma fresco y un sabor ácido, con apariencia líquida y oleosa. De igual manera, Zúniga (2022) señala que el aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata presenta un color amarillo claro, un olor refrescante y una apariencia líquida y fluida. Son características similares a los resultados de la presente investigación.

Respecto a las propiedades fisicoquímicas, la densidad relativa a 20 °C presentó valores muy próximos entre los tres pisos ecologicos, variando entre 0,8946 y 0,8949 g/mL, siendo ligeramente mayor en San Pedro (0,8949 g/mL) y menor en Ccorao (0,8946 g/mL). El índice de refracción a 20 °C mostró una ligera variación entre las muestras, registrándose el mayor valor en Ccorao (1,4598) y los menores en Chamaca (1,4572) y San Pedro (1,4573), lo que sugiere pequeñas diferencias en la composición química del aceite esencial. La rotación óptica presentó valores muy similares entre las tres procedencias, con promedios comprendidos entre 0,3128 y 0,3164, observándose el mayor valor en San Pedro y el menor en Chamaca, lo que evidencia una escasa variación en esta propiedad. Asimismo, el índice de acidez fue prácticamente constante en las tres muestras, con valores cercanos a 1,95, indicando un bajo contenido de ácidos libres y una adecuada calidad del aceite esencial. Finalmente, el índice de saponificación presentó una ligera variación entre localidades, con valores de 50,25 en Ccorao, 51,12 en Chamaca y 52,99 en San Pedro, siendo este último el valor más elevado.

Nuñez (2024) reporta que la densidad del aceite esencial de *Mentha x piperita* obtuvo a menor altitud en Quinua una densidad superior de 0.8981 g/mL; en Socos es 0.8952 g/mL y en Huamanguilla es de 0.8932 g/mL; un índice de refracción de 1.4546, 1.4655 y 1.4492 y menciona que la densidad aumenta con el descenso de la altitud. Zúniga (2022) para esta especie reporta, una

densidad relativa de 0.9078 g/mL, índice de refracción 1.4595; índice de acidez 1.308 y rotación óptica 0.313. Así mismo, Tomaylla (2016) reporta que el aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata tiene una densidad de 0.9147, índice de refracción de 1.4697, rotación óptica de 0.313, índice de acidez de 1.308 y índice de saponificación de 62.77. los resultados obtenidos de la investigación son similares a los resultados reportados.

4.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE *Mentha x piperita* var. citrata

La composición química del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata de los tres pisos ecológicos fue determinada en CG-MS en donde se analizó la composición cualitativa y cuantitativa por medio de los picos de sus cromatogramas y los picos a diferente tiempo de retención refleja la presencia de los componentes del aceite esencial y el área debajo de cada pico refleja el porcentaje del componente en el aceite esencial. Los resultados se muestran en Figura 17, 18 y 19.

Figura 17

Cromatograma GC-MS del AE de Mentha x piperita var. citrata de Chamaca (3875 msnm).

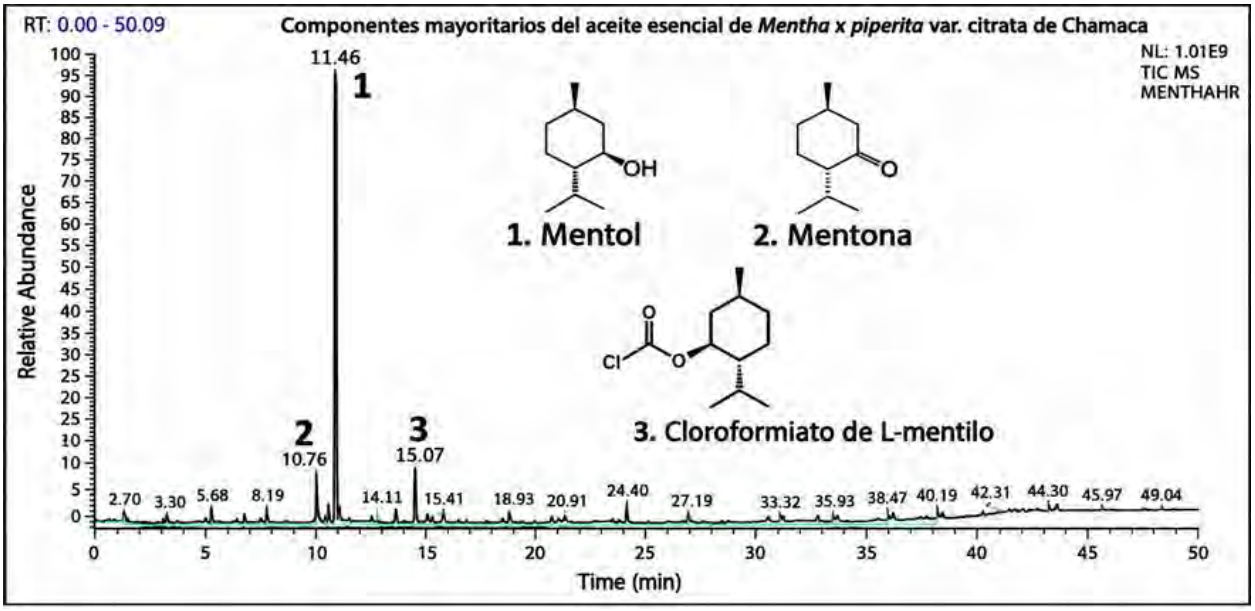


Figura 18

Cromatograma GC-MS del AE de Mentha x piperita var. citrata de Ccorao (3620 msnm).

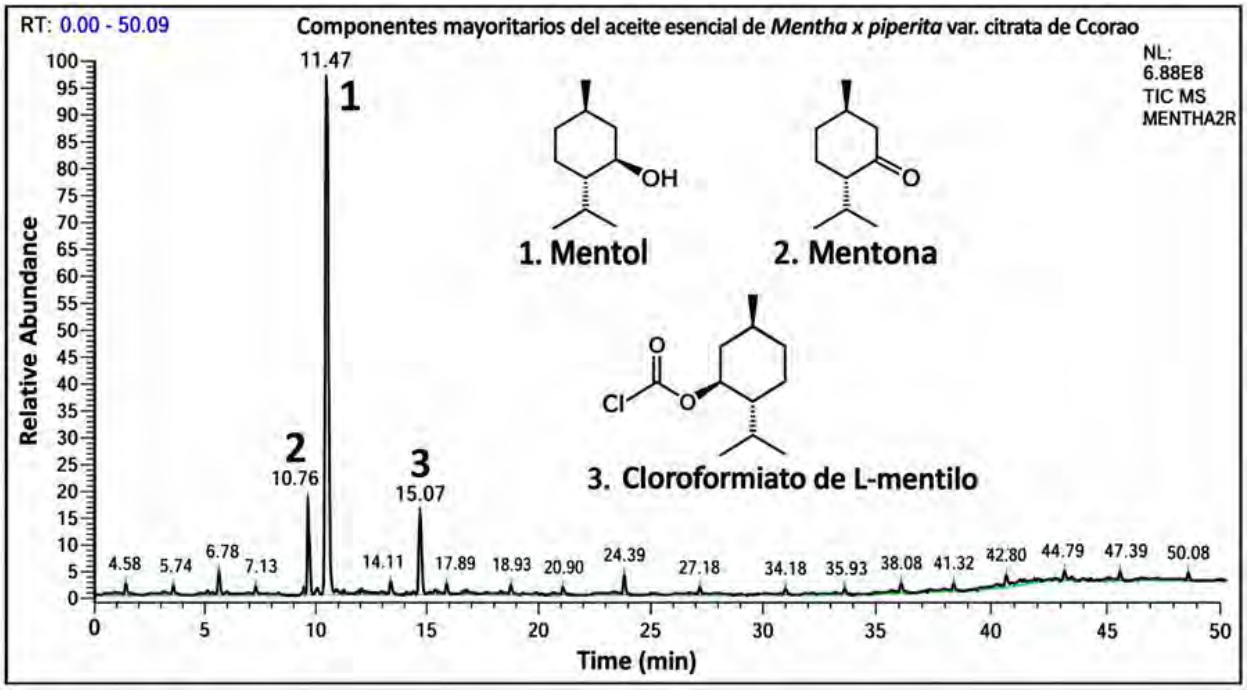
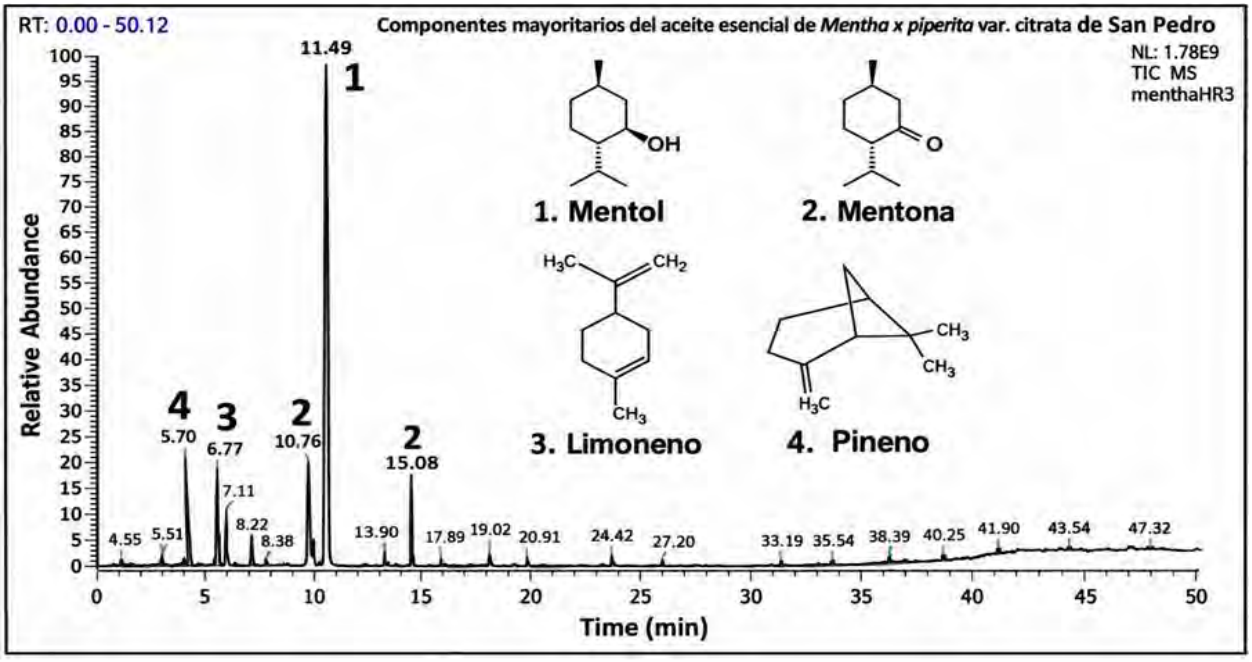


Figura 19

Cromatograma GC-MS del AE de Mentha x piperita var. citrata de San Pedro (3490 msnm).



La figura 17 muestra cromatograma del aceite esencial de *Mentha* × *piperita* var. *citrata* procedente de Chamaca (3875 msnm) presentó un perfil cromatográfico dominado por un pico de elevada intensidad a un TR de 11,46 min, correspondiente al mentol, el cual constituyó el compuesto mayoritario con una abundancia relativa de 72,07 %**.** El segundo pico más intenso se registró a 10,76 min**,** correspondiente al mentona **(**5,09 %**),** mientras que el pico ubicado a 15,07 min representó un compuesto minoritario con una abundancia de 4,92 %**.** Los demás compuestos se encontraron en porcentajes inferiores al 1 %, indicando que el aceite esencial estuvo ampliamente dominado por el mentol.

La figura 18 muestra cromatograma del aceite esencial procedente de Ccorao (3620 msnm) mostró igualmente al mentol como compuesto predominante, con un TR de 11,47 min y una

abundancia relativa de 51,82 %**.** Sin embargo, el pico correspondiente al mentona (TR = 10,76 min) presentó una intensidad considerablemente mayor que en Chamaca, alcanzando un 25,88 %**.** El tercer compuesto identificado a 15,07 min representó el 4,69 % del aceite esencial. En comparación con Chamaca, el perfil cromatográfico evidenció una menor dominancia del mentol y una mayor proporción de mentona.

Figura 19 muestra el cromatograma correspondiente al aceite esencial de San Pedro (3490 msnm) presentó nuevamente al mentol como componente principal (TR = 11,49 min), con una abundancia relativa de 41,79 %. A diferencia de las otras localidades, se observó una mayor intensidad de los picos correspondientes al limoneno, eucaliptol, mentona y pineno, lo que refleja una composición química más diversa. El limoneno alcanzó 6,54 %, el eucaliptol 4,38 % y el pineno 0,63 %, compuestos que estuvieron ausentes o en menor proporción en los otros aceites esenciales. Los tiempos de retención y % de abundancia de las tres muestras se indican en los anexos 8, 9 y 10.

Los resultados obtenidos mediante GC-MS muestran que el mentol fue el componente mayoritario del aceite esencial de *Mentha* × *piperita* var. *citrata* en las tres localidades estudiadas. Este comportamiento coincide con lo reportado por Schmidt et al., (2009), donde el mentol es reconocido como el principal constituyente del aceite esencial de *Mentha* × *piperita*, seguido generalmente por el mentona, el acetato de mentilo, el limoneno y el 1,8-cineol (eucaliptol).

Tabla 7

Composición química del aceite esencial de Mentha x piperita var. citrata procedente de tres pisos ecológicos con mayor porcentaje de abundancia.

compuesto	Chamaca (3875 msnm)			Ccorao (3620 msnm)			San Pedro (3490 msnm)		
	TR (min)	Área	%	TR (min)	Área	%	TR (min)	Área	%
Mentol	11.46	2.75E+09	72.07	11.47	1.77E+09	51.82	11.49	4.90E+09	41.79
Mentona	10,76	1.94E+08	5.09	10.76	8.84E+08	25.88	10.76	1.89E+09	16.15
Cloroformiato de L-mentilo	15.07	1.88E+08	4.92	15.07	1.6E+08	4.69	-		-
D-Limoneno	6.75	3.48E+07	0.91	6.78	8.61E+07	2.52	6.77	7.67E+08	6.54
Eucaliptol	-		-	7.13	4.13E+07	1.21	7.11	5.14E+08	4.38
Pineno	5.68	3.38E+07	0.88	-		-	5.51	7.35E+07	0.63
Componentes de mayor porcentaje			**83.87 %**			**86.12 %**			**69.49 %**
Componentes de menor porcentaje			**16.13 %**			**13.88 %**			**30.51 %**
Total			**100 %**			**100 %**			**100 %**

Nota: TR = tiempo de retención, % = porcentaje de abundancia. Componentes de menor porcentaje ver anexo 8, 9 y 10.

La Tabla 7 muestra la composición química del aceite esencial de *Mentha* × *piperita* var. *citrata* procedente de tres pisos ecológicos (Chamaca, Ccorao y San Pedro), evidenciando diferencias tanto en el tipo de compuestos identificados como en su porcentaje de abundancia. En los tres pisos ecológicos, el mentol fue el compuesto mayoritario; sin embargo, su concentración disminuyó conforme varió el lugar de procedencia, registrándose el mayor porcentaje en Chamaca (72,07 %), seguido de Ccorao (51,82 %) y San Pedro (41,79 %). En contraste, el mentona presentó

un comportamiento inverso, con el mayor contenido en Ccorao (25,88 %), seguida de San Pedro (16,15 %) y Chamaca (5,09 %).

El cloroformiato de L-mentilo fue identificado únicamente en los aceites esenciales de Chamaca (4,92 %) y Ccorao (4,69 %), mientras que estuvo ausente en San Pedro. Por su parte, el D-limoneno se encontró en las tres muestras, aunque en mayor proporción en San Pedro (6,54 %), seguido de Ccorao (2,52 %) y Chamaca (0,91 %). Asimismo, el eucaliptol fue detectado en el aceite esencial de Ccorao (1.21) y San Pedro (4,38 %), mientras que el pineno estuvo presente en Chamaca (0,88 %) y San Pedro (0,63 %), sin detectarse en Ccorao.

En conjunto, estos resultados evidencian que la composición química del aceite esencial de *Mentha × piperita* var. *citrata* presenta variaciones según el piso ecológico de procedencia, siendo el mentol el componente predominante en todas las muestras, aunque con diferencias importantes en su abundancia relativa y en la presencia de compuestos minoritarios.

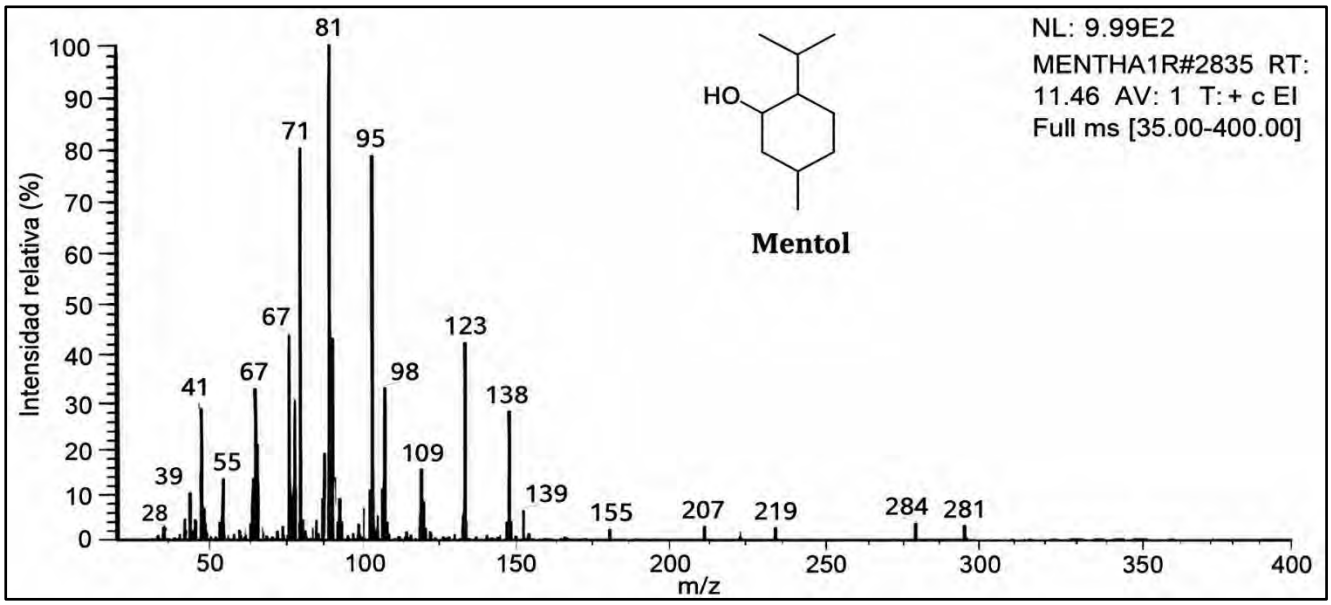
Otras investigaciones sobre la composición del aceite esenciales de *Mentha x piperita* muestran resultados similares; así, Olayemi et al. (2023) reporta mentol (40.4 %), mentona (12.3%), mentofurano (9.2 %), 1.8-cineol (5.6 %) y limoneno (5.5 %). También Kharoubi et al. (2021), reporta mentol más abundante con 28.66 %, limoneno (19.01 %) y p-cimeno (15.82 %). Zúniga (2022) y Tomaylla (2016) indican que el aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata tiene como componente más abundante al mentol con 43.35 %, 35.29 % respectivamente; enseguida acetato de mentilo 22.21 %, 19.69 %; limoneno 7.07 %,5.68 %; mentona 6.17 %, 7.01 % y eucaliptol 4.87%. Por otro lado, Pang et al. (2020) tambien reportó como el más abundantes al mentol 41.6 %, L-mentona 24.7 %, isomentol 6.3 % y limoneno 5.0 %. De igual manera, Peeyush et al. (2012), mencionan como los componentes más abundantes en aceite esencial de

Mentha x piperita al Mentol 26.53 %, mentona 25.83 %, acetato de mentilo 7.35 %, acetato de linalool 26.69 % y D-linalol 24 %. El análisis de estas investigaciones muestra que los componentes más característicos del aceite esencial de *Mentha x piperita* son el mentol, mentona, acetato de mentilo, limoneno y eucaliptol entre otros. Según Golian et al., (2025) Se debe considerar que la variabilidad en la composición química de los aceites esenciales depende de altitud, época de recolección, radiación, tipo de suelo y el periodo de desarrollo fisiológico de las plantas.

LAS ECUACIONES Y UNA EXPLICACIÓN DE CADA MECANISMO DE ESPECTRO DE MASA DE MENTOL

Figura 20

Espectro de masa de Mentol.



En el espectro de masa, el mentol ($C_{10}H_{20}O$) presenta una masa molecular de 156 Da; sin embargo, el ion molecular (m/z 156) no se observa en el espectro debido a su rápida fragmentación

bajo ionización por impacto electrónico (EI, 70 eV). En su lugar, se detecta un ion de baja intensidad en m/z 155, correspondiente a la pérdida de un átomo de hidrógeno ($[M-H]^+$). La fragmentación característica de este alcohol secundario es la deshidratación (M−18), que origina el ion m/z 138. Posteriormente, se generan los fragmentos m/z 123, 95 y el pico base en m/z 81, producto de la ruptura del anillo y la formación de un carbocatión estabilizado. Los iones de menor masa (m/z 71, 55, 41 y 39) corresponden a fragmentaciones sucesivas del esqueleto terpénico. Este patrón de fragmentación es característico del mentol y confirma su identificación mediante GC-MS.

1. **Formación del ion molecular (**ion molecular $M^{+\bullet}$= 156)

   La primera etapa es la ionización por impacto electrónico:

   $$C_{10}H_{20}O + e^- \rightarrow C_{10}H_{20}O^{+\bullet} + 2e^-$$

2. **Deshidratación (fragmentación característica)** ion observado *m/z =138*

   Es el mecanismo más importante para alcoholes.

   $$C_{10}H_{20}O^{+\bullet} \rightarrow C_{10}H^{+}_{18} + H_2O$$

   $$156 - 18 = 138$$

   Mecanismo:

   - Transferencia de una hidrogeno β hacia el oxígeno,
   - Ruptura del enlace C – O,
   - Eliminación de H_2O,
   - Formación de un alqueno.

3. **Perdida de un radical metilo (**ion observado *m/z* = 123)

   El ion deshidratado continúa fragmentándose.

   $$C_{10}H^{+}_{18} \rightarrow C_9H^{+}_3 + CH^{\cdot}_3$$

   $$138 - 15 = 123$$

4. **Ruptura α respecto al carbono con el OH** ion *m/z* = 95

Otra fragmentación importante consiste en romper el enlace adyacente al carbono llevaba el grupo hidroxilo.

$$C_{10}H_{20}O^{+\cdot} \rightarrow C_7H^+_{11} + C_3H_9O^{\bullet}$$

La carga permanece en el fragmento del anillo, estabilizado por resonancia.

5. **Formación del pico base (*m/z* = 81)**

Después de varias rupturas sucesivas del anillo se forma un carbocatión muy estable.

$$C_7H^+_{11} \rightarrow C_6H^+_9 + CH_2$$

O mediante reorganización similares. Corresponde aproximadamente a

$$C_6H^+_9$$

Este ion es el más estable y por ello constituye el **pico base**

6. **Formación del ion m/z = 71**

Posteriormente ocurre otra ruptura.

$$C_6H^+_9 \rightarrow C_5H^+_{11}$$

Relacionada con el grupo isopropilo.

7. **Formación de la fragmentación pequeños**

Los fragmentos pequeños son comunes en monoterpenos.

$$C_5H^+_{11} \rightarrow C_4H^+_7$$

$$m/z = 55$$

luego

$$C_4H^+_7 \rightarrow C_3H^+_5$$

$$m/z = 41$$

Finalmente

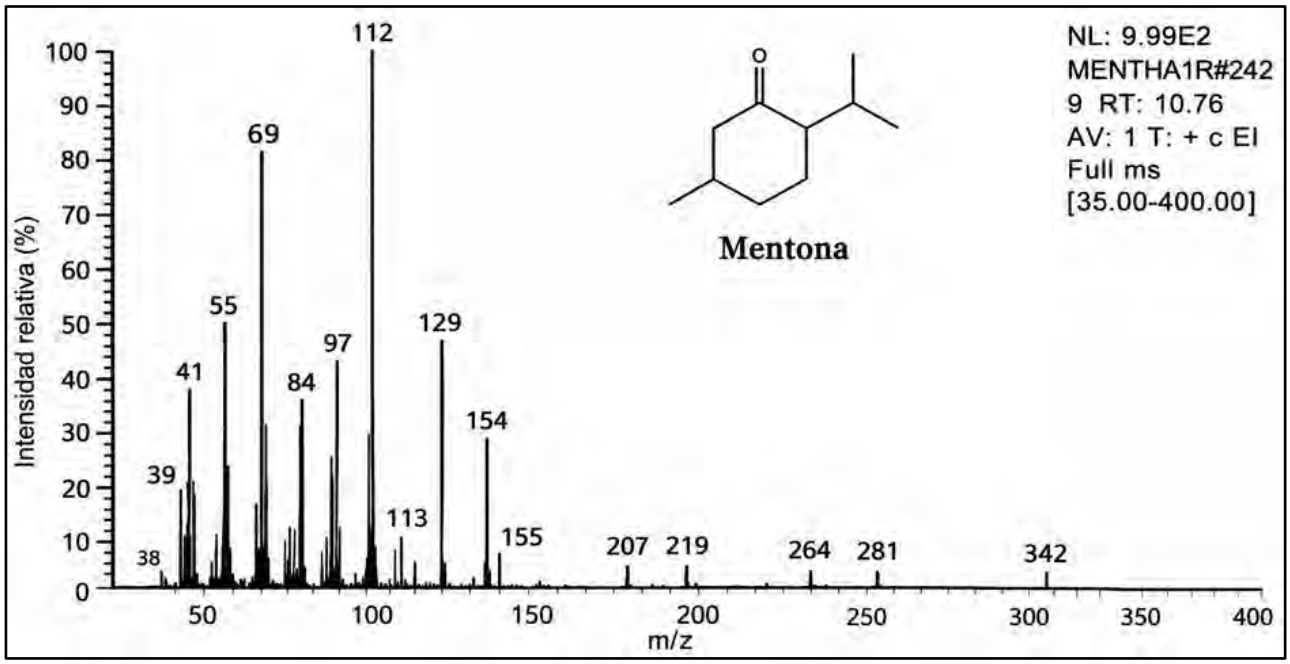
$$C_3H^+_5 \rightarrow C_3H^+_3$$

$$m/z = 39$$

LAS ECUACIONES Y UNA EXPLICACIÓN DE CADA MECANISMO DE ESPECTRO DE MASA DE MENTONA

Figura 21

Espectro de masa de Mentona



En el espectro de masa, el mentona ($C_{10}H_{18}O$) presenta una masa molecular de 154 Da, observándose un ion molecular (m/z 154) de baja intensidad debido a la rápida fragmentación del ion radical generado por ionización por impacto electrónico (EI, 70 eV). El espectro está dominado por el pico base en m/z 112, originado por la pérdida de un fragmento de 42 Da (C_3H_6), lo que genera un ion estabilizado por resonancia con el grupo carbonilo. Además, los fragmentos en m/z 139, 97 y 84 se atribuyen a la pérdida de un radical metilo y a rupturas α del grupo carbonilo, mientras que los iones de m/z 69, 55, 41 y 39 corresponden a fragmentaciones sucesivas del esqueleto terpénico. Este patrón de fragmentación es característico del mentona y confirma su identificación mediante GC-MS.

1. **Formación del ion molecular**

   La primera esta es la ionización

   $$C_{10}H_{18}O + e^- \rightarrow C_{10}H_{20}O^{+\bullet} + 2e^-$$

   Ion molecular

   $$M^{+\bullet} = 154$$

   En el espectro aparece con baja intensidad.

2. **Ruptura α del carbonilo**

   Es la fragmentación característica de las cetonas.

   Después de la ionización, se rompe uno de los enlaces C – C adyacentes el carbonilo.

   $$C_{10}H_{18}O^{+\bullet} \rightarrow C_7H_{13}O^+ + CH^{\bullet}_5$$

   Se obtienen fragmentos alrededor de:

   - m/z 97
   - m/z 84

3. **Formación del piso base (m/z = 112)**

   Es la fragmentación más importante.

   El ion molecular pierde un fragmento de 42 Da

   $$M^{+\bullet} \rightarrow [M - 42]^+ + C_3H_6$$

   $$154 - 42 = 112$$

   El fragmento perdido corresponde aproximadamente a:

   $$C_3H_6$$

   Ecuación

   $$C_{10}H_{18}O^{+\bullet} \rightarrow C_7H_{12}O^+ + C_3H_6$$

Este ion es muy estable porque conserva el carbonilo y presenta estabilización por resonancia. Por ello constituye el pico base.

4. **Perdida de un radical metilo**

   Otra fragmentación frecuente es

$$M^{+\bullet} \rightarrow [M - 15]^{+} + CH^{\bullet}_{3}$$

$$154 - 15 = 139$$

Se observa el pico

$$m/z = 139$$

5. **Formación del ion m/z = 97**

   El ion de 112 puede sufrir otra ruptura α.

$$C_7H_{12}O^{+} \rightarrow C_6H_9O^{+} + CH^{\bullet}_{3}$$

$$112 - 15 = 97$$

   Corresponde a un ion oxonio estabilizado.

6. **Formación del ion m/z = 84**

   Otra ruptura del anillo produce

$$C_6H_9O^{+} \rightarrow C_5H_8O^{+}$$

   Se observa

$$m/z = 84$$

   este ion mantiene conjugación con el grupo carbonilo

7. **Formación del ion m/z = 69**

   Posteriormente ocurre otra fragmentación.

$$C_5H_8O^{+} \rightarrow C_5H^{+}_{9}$$

$$m/z = 69$$

   este es uno de los fragmentos típicos de los monoterpenos.

8. **Fragmentos pequeños**

   Las rupturas sucesivas originan

$$C_5H^{+}_{9} \rightarrow C_4H^{+}_{7}$$

$$m/z = 55$$

   Luego

$$C_4H^{+}_{7} \rightarrow C_3H^{+}_{5}$$

$$m/z = 41$$

   Finalmente

$$C_3H^{+}_{5} \rightarrow C_3H^{+}_{3}$$

$$m/z = 39$$

4.5 EFECTO INSECTICIDA DEL ACEITE ESENCIAL DE Mentha x piperita var. citrata

Los bioensayos se realizaron en un ambiente abierto, con ventilación natural y a temperatura ambiente. Para cada ensayo se emplearon 20 insectos adultos de *Linepithema* sp, distribuidos en cuatro repeticiones por tratamiento. Las diferentes concentraciones del aceite esencial se aplicaron mediante impregnación en papel de filtro, y el efecto insecticida se evaluó a distintos tiempos de exposición después de la aplicación de cada dosis. Las tablas de aplicación del aceite esencial obtenido de los tres pisos ecológicos sobre *Linepithema* sp. se presentan en el Anexo 13, 14 y 15.

4.5.1 CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50})

La concentración letal media (CL_{50}) del aceite esencial se estimó mediante el programa de BioStad 2009 profesional versión 5.8.1, utilizando el método de análisis de Probit. El procedimiento consiste en registrar la mortalidad observada para cada concentración y tiempo de exposición, calcular la proporción de individuos muertos respecto al total de organismos evaluados y ajustar un modelo dosis – respuesta mediante la transformación Probit de los porcentajes de mortalidad y el logaritmo decimal de las concentraciones evaluadas. A partir de la ecuación de regresión obtenida, el software estimo la concentración correspondiente al 50 % de mortalidad (CL_{50}), así como sus intervalos de confianza al 95 %.

Tabla 8

Concentración letal media (CL_{50}) del aceite esencial de Mentha x piperita de Chamaca sobre insectos Linepithema sp.

Aceite esencial	[AE]	Mortalidad promedio de insectos			
	% (v/v)	2 horas	8 horas	12 horas	24 horas
Mentha x piperita var. citrata de Chamaca (3875 m.s.n.m.)	0.0	0 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00
	0.20	1.25 ± 0.50	5.75 ± 0.50	12.50 ± 1.29	14.25 ± 0.50
	0.30	2.25 ± 0.50	8.25 ± 0.96	13.50 ± 0.58	15.75 ± 0.96
	0.40	5.25 ± 0.50	11.75 ± 0.96	16.50 ± 0.58	18.25 ± 0.96
	0.50	6.25 ± 0.50	13.75 ± 0.50	19.25 ± 0.50	20± 0.00
	0.60	6.25 ± 0.50	13.00 ± 0.82	20 ± 0.00	20± 0.00
	CL_{50}(V/V)	**---**	**---**	**0.18**	**---**

Nota. CL_{50} = concentración letal media.

Los detalles de mortalidad de *Linepithema sp,* se indican en el anexo 13.

Figura 22

Porcentaje de mortalidad de insectos Linipithema sp a diferentes concentraciones de Mentha x piperita var. Citrata de Chamaca.

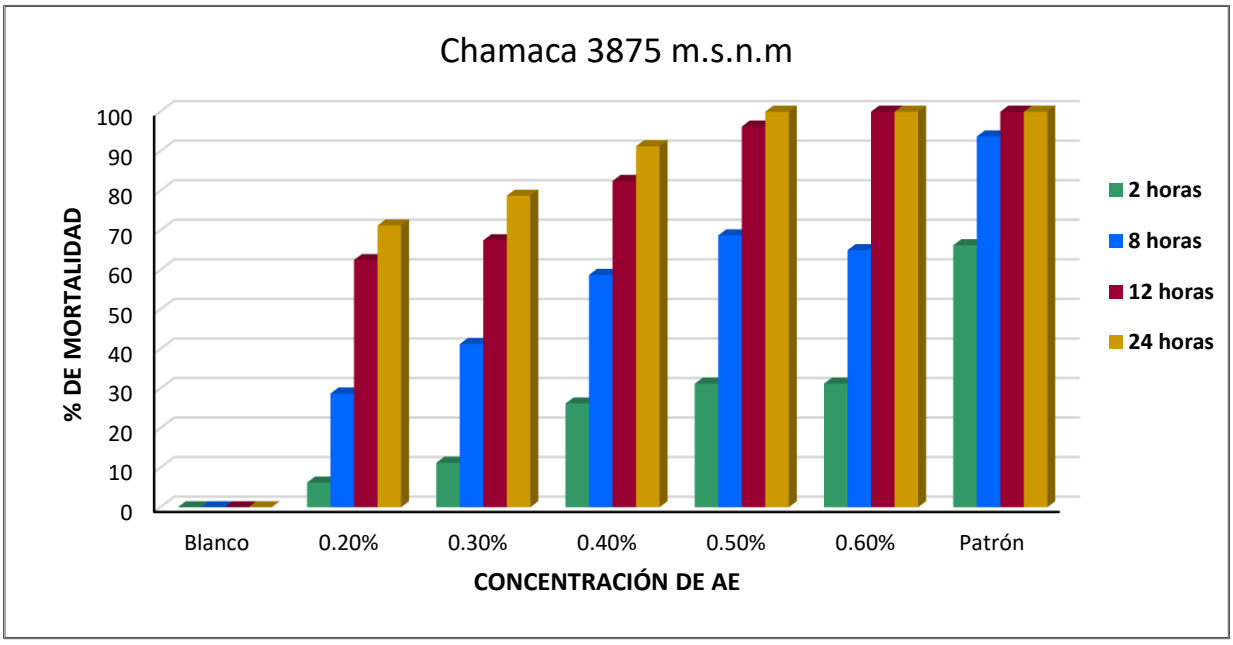


Tabla 9

Concentración letal media (CL_{50}) del aceite esencial de Mentha x piperita de San Pedro *sobre insectos de Linepithema sp.*

Aceite esencial	[AE] % (v/v)	Mortalidad promedio de insectos			
		2 horas	8 horas	12 horas	24 horas
Mentha x piperita var. citrata de San Pedro (3490 m.s.n.m.)	0.0	0 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00
	0.20	1.25 ± 0.50	5 ± 0.82	12.5 ± 1.29	14.25 ± 0.96
	0.30	2.75 ± 0.50	7.75 ± 0.96	14 ± 0.82	16.75 ± 0.96
	0.40	5 ± 0.82	11.5 ± 0.58	16.75 ± 0.96	18.5 ± 0.58
	0.50	6.25 ± 0.50	14.5 ± 0.58	19.50 ± 0.58	20 ± 0.00
	0.60	6.75 ± 0.50	14.25 ± 0.50	20 ± 0.00	20 ± 0.00
	CL_{50}(V/V)	**---**	**---**	**0.16**	**---**

Nota. CL_{50} = concentración letal media.

Los detalles de mortalidad de *Linepithema sp,* se indican en el anexo 14.

Figura 23

Porcentaje de mortalidad de insectos Linipithema sp a diferentes concentraciones de Mentha x piperita var. Citrata de San Pedro.

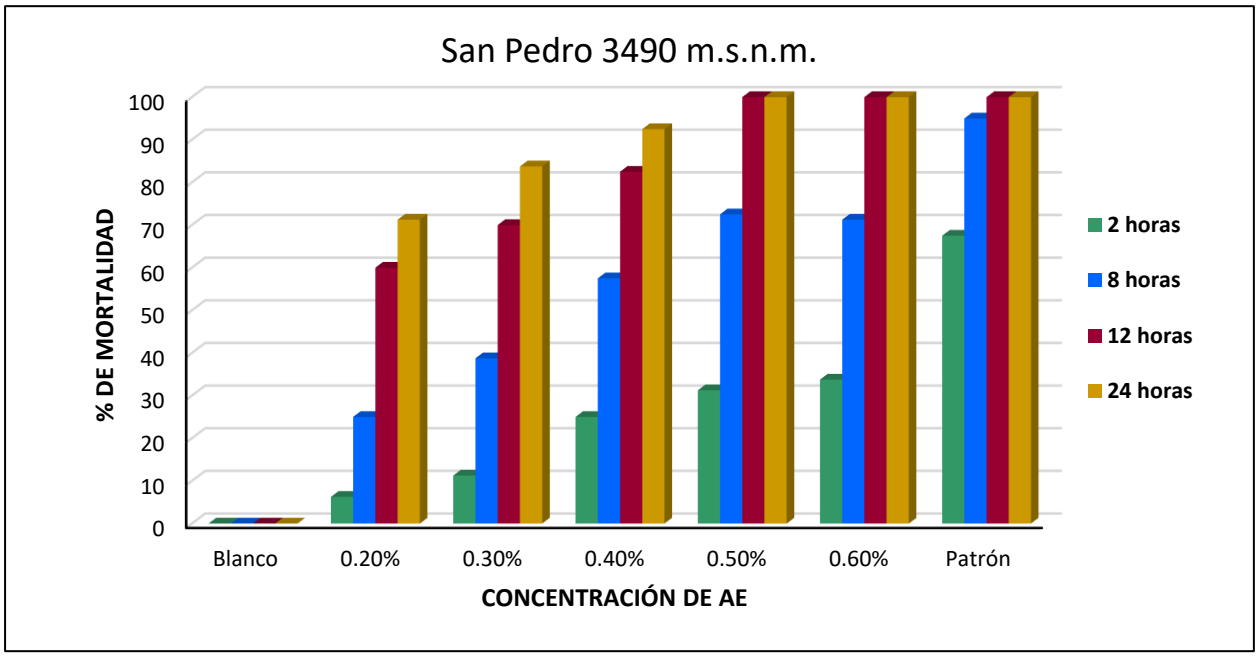


Tabla 10

Concentración letal media (CL_{50}) del aceite esencial de Mentha x piperita de Ccorao sobre insectos de Linepithema sp.

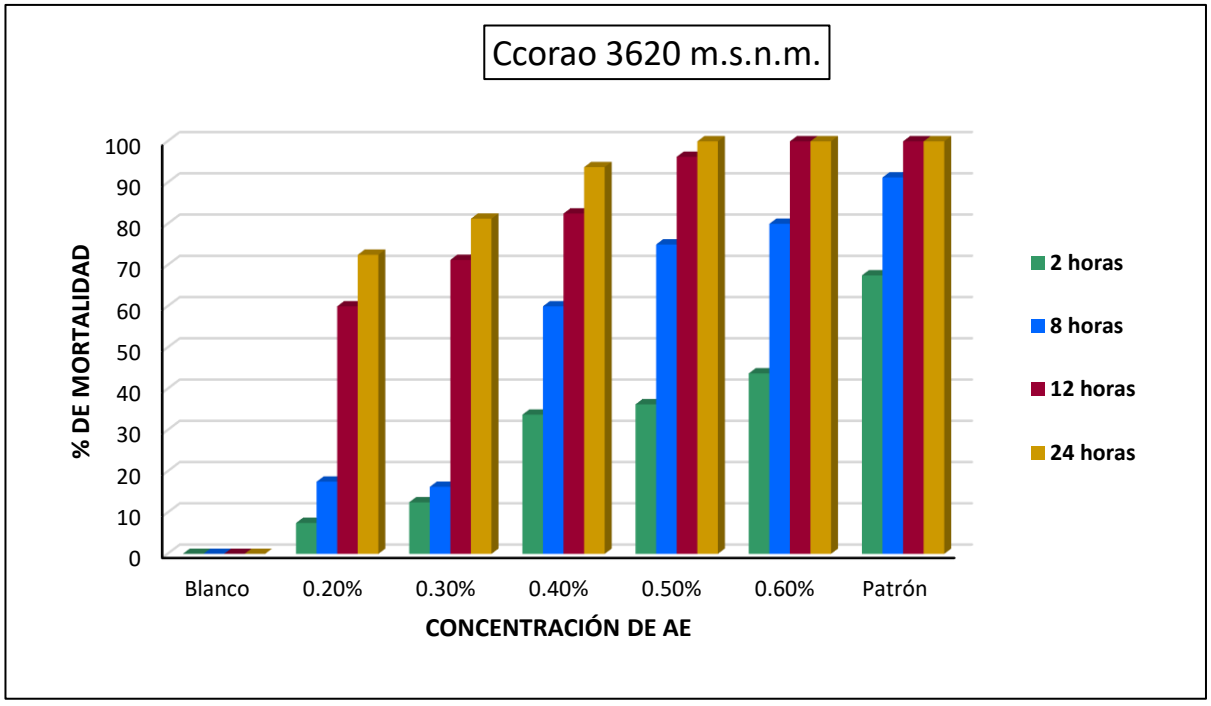
Aceite esencial	[AE]	Mortalidad promedio de insectos			
	% (v/v)	2 horas	8 horas	12 horas	24 horas
Mentha x piperita var. citrata de Ccorao (3620 m.s.n.m.)	0.0	0 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00
	0.20	1.5 ± 0.58	4.5 ± 0.58	12 ± 0.82	14.5 ± 0.58
	0.30	2.5 ± 0.58	8.25 ± 0.50	14.25 ± 0.96	16.25 ± 0.96
	0.40	6.75 ± 0.96	12 ± 0.82	16.5 ± 0.58	18.75 ± 0.50
	0.50	7.25 ± 0.96	15 ± 0.82	19.25 ± 0.50	20 ± 0.00
	0.60	8.75 ± 0.96	16 ± 0.82	20 ± 0.00	20 ± 0.00
	CL_{50}(V/V)	---	---	**0.17**	---

Nota. CL_{50} = concentración letal media.

Los detalles de mortalidad de *Linepithema sp,* se indican en el anexo 13.

Figura 24

Porcentaje de mortalidad de insecto Linipithema sp a diferentes concentraciones de Mentha x piperita var. citrata.



Se evaluó el efecto insecticida del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. *citrata* de los tres pisos ecológicos (Chamaca, San Pedro y Ccorao) sobre los insectos de *Linepithema sp*, en las que se observó que la mortalidad de los insectos fue mayor a medida que aumenta el tiempo de exposición y la concentración del aceite esencial. Las figuras 21, 22 y 23 muestran los porcentajes de mortalidad y una tendencia similar en efecto insecticida del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata procedente de los tres pisos ecológicos sobre *Linepithema sp*; se llegó al 100% de mortalidad a 12 horas de exposición a una concentración de 0.6% y las 24 horas de exposición se llegó al 100 % de mortalidad a las concentraciones de 0.5 y 0.6 %. Los resultados de las tablas 8, 9 y 10 muestran los valores de CL_{50}. La CL_{50} según el programa BioStad 2009, fue de 0.18 %; 0.16%; 0.17 para las muestras de Chamaca, San Pedro, Ccorao, a 12 horas de exposición, indicando que esta concentración fue suficiente para causar la muerte de 50 % de la población de insectos evaluados. Ver anexo 16.

Los tres aceites esenciales presentan alta actividad insecticida, cuyos valores de efecto insecticida son semejantes; la ligera variación en cuanto a su DL_{50}, puede deberse a las ligeras variaciones de la composición del aceite esencial de los tres pisos ecológicos, se ha observado que existe variaciones en la concentración de metabolitos secundarios que puede influir en las propiedades insecticidas del aceite esencial. El efecto insecticida probablemente se debe a la presencia de Mentol, Mentona y limoneno que según bibliografía poseen propiedades insecticidas.

El aceite esencial de *Mentha* × *piperita* var. citrata presentó alto efecto insecticida sobre *Linepithema sp*, alcanzando una mortalidad comparable a la del tratamiento patrón a las mayores concentraciones y tiempos de exposición. La ausencia de diferencias significativas entre ambos tratamientos indica que el aceite esencial posee un alto potencial como insecticida natural.

Como control positivo se empleó el insecticida comercial Bin Ladino Mata Hormigas, formulado como polvo seco, cuyo principio activo corresponde a cipermetrina (0,55 % p/p) y carbaril (5,5 % p/p). El producto fue seleccionado por su eficacia comprobada en el control de hormigas domésticas y se utilizó como tratamiento de referencia para comparar el efecto insecticida del aceite esencial de *Mentha* × *piperita* var. citrata. El control positivo presentó la mayor eficacia insecticida durante el bioensayo. A las 2 horas se registró una mortalidad promedio de 13,5 hormigas, incrementándose a 19 hormigas a las 8 horas y alcanzando el 100 % de mortalidad a las 12 horas, manteniéndose este resultado hasta las 24 horas. El uso de un control positivo permitió comparar la eficacia insecticida del aceite esencial con un producto comercial empleado para el control de hormigas. Aunque el Bin Ladino Mata Hormigas contiene principios activos sintéticos (cipermetrina y carbaril) y el aceite esencial está constituido principalmente por mentol y mentona, ambos tratamientos ejercen actividad insecticida sobre *Linepithema* sp. La comparación se realizó con base en la mortalidad obtenida y no en la equivalencia de sus formulaciones, debido a que el producto comercial se presenta como polvo seco, mientras que el aceite esencial fue aplicado como solución.

Sobre el efecto insecticida del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata, otros investigadores, como Olayemi et al. (2023) reportan una tasa de mortalidad de 65 y 94.7 % para los de frijol y de maíz, tras una exposición de 24 horas a 15 µL de aceite esencial en cámara fumigante. También, Zúniga (2022) reporta un efecto insecticida sobre los insectos adultos de *Pagiocerus frontalis* con una CL_{50} de 0.0672 % a las 12 horas y una tasa de mortalidad al 100 % a una concentración 1% a 2 horas de la exposición e indica que tiene efecto insecticida alto y es una oportunidad para su aplicación. Tomaylla (2016) indica que presenta efectividad insecticida al 5 % a 12 horas de exposición, con una CL_{50} del 2.16 % v/v en recipiente herméticamente cerrado

y en un recipiente abierto tiene efecto insecticida de 87 % de mortalidad a 48 horas de exposición y tiene una CL_{50} de 2.22 % v/v.

De los resultados de la investigación y reportes de otras investigaciones, sobre el efecto insecticida del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata, se evidencia que los aceites esenciales de esta especie presentan un buen efecto insecticida; por tanto, su aplicación como insecticida es promisoria.

CONCLUSIONES

1. El rendimiento de extracción del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata de los tres pisos ecológicos por hidrodestilación con trampa de Clevenger fue: 0.20 % para muestras de Chamaca (3875 msnm), 0.31 % de Ccorao (3620 msnm) y 0.43 % de San Pedro (3490 msnm); a mayor altitud disminuye el rendimiento de aceite esencial. Según el análisis de varianza (ANOVA) el rendimiento de extracción del aceite esencial muestra diferencia altamente significativa entre los tres pisos ecológicos ($F = 116.34$; $p < 0.001$). Esto indica que la procedencia influye significativamente sobre el porcentaje de extracción del aceite esencial de Mentha x piperita var. citrata.

2. Las características fisicoquímicas del aceite esencial de Mentha × piperita var. citrata procedente de los tres pisos ecológicos evidenciaron discretas variaciones entre las muestras evaluadas. La densidad fue de 0.8947, 0.8946 y 0.8949 g/mL para Chamaca, Ccorao y San Pedro, respectivamente; el índice de refracción nD presentó valores de 1.4572, 1.4573 y 1.4598; la rotación óptica fue de 0.3128, 0.3164 y 0.3151, respectivamente. Asimismo, el índice de acidez se mantuvo casi constante en las tres muestras, con un valor de 1.9512, 1.9510 y 1.9513 mg KOH/g, mientras que el índice de saponificación registró valores de 51.12, 50.25 y 52.99 mg KOH/g, respectivamente. En cuanto a las características organolépticas, no se observaron diferencias entre los aceites esenciales, presentando en todos los casos un aspecto de líquido aceitoso, color amarillo tenue y un aroma refrescante característico.

3. La composición química del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata presenta ligeras variaciones con los pisos ecológico, así los componentes mayoritarios para Chamaca son el Mentol 72.07 %, Mentona 5.09 %, Cloroformiato de L-mentilo 4.92 % y L-mentol 3.17 %. Para Ccorao el Mentol 51.82 %, Mentona 25.88 %, Cloroformiato de L-mentilo 4.69 % y L-mentol 4.22 %. Para San Pedro el Mentol 41.79 %, Mentona 16.15 %, Acetato de mentol 6.2 %, D – Limoneno 6.54 %, Pineno 6.5 % y Eucaliptol 4.38 %. El contenido de mentol incrementa con la altitud y a menor altura incrementan el porcentaje de los componentes minoritarios.

4. El aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata de los tres pisos ecológicos presentan efecto insecticida alto para los insectos adultos de *Linepithema sp,* con una CL_{50} mucho mejor para la muestra de San Pedro, 0.16 %. Seguida de las muestras de Ccorao, 0.17 % y Chamaca, 0.18 %. Con una mortalidad del 100 % a 12 horas de exposición a una concentración 0.60 % de aceite esencial. El efecto insecticida probablemente se debe a la presencia de Mentol, Mentona y limoneno que según bibliografía poseen propiedades insecticidas.

SUGERENCIAS

- Evaluar la actividad insecticida de *Mentha x piperita* var. citrata en condiciones de campo para validar los resultados en los insectos de especie *Linepithema sp.* obtenidos en laboratorio.
- Se recomienda promover el cultivo de planta de especie *Mentha x piperita* var. citrata para garantizar fuentes de materia prima y utilizarlas en el campo de la medicina.
- Tomar en cuenta el aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata del piso ecológico de Suni (Sicuani) como insecticida adecuado frente a los insectos.
- Se recomienda salvaguardar y conservar las especies de *Mentha x piperita* var. citrata, ya que están presentes de forma silvestre en la naturaleza.

BIBLIOGRAFÍA

Adeyinka, A., Muco, E., Regina, Á. C., & Pierre, L. (2023). Organophosphates. *National Library of Medicine*.

Alibegov, A., Soy, A., Radjabov, G., Vagabova, F., & A, M. (2024). Variability of the Constituent Composition of Mentha piperita L. Essential Oil. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 268–274.

Aragón, R. J., & Chuspe, Z. M. (2018). *Ecología Geografica del Cusco* (primera ed.). Cusco, Quillabamba, perú: Maria Elena Chuspe Zans.

Atay, T., Alkan, M., Tarhanaci, B., & Ruveyda, A. F. (2024). Insecticidal activity of Mentha piperita L. (Lamiaceae) essential oil against two important stored product pests and its effect on wheat germination. *Plant Protection Bulletin*, 34-40.

Bailon, C. H. (2020). Neutralización de la Actividad Letal del Veneno de Serpiente (Bothrops Atrox) por Suero Hiperinmune de Llama (Lama Glama). *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica, 37*(3), 1726-4634.

Bandoni, A. L. (2003). *Vegetales Aromáticos en Latinoamérica, Su aprovechamiento industrial para la produccion de aromas y sabores.* CYTED (Ciencia y Tecnologia Para El Desarrollo), Buenos Aires,, Argentina.

Bardales, H. M., & Farfán, C. M. (2018). *Determinación de los componentes mayoritarios del aceite esencial del cedrón (Aloysia Triphylla) mediante destilación por arrastre de vapor" [tesis de Licenciatura, Universidad Nacional del Callao].* Repositorio Institucional, Callao.

Barquero, Q. M. (2006). *Principio y Aplicaciones de la Cromatografía de Gases* (Primera ed.). UCR (Universidad de Costa Rica.

Bellozas, M., Minig, M., Molde, C., & Manso, V. (2020). *Producto 17: Informe de caracterización de los aceites esenciales.* Pampa - Argentina: Fontagro.

Bucay, M. L. (2018). *Evaluación de la actividad antimicrobiana in vitro de mentha frente a candida albicans [tesis de maestria, Universidad Regional Autónoma de los Andes Uniandes].* Repositorio Institucional, Ambato - Ecuador.

Caceres, V., Vélez, C., Gutierrez, L., & Deza, E. (2022). Efecto repelente y tiempo de protección de aceites esenciales frente al estadio adulto de Aedes aegypti. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*.

Carrasco, L. O., & Simbaña, S. M. (2016). *Variación de la composición química del aceite esencial de hojas de ishpink (ocotea quixos) en funcion del tipo de suelo, el área geográfica, y de factores ambientales dentro de las zonas de cultivode la especie vegetal, en la region oriental de Ecuador.* Universidad Politécnica Salesiano [tesis, Quito, Ecuador. Obtenido de https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12140

Castro, P. D. (2007). *Manual para la Produccion de Plantas Aromaticas y Medicinales.* Ministerio de la Mujer y Desarrollo Social - MIMDES, LIMA - PERU.

Cayuela, S. M. (2018). Los aceites esenciales: alternativa natural a los insecticidas. *Bio Eco Actual*, Párrafo 3.

Cerpa, C. M. (2007). *Hidrodestilación de Aceites Esenciales: Modelado y Caracterización [tesis Doctoral, Universidad De Valladolid].* Repositorio Institucional, Valladolid.

Chavez, J. P. (2002). *Investigación de los parametros para la obtencion de aceites esenciales de la satureja Boliviana y sus características físicas, químicas y biológicas [Tesis doctoral, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú].* repositorio institucional, Arequipa .

Delgado, P. (2015). Evaluación de la eficacia de un insecticida biológico mediante análisis Probit. *Instituto de Zoología Agrícola*.

Descamps, L., Bizet, J., Brustle, J., & Sánchez, F. (2019). Actividad repelente del aceite esencial de Eucalyptus globulus Labill. (Myrtaceae) y Mentha x piperita L. (Lamiaceae) en Acyrthosiphon pisum Harris (Hemiptera: Aphididae). *Dominguezia*.

Díaz, O. L., Duran G., D. C., Martínez, J. R., & Stashenko, E. E. (2007). Estudio comparativo de la composición química y evaluación de la actividad antioxidante del aceite esencial Aloysia triphylla L´HER BRITTON, cultivadas en tres regiones de colombia. *Scientia Et Technica*, 351-353.

Ensley, S. M. (2018). Organochlorines. *Veterinary Toxicology*, 509-513.

Flores, S. M., Ramos, L. M., Gonzáles, C. M., Zavala, S. M., & Soto, M. L. (2020). Efecto Insecticida e Insectistático Del Aceite Esencial de "Hyptis albida contra Spodoptera frugiperdas. *Entomología Mexicana*(7), 62-66.

Gallego, F. L. (2017). Museo Entomológico. *Universidad Nacional de Colombia sede Medellín*, 4-30.

Golian, M., Tancinova, D., Lakatosova, J., & Mrvova., M. (3 de Julio de 2025). Efecto de la altitud en la producción de biomasa y la composición del aceite esencial de plantas medicinales seleccionadas. *Elsevier, 233*(121475). doi:https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121475

Gonzales, C. J. (2023). *"Análisis Intrumental De Productos Agroindustriales" Polarimetría.* Universidad Nacional Del Santa, CHIMBOTE- PERÚ.

Gršić, K., & Grdiša, M. (2013). Botanical Insecticides in Plant Protection. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 85-93.

Gupta, R. C., Malik, J. K., Mukherjee, I. R., & Dettbarn, W.-D. (2019). Insecticides. *Biomarkers in Toxicology*, 455-475. Obtenido de https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814655-2.00026-8

Gutiérrez, B. M. (2002). La cromatografia de Gases y la Espectrometría de Masas. *INTEXTER (Instituto de Investigacion Textil y de Cooperación Industrial)*(122), 35-41.

Gutiérrez, B. M., & Droguet, M. (2002). La Cromatografía De Gases y La Espectrometría De Masas: Identificación De Compuestos Causantes De Mal Olor. *INTEXTER (U.P.C)*, 35-41.

Herrera, B. L., Yarasca, Á. A., & Granara, A. S. (2017). Cribado fitoquímico del Baccharis latifolia (R&P.) Pers. (chilca). *Revista Cubana de Plantas Medicinales , I*(22), 1-7.

Huamani, N. V. (2024). *Actividad antioxidante in vitro del aceite de las hojas de Mentha piperita L, "menta negra" de tres zonas de las region de Ayacucho, 2023.* Repositorio Institucional , Ayacucho.

Iriberri, J. (31 de Octubre de 2020). *Linepithema sp. [Fotografia]*. Obtenido de Registros Ecológicos de la Comunidad : https://www.ecoregistros.org/ficha/Linepithema-sp.

Jean, C., Kenza, M., Fátima, Z., & Mohammed, E. A. (2019). Antifungal and Insecticidal Activities of Essential Oils of Four Mentha Species. *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products*.

Keese, R., & Robert, M. (1990). *Métodos de Laboratorio para Química Orgánica.* México: Limusa.

Kharoubi, Rehimi, N., Klaldi, R., Abderrahim, J., & Soltani, N. (2021). Phytochemical Screening and Insecticidal Activities of Essential oil of Mentha x piperita L. (Lamiales: Lamiaceae) and their Enzymatic Properties against Mosquito Culex pipiens L. (Diptera: Culicidae). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*.

Lim, L. L., & Abdul, A. H. (2019). Plant derived pesticides (Citrus hystrix DC, Mentha × piperita L., Ocimum basilicum L.) in controlling household ants (Tapinoma indicum (F.), Pheidole megacephala (F.), Monomorium pharaonis (L.)) (Hymenoptera: Formicidae). *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*.

Lock de Ugaz, O. (1994). *Investigación Fitoquímica Métodos en el estudio de productos naturales.* Pontificia Universidad Catolica del Perú, Lima - Perú. doi:https://doi.org/10.18800/9788483909522

Lopez, D. L., & Caso, O. N. (2015). *Rendimiento y Composición Química de Aceites Esenciales de Eucalyptus archeri y Schinus molle-Valle del Mantaro [tesis de Titulacion, Universidad Nacional Del Centro Del Perú].* Repositorio Institucional.

Madhu. (20 de Julio de 2020). *Diferencia entre el valor de acidez y el valor de saponificación.* Obtenido de Difference Between.com : https://www.differencebetween.com/difference-between-acid-value-and-saponification-value/

Maia, M. F., & Moore, S. J. (2011). Repelentes de insectos de origen vegetal: una revisión de su eficacia, desarrollo y ensayos. *Malaria Journal, 10*, 1-15. Obtenido de https://link.springer.com/article/10.1186/1475-2875-10-S1-S11

Marquez, J. (s.f). *Métodos De Aplicación De Plaguisidas*. Obtenido de TETENGO: https://www.tetengo.com.mx/blog/nueve-metodos-de-aplicacion-de-plaguicidas-que-toda-fumigadora-debe-conocer

Martín, G. C. (2016). Espectrometría de Masas y Análisis de Biomarcadores. *Real Academia Nacional de Farmacia*, 113-168.

Martinez, A. (2003). *Aceites Esenciales.* Universidad de Antioquia, Medillin. Obtenido de https://www.med-informatica.com/OBSERVAMED/Descripciones/AceitesEsencialesUdeA_esencias2001b.pdf

Martinez, A. M. (2003). Aceites Esenciales. *Universidad de Antioquia*, 77-79.

Montoya, C. G. (2010). Aceites Esenciales: Una Alternativa de Diversificación para el Eje Cafetero. *Universidad Nacional De Colombia. Facultad De Ciencias Exactas y Naturales*.

Mossa, A.-T. H., Mohafrash, S. M., & Chandrasekaran, t. (2018). Seguridad de los insecticidas naturales: efectos tóxicos sobreAnimales de experimental animals. *Investigación BioMed Internacio*, 1-17.

Muñoz, L. d. (2002). *Plantas Medicinales y Aromaticas: Estudio, Cultivo y Procesado.* Madrid: Mundi-Prensa.

Murray, I. B. (2006). Botanical Insecticides, Deterrents, And Repellents In Modern Agriculture And An Increasingly Regulated World. *Annual Review of Entomology, III*(51), 45-66.

Nuñez, H. V. (2024). *Actividad antioxidante in vitro del aceite de las hojas de Mentha piperita L. "menta negra" de tres zonas de la región de Ayacucho, 2023 [tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].* Repositorio Institucional. Obtenido de https://repositorio.unsch.edu.pe/handle/20.500.14612/6967

Ochoa, S. A., Torres, L. S., & Camacho, A. (2017). Aceites esenciales y sus componentes como una alternativaen el control de mosquitos vectores de enfermedades. *Revista del Instituto Nacional de Salud "Biomédica9, 37*(2).

Olayemi, R., Balarabe, H., & Muhammad, A. (2023). Determination of composition and insecticidal potential of leaf essential oil of Mentha Pieperita L. *AGRICULTURAL RESEARCH AND BIOTECHNCLOGY*.

Orav, A., Raal, A., & Arak, E. (2004). Comparative chemical composition of the essential oil of Mentha x piperita L. from various geographical sources. En A. Hillar, *CHEMISTRY* (págs. 174-181). Estonia : Board.

Pang, X., Feng, Y.-X., Xiao, J. Q., & Yang, R. (2020). Toxicity and repellent activity of essential oil from Mentha piperita Linn. leaves and its major monoterpenoids against three stored product insects. *Environmental Science and Pollution Research*, 7618-7627.

Parrales, A. (2012). *Cromatografia del Gas Natural [Tesis de Grado; Escuela de Superior Politécnica del Litoral].* Guayaquil - Ecuador.

Patiño, B. W. (2018). *Aceites esenciales como potenciales agentes fitosanitarios para el control de Sitophilus zeamais [tesis de Maestria, Universidad Nacional de Colombia].* Repositorio Institucional, Bogota.

Peeyush, K., Sapna, M., Anushree, M., & Santosh, S. (2012). Efficacy of Mentha × piperita and Mentha citrata essential oils against housefly, Musca domestica L. *Industrial Crops and Products*, 106-112.

Prasannakumar, N., Jyothi, N., Saroja, S., & Lokesha, U. (2023). Insecticidal properties of Ocimum basilicum and Mentha piperita essential oils against South American Tomato moth, Phthorimaea absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelichiidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, Volumen 190.

Quispe, V. D. (2016). *Uso Terapeutico de Menta piperita (MENTA) En Pobladores Del Asentamiento Humano Las Lomas de la Pradera, Pimentel, Chiclayo Setiembre 2014 - Setiembre 2015 [Tesis Licenciatura, Universidad Catolica los Angeles Chimbote].* Repositorio Institucional.

Ramírez, J. E., Gómez, M. I., Cotes, J. M., & Ñústez, C. E. (2010). Efecto Insecticida de los Aceites Esenciales de Algunas Lamiáceas sobre Tecia Solanivora Povolny en Condiciones de Laboratorio. *Agronomia Colombia, 38*(2), 255-263.

Requejo, A. (2020). *Aceites Esenciales en Sinergia* (primera ed.). Malaga: ExLibric.

Reyes, M. (2008). Medicamentos Herbarios Tradicional, 103 especies vegetales . *Protege red de proteccion social* , págs. 115-116. Obtenido de https://www.udocz.com/apuntes/333412/libro-medicamentos-herbario-tradicionales#goog_rewarded

Reyna-Fuentes, J. H. (2021). Fitoterapia una alternativa de control de plagas y enfermedades de abejas. *Journal of the Selva Andina Sciennce, 8*(2), 114-123.

Ringuelet, J. (2013). Terpenoides. En J. Ringuelet, & S. Viña, *Productos Naturales Vegetales* (págs. 151-190). Buenos Aires: Edulp. Obtenido de https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/27885/RINGUELET.pdf?sequence=1

Rios, N., Stashenko, E., & Duque, J. (2017). Evaluación de la actividad insecticida de aceites esenciales y sus mezclas contra Aedes aegypti (Distera: Culicidae). *Revista Brasileira de Entomología*, 307-311. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.rbe.2017.08.005

Rivera, S. D. (2008). *Caracterización De Aceites Esenciales Por Ccromatografía De Gases De Tres Especies Del Género Piper y Evaluación De La Actividad Citotóxica [Tesis de Licenciauta, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA].* Repositorio Institucional, Guatemala.

Rothschuh, U. (10 de Febrero de 2023). *Ecología Verde [Fotografia]*. Obtenido de https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-menta-4269.html

Sabini, M. C., Menis, C. F., & Beoletto, V. G. (2019). Historia de las plantas medicinales . En *Una farmacia en el monte* (págs. 11-20). Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Córdoba.

Saeidi, K., & Mirfakhraie, S. (2017). Chemical composition and insecticidal activity Mentha piperita L. essential oil against the cowpea seed beetle Callosobruchus maculatus F. (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Entomological and Acarological Research*.

Sanchez, O. M. (2006). *Manual Práctico de Aceites Esenciale, Aromas y Perfumes.* España: AIYANA.

Santos, B. J. (2013). *"Evaluaión Del Contenido De l-Mentol, l-Mentona Y l-Acetato De Mentilo En El Aceite Esencial De Mentha piperita L." (tesis de licenciatura, Universidad Católica de Santa Maria].* Repositorio Institucional, Arequipa.

Schmidt, E., Bail, S., Buchbauer, G., Stoilova, I., Atanasova, T., Stoyanova, A., . . . Jirovetz, L. (14 de Julio de 2009). Composición química, evaluación olfativa y efectos antioxidantes del aceite esencial de Mentha x piperita. *Natural Product Communications, 4*(8), págs. 1107 - 1112. doi:https://doi.org/10.1177/1934578X0900400819

Silvestre, R., & Silva, R. R. (2003). Grupos funcionales de hormigas: El caso de los gremios del Cerrado. *Introducción a Las Hormigas De La Región Neotropical*, 113-148.

Solís, Q. L. (2018). *Plantas y Aceites Esenciales Como Insecticidas: Una alternativa de manejo ecológico* (1° Primera ed.). (UNSAAC, Ed.) Cusco: UNSAAC.

Solis, Q. L., Solis, Q. J., Luz J, A. A., Miguel, F., Ivones, H., Idania, R., & Jorge, A. P. (2017). Composición Química y actividad antioxidante de aceite esencial de Tanacetum vulgare y Mentha x piperita L. var. vulgaris cultivados en cusco, Perú. *Revista CENIEC. Ciencias Químicas, 48*(1), 41 - 47. Obtenido de https://www.redalyc.org/journal/1816/181654080007/

Sostenible, B. (2003). Estudio Del Mercado Colombiano De Aceites Esenciales. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos"Alexander von Humboldt*.

Tapondjou, A., Adler, C., Fontem, D., Bouda, H., & Reichmuth, c. (2005). Bioactividad de Cymol y aceites esenciales de cupressus sempervirenrs y Eucalyptus saligna contra Sitophilus zeamais Motschulsky y Tribolium confusum du Val. *Revista de investigación de productos almacenados ELSEVIER , 41*(1), 91-102.

Tomaylla, C. C. (2016). *Composición química y efecto insecticida de los aceites esenciales de Tanacetum vulgare Linnaeus y Mentha x pipera var. Vulgaris (Ehrh) Briq-sobre Epitrix spp.* Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco , Cusco, Perú.

Vale, A., & Lotti, M. (2015). Organophosphorus and carbamate insecticide poisoning. *Handbook of Clinical Neurology, 131*, 149-168.

Vallavan, R., Chinappan, G., Inbaraj, C., & Cheruvathur, P. (2019). Toxicity, antifeedant and biochemical efficacy of Mentha piperita L. essential oil and their major constituents against stored grain pest. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 138-144.

Wade, L. (2012). *Química Orgánica.* México: Pearson.

Wild, A. L. (2007). *Taxonomic Revision of the Ant Genus Linepithema (Hymenoptera: Formicidae.* Los Angeles : Bradford A.

Zúniga, O. M. (2022). *Composición Química De Los Aceites Esenciales De Minthostachys spicata (Benth) Epling, Clinopodium bolivianum (Benth) Kuntze, Tanacetum vulgare Linnaeus y Mentha x piperita Var. Citrata (Ehrh.) Bbriq y Su Efecto Insecticida Para Pagiocerus frontalis.* repositorio UNSAAC, Cusco.

ANEXOS

Anexo 1 Zona de muestreo de *Mentha x piperita* var. citrata de los tres pisos ecológicos.



(a) Muestreo de la zona de Chumbivilcas



(b) Muestreo de la zona de Ccorao



(c) Muestreo de zona de Sicuani

Anexo 2 Preparación de muestra y obtención de aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata.



(a) Preparación de la muestra de *Mentha x piperita* var. citrata



(b) Obtención de aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata



(c) Aceite esencial de *Mentha x piperita* en trampa Clevenger



(d) Aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata en frasco de color ámbar y rotulado

Anexo 3 Caracterización Fisicoquímica del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata.



(a) Determinación de densidad de aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata



(b) Prueba de solubilidad de aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata



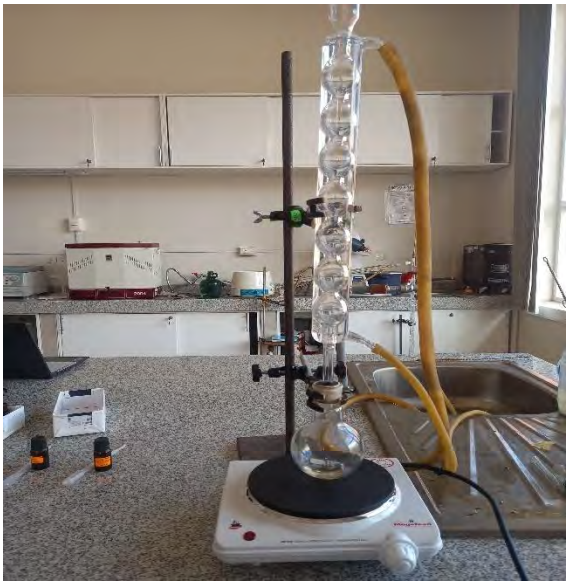
(c) Determinación de índice de refracción del aceite esencial *Mentha x piperita* var. citrata.



(d) Determinación de rotación óptica del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata.



(e) Determinación de índice de acidez del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata.



(d) Determinación de índice de saponificación del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata.

Anexo 4 Determinación de la composición química del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata.





(a) Preparación de la muestra para la determinación de composicion quimica del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata mediante GC/MS Thermo scientific, Trace 1310, ISQ QD

Anexo 5 Determinación de efecto insecticida del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata sobre los insectos de la especie *Linepithema sp*.



(a) Insectos de *Linepithema Sp* para la aplicación de efecto insecticida



(b) Determinación de efecto insecticida del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata



(c) Aplicación de la muestra del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata sobre insectos de *Linepithema Sp*

Anexo 6 Constancia de identificación de la muestra de insectos de la especie *Linepithema sp.*

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

CONSTANCIA DE IDENTIFICACION DE MUESTRA

El suscrito Dr. Erick Yabar Landa, responsable del Laboratorio de Entomología, de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, de esta ciudad, por este conducto:

HACE CONSTAR

Que, las muestras traídas a este laboratorio, por el Sr. RONY ROSIHIEL HUILLCACURI CRUZ,, corresponden a::

Clase: Insecta

Orden: Hymenoptera

Familia: Formicidae

Género: ***Linepithema sp***.

Se emite la presente, a solicitud del interesado.

Dr. Erick Yàbar Landa

Erick Yábar Landa
CBP. 1717

Anexo 7 Constancia de Identificación taxonómica de la especie de *Mentha x piperita* var. citrata.

INSTITUTO CIENTIFICO MICHAEL OWEN DILLON (IMOD)
Investigación, Conservación, Educación y Transformación de Recursos
Reconocido por Resolución de Dirección General Nro. 140-2016-SERFOR/DGGSPFFS

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

CONSTANCIA DE DETERMINACIÓN
N° 009-2026

El Presidente del Instituto Científico Michael Owen Dillon (IMOD).

HACE CONSTAR:

Que las tres (3) muestras presentadas por **Rony Roshiel Huillcacuri Cruz**, recolectadas en los distritos de Chamaca, provincia de Chumbivilcas, distrito de San Sebastián, provincia de Cusco, y en el distrito de San Pedro, provincia de Canchis, departamento de Cusco, para la elaboración de la tesis: **"COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE *Mentha* x *piperita* var. *citrata* DE TRES PISOS ECOLÓGICOS Y EFECTO INSECTICIDA SOBRE INSECTOS DE LA ESPECIE *Linepithema* sp."** presentada en la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. Fueron determinadas taxonómicamente en las instalaciones del Herbario Sur Peruano (HSP), del Instituto Científico Michael Owen Dillon, corresponden a:

Clase: Equisetopsida C. Agardh
Orden: Lamiales Bromhead
Familia: Lamiaceae Martinov
Género: *Mentha* L.
Especie: *Mentha x piperita* var. *citrata* (Ehrh.) Briq.

La clasificación se ha realizado según la propuesta por: *Angiosperm Phylogeny Group (APG) IV en "An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV"* (2016).

Se expide la presente a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Arequipa, 1 de julio de 2026.

Blgo. Mg. Daniel Fernando Ramos Aranibar
C. B. P. N° 9552
Presidente del Instituto Científico Michael Owen Dillon (IMOD)
Herbario Sur Peruano (HSP)
danferamos@gmail.com
dramos@imod.org.pe

Anexo 8 Composición química del AE de *Mentha x piperita* var. citrata de Chamaca (3875 msnm).

N° de Pico	Compuesto	TR (min)	Área	%
1	α-Pineno	5.68	33812782.9	0.88
2	NI	6.08	5737125.76	0.15
3	D-Limoneno	6.75	34817576.5	0.91
4	4,7,10,13-hexadecatetraenoato de metilo	6.87	14350993.3	0.38
5	Eucaliptol	7.1	33529898.6	0.88
6	Biciclo (3,1,0) hexano-2-ol	8.19	56980029.4	1.49
7	ácido pterina-6-carboxílico	8.94	8684466.79	0.23
8	NI	9.19	7541748.03	0.2
9	Mentona	10.76	194562136	5.09
10	Mentol	11.46	121143220	72.07
11	8,10-octadecadiinoato de metilo	12.05	8943027.14	0.23
12	Éster metílico del ácido 10-heptadeceno-8-inoico	12.99	8350324.61	0.22
13	ácido pterina-6-carboxílico	13.17	7111460.24	0.19
14	3-Trifluoroacetoxipentadecano	13.89	28608637.9	0.75
15	1-acetoxi-p-ment-3-ona	14.11	49201134.9	1.29
16	10,12-heptadecadiinoato de metilo	14.61	8548200.59	0.22
17	Cloroformiato de L-mentilo	15.07	188349851	4.92
18	Ácido ciclopentanocarboxílico, 2-acetil-5-metil-	18.93	44391535.9	1.16
19	9,11-octadecadiinoato de metilo	19.02	23701886	0.62
20	ácido pterina-6-carboxílico	20.09	13933377.8	0.36
21	NI	20.17	7707171.66	0.2
22	NI	20.67	10034778	0.26
23	α-copaeno	20.91	27295563	0.71
24	Bencenometanol, 2-(2-aminopropoxi)-3-metil-	21.36	7627894.78	0.2

25	α-acorenol	24.4	87852252.9	2.3
26	NI	25.44	5175431.1	0.14
27	NI	26.14	5050574.72	0.13
28	isoalocolato de etilo	27.19	15136457.6	0.4

Nota: NI = no identificado, TR = tiempo de retención, % = porcentaje de abundancia.

Anexo 9 Composición química del AE de *Mentha x piperita* var. citrata de Ccorao (3620 msnm).

N° de Pico	Compuesto	TR (min)	Área	%
1	NI	3.31	1959408	0.06
2	NI	3.35	2253103	0.07
3	1,4,6,9-Nonadecatetreene	5.74	19609053	0.57
4	D-Limoneno	6.78	86139447	2.52
5	9,11-octadecadiinoato de metilo	6.92	10939904	0.32
6	Eucaliptol	7.13	41378615	1.21
7	Biciclo	8.22	33255782	0.97
8	Mentona	10.76	8.84E+08	25.88
9	L-Mentol	11.17	1.44E+08	4.22
10	Mentol	11.47	1.77E+09	51.82
11	Pterina-6-carboxílica	13.9	36333818	1.06
12	1-Acetoxi-p-ment-3-ona	14.11	51594892	1.51
13	Cloroformiato de L-mentilo	15.07	1.6E+08	4.69
14	éster metílico del ácido araquidónico	17.89	5044004	0.15
15	ácido pterina-6-carboxílico	18.93	32027595	0.94
16	4,7,10,13-hexadecatetraenoato de metilo	19.02	24798941	0.73
17	NI	19.54	6750665	0.2
18	NI	20.07	13329938	0.39
19	NI	20.16	7428070	0.22

20	NI	20.67	5011881	0.15
21	6,8-octadecadiinoato de metilo	20.9	26877886	0.79
22	NI	21.36	10693741	0.31
23	Éster metílico del ácido 12,15-octadecadiinoico	24.39	41650341	1.22

Nota: NI = no identificado, TR = tiempo de retención, % = porcentaje de abundancia.

Anexo 10 Composición química del AE de *Mentha x piperita* var. citrata de San Pedro (3490 msnm).

N° de Pico	**Compuesto**	**TR (min)**	**Área**	**%**
1	4-Hexen-1-ol	3.34	40373759.5	0.34
2	α-pineno	4.55	46169568.5	0.39
3	Biciclo	5.38	44272119.9	0.38
4	α-pineno	5.51	73529083.8	0.63
5	Pineno	5.7	762241063	6.5
6	3-octanol	6.11	28783596.2	0.25
7	Ciclohexeno p-Menta-1,4(8)-dieno	6.44	16560026.8	0.14
8	1,3,5-Cicloheptatrieno	6.64	24094288.1	0.21
9	D-Limoneno	6.77	767321913	6.54
10	trans-á-Ocimeno	6.89	263430907	2.25
11	Eucaliptol	7.11	514471911	4.38
12	1,3,6-octatrieno, 3,7-dimetil	7.19	62418175.6	0.53
13	α-terpineno	7.56	39523736.3	0.34
14	Biciclo	8.22	255821666	2.18
15	p-Mentha-1,8(8)-dieno	8.36	21801459.2	0.19
16	NI	8.96	26337083.5	0.22

17	Colestan-3-ol, 2-metileno	9.22	19165007.9	0.16
18	Mentona	10.76	1895196401	16.15
19	NeoMentol	11.18	354971980	3.03
20	Mentol	11.49	4902816308	41.79
21	NI	13	12563144.1	0.11
22	NI	13.18	25472462	0.22
23	P-Mentan-3-ona	13.9	144782216	1.23
24	P-ment-1-en-3-ona	14.13	155191541	1.32
25	NI	14.5	20846601.2	0.18
26	Acetato de mentol	15.07	727046000	6.2
27	Éster metílico del ácido araquidónico	17.89	12954041	0.11
28	p-Mentano-1,2,3-triol	18.95	95634885.7	0.82
29	Isocariofileno	19.02	95724769.3	0.82
30	1-Acetoxi-p-ment-3-ona	19.56	20316188.7	0.17
31	NI	20.04	9699934.6	0.08
32	NI	20.11	25034626.7	0.21
33	NI	20.18	13820854.4	0.12
34	α-copaeno	20.91	86486498	0.74
35	Viridiflorol	24.42	78878526.8	0.67
36	NI	40.85	48866444.5	0.42

Nota: NI = no identificado, TR = tiempo de retención, % = porcentaje de abundancia.

Anexo 11 datos por triplicado de determinación de características fisicoquímica del aceite esencial *Mentah x piperita* var. citrata de los tres pisos ecológicos.

Características fisicoquímicas	**Promedio**	**Chamaca (3875 m.s.n.m)**	**Ccorao (3620 m.s.n.m)**	**San Pedro (3490 m.s.n.m)**
Densidad relativa		0.8925	0.8948	0.8951
		0.8955	0.8945	0.8948
		0.8961	0.8945	0.8948
	$\bar{X}$	**0.8947 ± 0.0019**	**0.8946 ± 0.0002**	**0.8949 ± 0.0002**
Índice de refracción		1.4574	1.460	1.4575
		1.4571	1.4597	1.4572
		1.4571	1.4597	1.4572
	$\bar{X}$	**1.4572 ± 0.0002**	**1.4598 ± 0.0002**	**1.4573 ± 0.0002**
Rotación óptica		0.3128	0.315	0.3164
		0.3127	0.3151	0.3163
		0.3129	0.3152	0.3165
	$\bar{X}$	**0.3128 ± 0.0001**	**0.3151 ± 0.0002**	**0.3164 ± 0.0001**
Índice de acidez		1.9511	1.9511	1.9513
		1.9513	1.9509	1.9512
		1.9512	1.9510	1.9514
	$\bar{X}$	**1.9512 ± 0.0001**	**1.9510 ± 0.0001**	**1.9513 ± 0.0001**
Índice de saponificación		51.14	50.27	52.99
		51.10	50.23	53.01
		51.12	50.25	52.97
	$\bar{X}$	**51.12 ± 0.02**	**50.25 ± 0.02**	**52.99 ± 0.02**

Anexo 12

Efecto insecticida del aceite esencial de Mentha x piperita var. citrata sobre los insectos adultos de Linepithema sp, de Chamaca

Efecto insecticida sobre *Linepithema sp* con 20 insectos por ensayo						
Piso ecológico	Concentración (% v/v)	Promedio	Mortalidad de insectos *Linepithema sp.*			
			2 horas	8 horas	12 horas	24 horas
Chamaca (3875 m.s.n.m.) M1	Blanco		0	0	0	0
			0	0	0	0
			0	0	0	0
			0	0	0	0
		$\bar{X}$	0	0	0	0
	0.20 %		1	6	11	14
			1	6	13	14
			2	5	12	15
			1	6	14	14
		$\bar{X}$	1.25	5.75	12.50	14.25
	0.30 %		2	9	14	16
			2	8	13	15
			3	9	14	17
			2	7	13	15
		$\bar{X}$	2.25	8.25	13.50	15.75
	0.40 %		6	11	16	17
			5	13	17	19
			5	12	16	18
			5	11	17	19
		$\bar{X}$	5.25	11.75	16.50	18.25
	0.5 %		6	14	19	20
			6	14	19	20
			7	13	19	20
			6	14	20	20
		$\bar{X}$	6.25	13.75	19.25	20
	0.6 %		6	13	20	20
			7	14	20	20
			6	13	20	20
			6	12	20	20
		$\bar{X}$	6.25	13	20	20
	Patrón (Bin Ladino Mata Hormigas)		14	18	20	20
			13	18	20	20
			12	19	20	20
			14	20	20	20
		$\bar{X}$	13.25	18.75	20	20

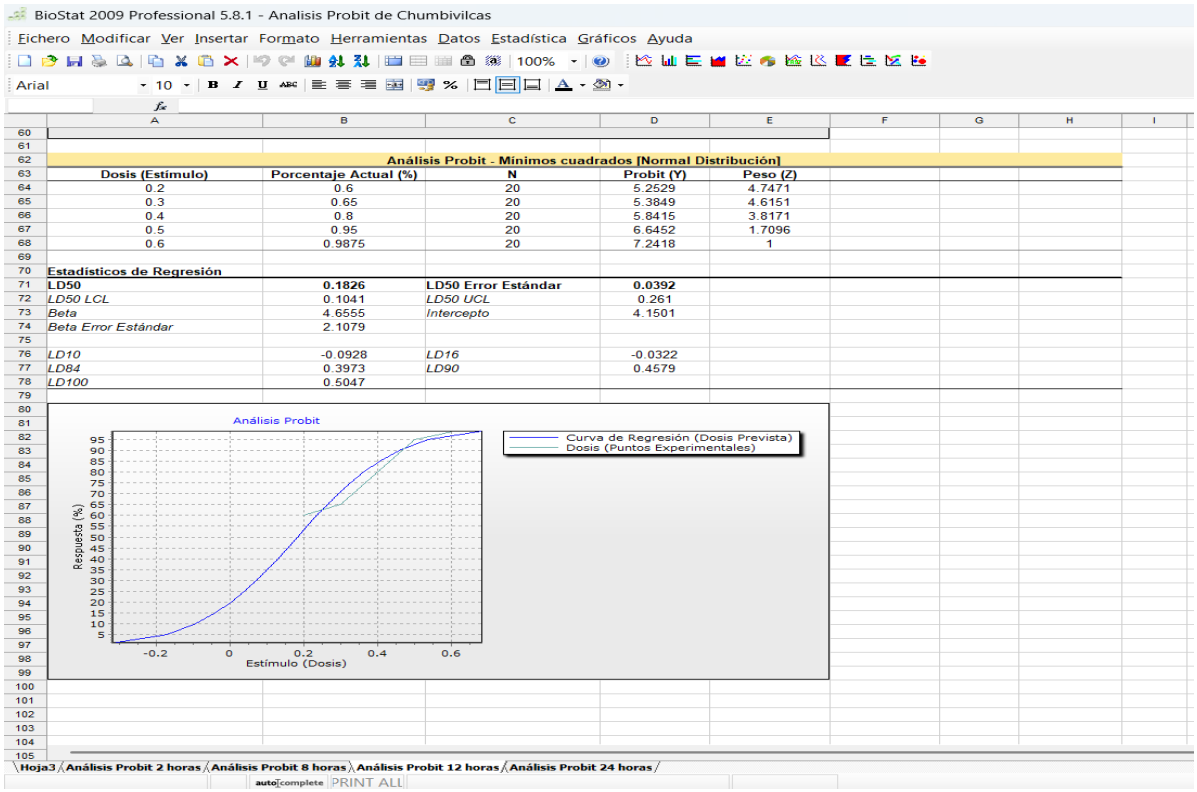
Anexo 13 Efecto insecticida del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata sobre los insectos adultos de *Linepithema sp,* de Ccorao

Efecto insecticida sobre *Linepithema sp* con 20 insectos por prueba						
Piso ecológico	Concentración (% v/v)	Promedio	Mortalidad de insectos *Linepithema sp.*			
			2 horas	8 horas	12 horas	24 horas
Ccorao (3620 m.s.n.m.) (M2)	Blanco		0	0	0	0
			0	0	0	0
			0	0	0	0
			0	0	0	0
		$\bar{X}$	0	0	0	0
	0.20 %		1	5	11	14
			2	4	12	14
			2	5	13	15
			1	4	12	15
		$\bar{X}$	1.5	4.50	12	14.5
	0.30 %		2	9	15	17
			3	8	14	16
			3	8	15	17
			2	8	13	15
		$\bar{X}$	2.5	8.25	14.25	16.25
	0.40 %		7	11	16	18
			6	12	17	19
			8	13	17	19
			6	12	16	19
		$\bar{X}$	6.75	12	16.5	18.75
	0.50 %		7	16	19	20
			6	15	19	20
			8	14	20	20
			8	15	19	20
		$\bar{X}$	7.25	15	19.25	20
	0.60 %		9	16	20	20
			8	15	20	20
			8	16	20	20
			10	17	20	20
		$\bar{X}$	8.75	16	20	20
	Patrón (Bin Ladino Mata Hormigas)		12	17	20	20
			14	18	20	20
			15	19	20	20
			13	19	20	20
		$\bar{X}$	13.5	18.25	20	20

Anexo 14 Efecto insecticida del aceite esencial de *Mentha x piperita* var. citrata sobre los insectos adultos de *Linepithema sp,* de San Pedro

Efecto insecticida sobre *Linepithema sp* con 20 insectos por prueba						
Piso ecológico	Concentración (% v/v)		Mortalidad de insectos *Linepithema sp.*			
			2 horas	8 horas	12 horas	24 horas
San Pedro (3490 m.s.n.m.) M3	Blanco		0	0	0	0
			0	0	0	0
			0	0	0	0
			0	0	0	0
		$\bar{X}$	0	0	0	0
	0.20 %		1	4	11	13
			1	6	12	14
			1	5	13	15
			2	5	14	15
		$\bar{X}$	1.25	5	12.5	14.25
	0.30 %		3	8	14	16
			2	9	13	16
			3	7	15	18
			3	7	14	17
		$\bar{X}$	2.75	7.75	14	16.75
	0.4 %		4	11	17	18
			6	12	16	18
			5	12	16	19
			5	11	18	19
		$\bar{X}$	5	11.5	16.75	18.5
	0.5 %		6	15	19	20
			6	14	19	20
			7	15	20	20
			6	14	20	20
		$\bar{X}$	6.25	14.5	19.50	20
	0.6 %		7	14	20	20
			6	14	20	20
			7	15	20	20
			7	14	20	20
		$\bar{X}$	6.75	14.25	20	20
	Patrón (Bin Ladino Mata Hormigas)		15	19	20	20
			13	18	20	20
			14	19	20	20
			12	20	20	20
		$\bar{X}$	13.5	19	20	20

Anexo 15 Cálculos realizados para la determinación de CL_{50} de efecto insecticida de los tres pisos ecológicos por BioStat 2009 Profesional 5.8.1



BioStat 2009 Professional 5.8.1 - Analisis Probit de Chumbivilcas

Fichero Modificar Ver Insertar Formato Herramientas Datos Estadística Gráficos Ayuda

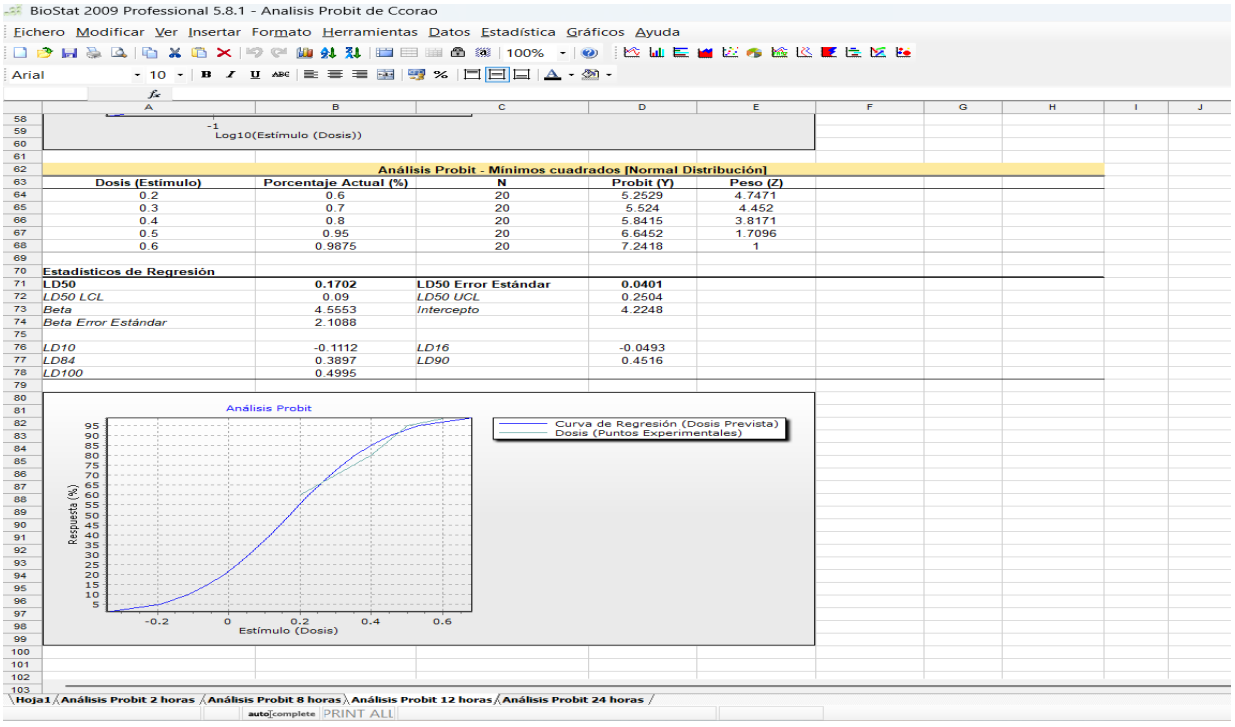
Análisis Probit - Mínimos cuadrados [Normal Distribución]

Dosis (Estímulo)	Porcentaje Actual (%)	N	Probit (Y)	Peso (Z)
0.2	0.6	20	5.2529	4.7471
0.3	0.65	20	5.3849	4.6151
0.4	0.8	20	5.8415	3.8171
0.5	0.95	20	6.6452	1.7096
0.6	0.9875	20	7.2418	1

Estadísticos de Regresión

LD50	**0.1826**	**LD50 Error Estándar**	**0.0392**
LD50 LCL	0.1041	*LD50 UCL*	0.261
Beta	4.6555	*Intercepto*	4.1501
Beta Error Estándar	2.1079		
LD10	-0.0928	*LD16*	-0.0322
LD84	0.3973	*LD90*	0.4579
LD100	0.5047		

Hoja3 / Análisis Probit 2 horas / Análisis Probit 8 horas / Análisis Probit 12 horas / Análisis Probit 24 horas



BioStat 2009 Professional 5.8.1 - Analisis Probit de Ccorao

Fichero Modificar Ver Insertar Formato Herramientas Datos Estadística Gráficos Ayuda

Log10(Estímulo (Dosis))

Análisis Probit - Mínimos cuadrados [Normal Distribución]

Dosis (Estímulo)	Porcentaje Actual (%)	N	Probit (Y)	Peso (Z)
0.2	0.6	20	5.2529	4.7471
0.3	0.7	20	5.524	4.452
0.4	0.8	20	5.8415	3.8171
0.5	0.95	20	6.6452	1.7096
0.6	0.9875	20	7.2418	1

Estadísticos de Regresión

LD50	**0.1702**	**LD50 Error Estándar**	**0.0401**
LD50 LCL	0.09	*LD50 UCL*	0.2504
Beta	4.5553	*Intercepto*	4.2248
Beta Error Estándar	2.1088		
LD10	-0.1112	*LD16*	-0.0493
LD84	0.3897	*LD90*	0.4516
LD100	0.4995		

Hoja1 / Análisis Probit 2 horas / Análisis Probit 8 horas / Análisis Probit 12 horas / Análisis Probit 24 horas

BioStat 2009 Professional 5.8.1 - Analisis probit de Sicuani

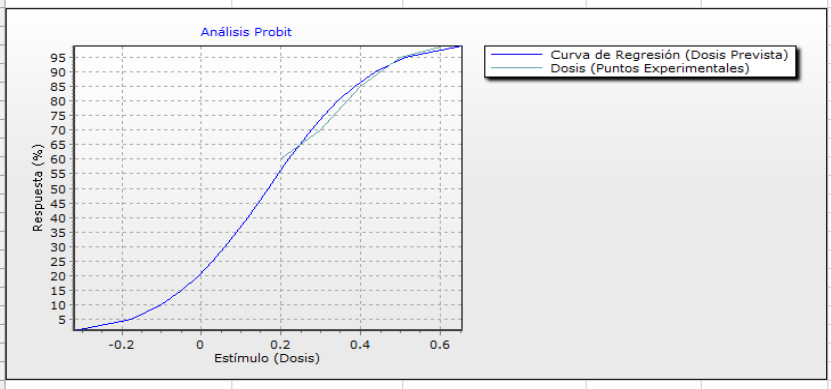
Fichero Modificar Ver Insertar Formato Herramientas Datos Estadística Gráficos Ayuda

Análisis Probit - Mínimos cuadrados [Normal Distribución]

Dosis (Estímulo)	Porcentaje Actual (%)	N	Probit (Y)	Peso (Z)
0.2	0.6	20	5.2529	4.7471
0.3	0.7	20	5.524	4.452
0.4	0.85	20	6.0364	3.3907
0.5	0.95	20	6.6452	1.7096
0.6	0.9875	20	7.2418	1

Estadísticos de Regresión

LD50	**0.1676**	**LD50 Error Estándar**	**0.0382**
LD50 LCL	0.0912	*LD50 UCL*	0.244
Beta	4.7799	*Intercepto*	4.1989
Beta Error Estándar	2.1176		
LD10	-0.1006	*LD16*	-0.0416
LD84	0.3768	*LD90*	0.4358
LD100	0.4814		



Hoja1 | Análisis Probit 2 horas | Análisis Probit 8 horas | Análisis Probit 12 horas | Análisis Probit 24 horas

Anexo 16

Operacionalización de variables de la investigación

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Variable independiente Aceite esencial de *Mentha* × *piperita* var. *citrata* procedente de tres pisos ecológicos	Mezcla de compuestos volátiles obtenidos de Mentha × piperita var. citrata, cuya composición química y propiedades pueden variar según el piso ecológico de procedencia.	El aceite esencial se obtuvo mediante hidrodestilación con equipo Clevenger y se evaluó su rendimiento, propiedades fisicoquímicas y composición química en muestras procedentes de tres pisos ecológicos.	Procedencia	Piso ecológico (San Pedro, Ccorao y Chamaca)	Registro de campo
			Rendimiento	porcentaje de extracción de aceite esencial (%)	Balanza analítica e Hidrodestilación con trampa Clevenger
			Propiedades fisicoquímicas	• Solubilidad, • Densidad • índice de refracción (nD) • índice de acidez (mg KOH/g) • índice de saponificación (mg KOH/g) • rotación óptica (º)	Solubilidad en solventes, picnómetro Refractómetro, titulación, polarímetro
			Composición química	% de mentol, mentona, limoneno y otros compuestos	CG-MS
Variable dependiente Efecto insecticida sobre insectos adultos de *Linepithema* sp.	Capacidad del aceite esencial para provocar la muerte o afectar la supervivencia de los insectos adultos de *Linepithema* sp..	El efecto insecticida se determinó mediante bioensayos con diferentes concentraciones del aceite esencial, registrando la mortalidad a distintos tiempos de exposición y estimando la CL_{50}.	Mortalidad	Número de insectos muertos	Observación directa
			Mortalidad porcentual	% de mortalidad	Registro experimental
			Toxicidad	CL_{50}	Análisis Probit (Finney)
			Tiempo de exposición	2, 8, 12 y 24 horas (o los tiempos utilizados)	Cronómetro y hoja de registro