



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO

**MAESTRIA EN CIENCIAS MENCIÓN QUÍMICA ESPECIALIDAD
PRODUCTOS NATURALES**

TESIS

COMPOSICIÓN QUÍMICA Y EFECTO INSECTICIDA DE
ACEITES ESENCIALES, DE *Schinus molle* L Y *Tanacetum*
parthenium L SOBRE *Pagiocerus frontalis*.

**PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
CIENCIAS MENCIÓN QUÍMICA ESPECIALIDAD
PRODUCTOS NATURALES**

AUTOR:

Br. JERÓNIMA SURCO FUENTES

ASESOR:

Dr. LEONCIO SOLIS QUISPE

CODIGO ORCID: 0000-0001-9979-8590

CUSCO – PERÚ

2025



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

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

El que suscribe, el Asesor DR. LEONARDO SOLÍS QUISPE
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: "COMPOSICIÓN QUÍMICA Y
EFECTO INSECTICIDA DE ACEITES ESENCIALES
DE SCHIMUS MOLLE L Y TAXACEPTUM L SOBRE EL
PAGIDICERUS FRONTALIS"

Presentado por: JERONIMA SUZCO FUENTES DE RIVERA DNI N° 23841408;
presentado por: DNI N°:

Para optar el título Profesional/Grado Académico de MAESTRÍA EN CIENCIAS
MENCIÓN QUÍMICA ESPECIALIDAD PRODUCTOS NATURALES

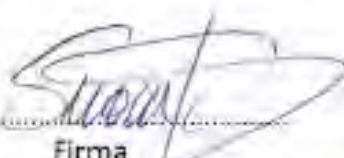
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de
Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 5 %.

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, 13 de NOVIEMBRE de 2025


Firma

Post firma LEONARDO SOLÍS QUISPE

Nro. de DNI.....

ORCID del Asesor 0000-0001-9979-2390

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 37259:527300021

JERÓNIMA SURCO FUENTES

COMPOSICIÓN QUÍMICA Y EFECTO INSECTICIDA DE ACEITES ESENCIALES, DE Schinus molle L. Y Tanacetum parth...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:527300021

Fecha de entrega

13 nov 2025, 8:10 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

13 nov 2025, 8:32 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS MAESTRIA-JERÓNIMA 2025.pdf

Tamaño del archivo

2.9 MB

163 páginas

34.100 palabras

198.093 caracteres

5% 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

- 5%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO

INFORME DE LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES A TESIS

Dra. NELLY AYDE CAVERO TORRE, Directora (e) General de la Escuela de Posgrado, nos dirigimos a usted en condición de integrantes del jurado evaluador de la tesis intitulada **COMPOSICIÓN QUÍMICA Y EFECTO INSECTICIDA DE ACEITES ESENCIALES, DE Schinus molle L Y Tanacetum parthenium L SOBRE EL Pagiocerus frontalis** de la Br. Br. JERONIMA SURCO FUENTES. Hacemos de su conocimiento que el (la) sustentante ha cumplido con el levantamiento de las observaciones realizadas por el Jurado el día **DIECISIETE DE SETIEMBRE DE 2025**.

Es todo cuanto informamos a usted fin de que se prosiga con los trámites para el otorgamiento del grado académico de **MAESTRO EN CIENCIAS MENCIÓN QUÍMICA ESPECIALIDAD PRODUCTOS NATURALES**.

Cusco, 31 de octubre de 2025

DRA. AURA NATALIA CANTERO LOAIZA
Primer Replicante

MGT. CIRO TOMAYLLA CRUZ
Segundo Replicante

DRA. YOLANDA CALLO CHOQUEVILCA
Primer Dictaminante

MGT. BLAS PORFIRIO PUMA CAPARO
Segundo Dictaminante

DEDICATORIA

A la memoria de mis amados padres, **Juan B. Concha Lucana y Lucila Fuentes Guzmán**, cuya guía, amor incondicional y sacrificios forjaron la persona que soy hoy. Aunque ya no estén físicamente, su legado vive en cada uno de mis logros y en el profundo amor que siempre me acompañará.

A mis hermanos, por su apoyo inquebrantable, sus sabios consejos y las lecciones de vida que me han enseñado. En cada paso de este camino, su compañía ha sido un refugio de fortaleza y cariño.

A mi esposo, **Percy Adolfo Pérez Carrasco**, por ser mi compañero de vida, mi apoyo incondicional y mi fuente de aliento en los momentos de desafío. Su amor y confianza han sido esenciales en la realización de este sueño.

A mis hijos, **Lucía, Estefany y Christhian**, a mi yerno **Ramiro** y a mis adoradas nietas **Bela y Luana**, por su amor, paciencia y comprensión durante este proceso. Este trabajo es un testimonio de mi infinito agradecimiento y amor hacia ustedes.

Con todo mi corazón, dedico este logro a cada uno de ustedes.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a **Dios** por su guía y bendiciones constantes a lo largo de este camino, por darme la fortaleza y sabiduría necesarias para alcanzar mis metas.

Expreso mi más profundo agradecimiento al **Dr. Leoncio Solís Quispe**, mi asesor, cuya experiencia, paciencia y dedicación fueron fundamentales para la culminación de esta tesis. Su invaluable orientación y apoyo me permitieron superar cada desafío y concluir con éxito este trabajo.

A mis colegas y amigos, por sus consejos, su apoyo incondicional y la confianza que depositaron en mí. Su compañía ha sido un pilar importante en este proceso.

Un agradecimiento especial a la **Qmco. Aurora Loayza Becerra**, una amiga excepcional, cuyo apoyo, comprensión y palabras de aliento han sido de gran valor a lo largo de este camino.

A todos aquellos que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de esta tesis, mi más sincera gratitud.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
INDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I:	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.1. <i>Situación problemática</i>	4
1.2. <i>Formulación del problema</i>	5
1.3. <i>Justificación de la investigación</i>	5
1.4. <i>Objetivos de la investigación</i>	7
CAPITULO II:	9
MARCO TEORICO.....	9
2.1 <i>Bases teóricas</i>	9
2.1.1. <i>Schinus molle L.</i>	9

2.1.1.1.	Descripción Botánica de <i>Schinus molle</i> L.....	9
2.1.1.2.	Habitad y Distribución de <i>Schinus molle</i> L.	10
2.1.1.3.	Taxonomía de <i>Schinus molle</i> L.	10
2.1.1.4.	Composición química del aceite esencial de <i>Schinus molle</i> L.....	10
2.1.1.5.	Usos en la medicina tradicional de <i>Schinus molle</i> L.....	11
2.1.2.	<i>Tanacetum parthenium</i> L.	12
2.1.2.1.	Descripción Botánica de <i>Tanacetum parthenium</i> L.....	12
2.1.2.2.	Habitad y Distribución de <i>Tanacetum parthenium</i> L.....	13
2.1.2.3.	Taxonomía de <i>Tanacetum parthenium</i> L.	13
2.1.2.4.	Perfil químico del aceite esencial de <i>Tanacetum parthenium</i>	14
2.1.2.5.	Usos en la medicina tradicional del <i>Tanacetum parthenium</i> L.....	14
2.1.3.	<i>Pagiocerus frontalis</i> (Gorgojo de maíz).....	15
2.1.3.1.	Descripción morfológica de <i>Pagiocerus frontalis</i>	16
2.1.3.2.	Ciclo biológico de <i>Pagiocerus frontalis</i>	17
2.1.3.3.	Taxonomía del <i>Pagiocerus frontalis</i>	18
2.1.4.	Insecticida.....	19
2.1.4.1.	Plantas como insecticidas de origen natural.	23
2.1.4.2.	Aceites esenciales con actividad insecticida.	24
2.1.4.3.	Forma y modo de acción de los insecticidas	27
2.1.4.4.	Métodos para evaluar la toxicidad de aceites esenciales.	27
2.1.4.5.	Concentración letal media CL ₅₀	29

2.1.5. Aceites esenciales	29
2.1.5.1. Localización y distribución de aceites esenciales en las plantas	30
2.1.5.2. Química de aceites esenciales.....	31
2.1.5.3. Ruta biosintética de terpenos en organismos vegetales.....	33
2.1.5.4. Características Físico-Químicas de Aceites Esenciales.....	37
2.1.5.5. Función biológica de los aceites esenciales.....	40
2.1.5.6. Extracción de aceites esenciales	41
2.1.5.7. Hidrodestilación de aceites esenciales con trampa de Clevenger....	42
2.1.5.8. Conservación de aceites esenciales.	44
2.1.5.9. Agentes emulsionantes de aceites esenciales.	46
2.1.6. Cromatografía de gases – Espectrometría de Masas	49
2.1.6.1. Cromatografía de gases	49
2.1.6.2. Espectrometría de Masas.....	52
2.1.6.3. Acoplamiento cromatógrafo de gases- espectrometría de masas (CG-MS).	53
2.2. Marco conceptual.....	54
2.3. Antecedentes de la investigación.....	57
2.3.1. Antecedentes de la investigación de Schinus molle L.....	57
2.3.2. Antecedentes de la investigación de Tanacetum parthenium L.....	60
2.4. Hipótesis.....	63
2.5. Identificación de variables e indicadores.	63
CAPÍTULO III.....	64

METODOLOGÍA	64
3.1. <i>Tipo de investigación: Descriptivo y Experimental.</i>	64
3.2. <i>Ubicación geográfica.</i>	64
3.5.1. Diagrama de actividades.....	66
A continuación, se presenta el diagrama de actividades Figura 16 que muestra de manera esquemática las principales fases y procedimientos desarrollados durante la investigación.....	
3.5.2. Materiales y reactivos.....	67
3.5.3. Muestreo	68
❖ Determinación de la densidad relativa.	71
❖ Determinación de la rotación óptica.....	72
❖ Determinación del índice de refracción.	72
❖ Evaluación del efecto insecticida	75
3.7. <i>Técnicas de análisis e interpretación de la información.</i>	77
CAPÍTULO IV.....	78
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	78
4.1. <i>Del Porcentaje de extracción de los aceites esenciales.</i>	78
4.2. <i>De los parámetros físico-químicos de los aceites esenciales.</i>	79
4.3. <i>De la composición química de los aceites esenciales de S. molle L. y T. parthenium L.</i>	81
4.4. <i>Del efecto insecticida de aceites esenciales de S. molle y T. parthenium sobre Pagiocerus frontalis.</i>	94

4.4.1. Efecto insecticida de aceite esencial de <i>Schinus molle</i>	94
4.4.2. Efecto insecticida de aceites esenciales de <i>T. parthenium</i>	99
CONCLUSIONES	104
RECOMENDACIONES	105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
ANEXOS	127

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características físico-químicas de aceites esenciales y su significado.	39
Tabla 2 Condiciones óptimas para la conservación de aceites esenciales	45
Tabla 3 Diseño experimental del efecto insecticida de aceites esenciales de <i>Schinus molle</i> y <i>Tanacetum parthenium</i> sobre <i>Pagiocerus frontalis</i>	76
Tabla 4 Rendimiento de extracción de AE de <i>S. molle</i> L. y <i>T. parthenium</i> L.....	78
Tabla 5 Parámetros físico-químicos de AE de <i>S. molle</i> L. y <i>T. parthenium</i> L.....	80
Tabla 6 Composición química del AE de <i>S. molle</i> . analizados por CG-MS.....	83
Tabla 7 Composición química del AE de <i>S. molle</i> L. de diferentes países.	85
Tabla 8 Composición química del AE de <i>T. parthenium</i> L. analizados por CG-MS	90
Tabla 9 Composición química del AE de <i>T. parthenium</i> L. de diferentes países..	92
Tabla 10 Efecto insecticida y Concentración letal media del AE de <i>S. molle</i> sobre <i>P. frontalis</i> , a distintas concentraciones y tiempos de exposición con n=3.	95
Tabla 11 Resultados descriptivos del Análisis Probit para el efecto insecticida de <i>S. molle</i> en porcentaje de mortalidad, a las 48 horas de exposición a distintas concentraciones del AE n=3	97
Tabla 12 Efecto insecticida y concentración letal media del AE de <i>T. parthenium</i> sobre <i>P. frontalis</i> a distintas concentraciones y tiempos de exposición con n=3....	99
Tabla 13 Resultados descriptivos del Análisis Probit para el efecto insecticida de <i>T. parthenium</i> en porcentaje de mortalidad, a las 48 horas de exposición a distintas concentraciones del AE n=3	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Schinus molle</i> L. del Distrito de Pisac.....	9
Figura 2 <i>Tanacetum parthenium</i> L. de la Comunidad de Ccorao.....	12
Figura 3 Granos de maíz dañados por larvas y adultos de <i>Pagiocerus frontalis</i>	15
Figura 4 <i>Pagiocerus frontalis</i> (gorgojo de maíz).	16
Figura 5 Ciclo biológico de <i>Pagiocerus frontalis</i>	17
Figura 6 Estructuras químicas de insecticidas sintéticos no biodegradable.....	18
Figura 7 Mecanismo de acción del limoneno sobre insecto (gorgojo).....	26
Figura 8 Unidades de isopreno	32
Figura 9 Estructuras químicas de monoterpenos y terpenoides.	33
Figura 10 Biosíntesis de terpenos en organismos vegetales.....	337
Figura 11 Hidrodestilación por arrastre de vapor con trampa de Clevenger.	43
Figura 12 Aceites esenciales de <i>S. molle</i> y <i>T. parthenium</i> obtenidos por Hidrodestilación con trampa de Clevenger.....	43
Figura 13 Estructura del Tween 80.....	49
Figura 14 Protocolo de la investigación.	49
Figura 15 Trampa de Clevenger.	49
Figura 16 Perfil Cromatográfico GC-MS de la Composición química de las partes aéreas del AE de <i>S. molle</i> L.	88
Figura 17 Estructuras químicas de los componentes mayoritarios del AE de <i>S. molle</i> L.....	94
Figura 18 Perfil Cromatográfico GC-MS de la Composición química de las partes aéreas del AE de <i>T. parthenium</i> L.....	89
Figura 19 Estructuras químicas de los componentes mayoritarios del AE de <i>T.</i> <i>parthenium</i> L	94

Figura 20 Efecto insecticida del AE de <i>S. molle</i> sobre <i>P. Frontalis</i> a diferentes concentraciones y tiempos de tratamiento en columnas agrupadas.....	96
Figura 21 Efecto insecticida del AE de <i>T. parthenium</i> sobre <i>P. Frontalis</i> a diferentes concentraciones y tiempos de tratamiento en columnas agrupadas.....	100
Figura 22 Cromatograma del Tanacetum partheum	133
Figura 23 Cromatograma del componente mayoritario y espectro de masa del T. parthemium	134
Figura 24 Espectro de masas de cis 2,3-Pinanodiol.....	135
Figura 25 Espectro de masas de los picos más alto de los diez picos grandes del <i>Schinus molle</i>	136
Figura 26 Cromatograma del aceite esencial de <i>S. molle</i>	137
Figura 27 Espectro de masas del componente mayoritario del <i>S. molle</i>	138

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ADN: Ácido desoxirribonucleico.

AE: Aceites esenciales.

ARN: Ácido ribonucleico.

ATP: Adenosín trifosfato.

ATPasa: Adenosín trifosfatasa.

ATSDR: Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades

CCPP: Centro poblado

DMAPP: Dimetil-alil pirofosfato.

D.O: Densidad óptica

EFSA: Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria

EPA: Agencia de Protección Ambiental

FAO: Organización para la Agricultura y la Alimentación de la Naciones Unidas.

FPP: Farnesil difosfato.

G3P: Gliceraldehido-3-fosfato.

GC: Cromatografía de gases.

GPP: Geranil difosfato.

HMG-CoAred: 3-hidroxi-3-metil-glutaril-CoA reductasa.

IPP: Isopentil pirofosfato.

I.R: Índice de refracción

IRAC: Insecticide Resistance Action Committee

MEP: Metileritritol fosfato.

MEV: Mevalonato

OMS: Organización Mundial de la Salud.

TPs: Terpeno sintasas.

RESUMEN

Los productos naturales de origen vegetal con actividad insecticida, como los aceites esenciales, constituyen alternativas viables a los plaguicidas sintéticos en el control de diversos insectos plaga. Esta investigación evaluó el rendimiento de extracción, las características físico-químicas, la composición química y el efecto insecticida de los aceites esenciales de *Schinus molle* L. y *Tanacetum parthenium* L. sobre *Pagiocerus frontalis* (gorgojo del maíz), un coleóptero que genera daños significativos en granos almacenados.

Los aceites esenciales fueron obtenidos mediante hidrodestilación con trampa de Clevenger a partir de material vegetal fresco recolectado en Pisac y la Comunidad de Ccorao (Cusco). La composición química se determinó mediante GC-MS y la actividad insecticida se evaluó con el método de impregnación en papel filtro en un sistema cerrado con aireación continua.

El rendimiento de extracción fue de 0.81 % para *S. molle* y 0.64 % para *T. parthenium*. En *S. molle*, los compuestos mayoritarios fueron cis-2,3-Pinanodiol (27.49 %), α -Felandreno (14.49 %), Limoneno (6.39 %), α -Canfeno (5.19 %) y Espotulanol (5.01 %), que representan más del 50 % de los 26 compuestos identificados. En *T. parthenium*, el compuesto predominante fue 2-Ciclohexen-1-ol-2-metil-5-(1'-metiletenilo) Carveol (68.47 %), seguido de Borneol (11.68 %), Acetato de isobornilo (10.64 %) y Alcanfor (9.22 %).

Ambos aceites esenciales demostraron actividad insecticida contra *P. frontalis*, registrándose CL₅₀ de 1.0504 % para *S. molle* y 0.0645 % para *T. parthenium* a las 12 horas. Los resultados sugieren que *T. parthenium* podría emplearse como alternativa eficaz a los insecticidas sintéticos.

Palabras clave: *Schinus molle* L., *Tanacetum parthenium* L., efecto insecticida, *Pagiocerus frontalis*

ABSTRACT

Natural plant-derived products with insecticidal activity, such as essential oils, are considered viable alternatives to conventional synthetic pesticides for controlling a wide variety of insect pests. This study evaluated the extraction yield, physicochemical parameters, chemical composition, and insecticidal effect of *Schinus molle* L. and *Tanacetum parthenium* L. essential oils on adult *Pagiocerus frontalis* (maize weevil), a small beetle that causes significant damage to large volumes of maize grains stored in drying facilities (colca or tendal).

The essential oils were extracted by hydrodistillation using a Clevenger-type apparatus from fresh aerial parts of samples collected in Pisac and the Ccorao Community - Cusco. Their chemical composition was determined by Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS), and their insecticidal effect was assessed using the filter paper impregnation method in a closed container with continuous aeration.

The extraction yield of essential oils was 0.81 % for *Schinus molle* L. and 0.64 % for *Tanacetum parthenium* L. Regarding chemical composition, the essential oil of *S. molle* was mainly composed of *cis*-2,3-Pinanodiol (27.49 %), α -Phellandrene (14.49 %), Limonene (6.39 %), α -Camphene (5.19 %), and Spathulenol (5.01 %), collectively accounting for more than 50 % of the 26 identified compounds. Meanwhile, *T. parthenium* exhibited a prominent peak corresponding to its major compound, 2-Cyclohexen-1-ol-2-methyl-5-(1'-methylene) (*Carveol*, 68.47 %), followed by 1,7,7-Trimethyl-2-hydroxybicyclo [2.2.1] heptane (*Borneol*, 11.68 %), Isobornyl acetate (10.64 %), and 1,7,7-Trimethyl-2-onebicyclo [2.2.1] heptane (*Camphor*, 9.22 %).

The essential oils of *Schinus molle* L. and *Tanacetum parthenium* L. exhibited insecticidal activity against *Pagiocerus frontalis*, with median lethal concentrations (LC₅₀)

of 1.0504 % and 0.0645 %, respectively, after 12 hours of exposure. These results suggest that *T. parthenium* can be used as an alternative to synthetic insecticides.

Keywords: *Schinus molle* L., *Tanacetum parthenium* L., insecticidal effect, *Pagiocerus frontalis*.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, uno de los principales desafíos que enfrentan los agricultores en el Valle Sagrado de los Incas es la destrucción de las cosechas de maíz durante su almacenamiento prolongado (Padin et al., 2000).

El maíz, especialmente la variedad Blanco Urubamba (Blanco Gigante Cusco) (Inocente et al., 2006), es el cultivo predominante en esta región, situada entre los 2,750 y 2,950 metros de altitud. Con una producción de 11,726 toneladas en 240,800 hectáreas (MINAGRI, 2012), esta variedad de la raza Blanco Gigante Cusco es la de mayor productividad (INIA, 2020), (MINAG, 2008).

En 2016, la producción mundial de maíz alcanzó 1,025.060 millones de toneladas, con un rendimiento promedio de 5.69 toneladas por hectárea (Guamán, 2020). En el Cusco, la mayor parte del maíz Blanco Gigante Cusco se cultiva casi exclusivamente en las Provincias de Calca, Urubamba y Ollantaytambo (Quevedo, 2013).

En la sierra peruana, el maíz es uno de los granos más consumidos y se almacena por largos periodos para garantizar su conservación. Sin embargo, durante el almacenamiento, plagas como insectos y gorgojos causan pérdidas significativas, afectando principalmente a los agricultores de escasos recursos (García-Lara & Bergvinson, 2007).

Los insectos, como gorgojos y polillas, pueden reducir el grano de maíz entre un 20% y un 90% al alimentarse del embrión y endospermo, lo que disminuye el peso, afecta la germinación y reduce las reservas nutricionales. Estas pérdidas disminuyen el valor comercial y nutritivo del maíz, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria (Oscco Huillca, 2019).

La principal plaga que afecta al maíz almacenado es el gorgojo del maíz (*Pagiocerus frontalis*), un pequeño coleóptero que puede devastar hasta el 40% de las

reservas de maíz (Rodríguez Torres et al., 2021). Para controlar estas plagas, los agricultores mezclan el maíz con ceniza de eucalipto o arena fina, e incluso colocan plantas repelentes como la muña. Además, utilizan insecticidas sintéticos, como carbamatos, piretroides y organofosforados, siendo los más comunes el bromuro de metilo y el fosfuro de aluminio, preferentemente gasificantes a base de fosfamina (Phostoxin, Gastión, Detia y otros). Aunque eficaces, el uso prolongado de estos químicos ha llevado a la resistencia de los insectos, la contaminación ambiental y la presencia de residuos en los alimentos (Silva-Aguayo et al., 2005). El uso extendido de pesticidas químicos ha generado preocupaciones sobre su toxicidad, efectos cancerígenos y su impacto en el medio ambiente, además de contribuir al desarrollo de plagas resistentes (Zhau et al., 2007). Frente a este panorama, una alternativa prometedora es el uso de bioplaguicidas, como los aceites esenciales, que han mostrado ser efectivos en el control de plagas como *Pagiocerus frontalis* (Rodríguez Torres et al., 2021).

Los aceites esenciales poseen múltiples actividades biológicas, incluidas propiedades insecticidas y repelentes, lo que los hace efectivos para la protección de granos almacenados (Hong-Zheng et al., 2016). A diferencia de los pesticidas sintéticos, los aceites esenciales se degradan rápidamente, no presentan riesgos genotóxicos y en muchos casos, son antimutagénicos. Estos compuestos son ideales para el manejo ecológico de plagas. En particular, los aceites esenciales de especies andinas como *Schinus molle* y *Tanacetum parthenium* han demostrado ser efectivos sobre *Pagiocerus frontalis*. Según Gleiser et al., (2011), reportó sobre la actividad insecticida de los aceites esenciales se debe principalmente a la presencia de terpenos como limoneno, mirceno, piperitona, carvacrol, carveol, β -espatuleno y β -felandreno, los cuales son tóxicos para coleópteros al inhibir enzimas clave como el citocromo P₄₅₀ y esterasas (Isman, 2006).

En vista de lo anterior, es necesario desarrollar alternativas que reduzcan el uso de compuestos químicos tóxicos, promoviendo técnicas innovadoras y ecológicas. Los insecticidas de origen vegetal son una opción viable y segura, particularmente en la agricultura orgánica, y han sido utilizados históricamente en países en desarrollo (Isman, 2006).

El objetivo de esta tesis fue investigar y evaluar el efecto insecticida de aceites esenciales de *Schinus molle* y *Tanacetum parthenium* sobre *Pagiocerus frontalis* en condiciones de laboratorio.

El trabajo de investigación se desarrolló en los laboratorios de Fitoquímica y Bioquímica del Departamento académico de Química, Facultad de Ciencias, Químicas, Físicas y Matemáticas de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, a fin de determinar la composición química y letalidad de estos aceites esenciales extraídos por hidrodestilación con trampa de Clevenger. La mortalidad de *Pagiocerus frontalis* se evaluó mediante conteo y la concentración letal media (CL₅₀) se determinó utilizando el método Probit con un nivel de confianza del 99.9%.

CAPÍTULO I:

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.Situación problemática

Las pérdidas de cosecha de maíz en el valle de Urubamba se deben principalmente al *Pagiocerus frontalis* (gorgojo de maíz), que afecta la calidad y el precio de venta del maíz. Para mitigar los daños causados por este insecto, se han sugerido métodos como barreras vegetales, prácticas culturales y la aplicación de bioplaguicidas.

No obstante, la práctica más utilizada por los agricultores es el uso de insecticidas químicos, como carbamatos, piretroides y organofosforados, sin embargo, esto genera preocupaciones debido a sus efectos cancerígenos, toxicidad residual, impactos ecológicos y desarrollo de resistencia en las plagas.

Los aceites esenciales de diversas plantas, exhiben efectos insecticidas y repelentes contra muchos insectos, lo que los convierte en una alternativa viable para el manejo de diferentes plagas (Zoubiri & Baaliouamer, 2014). Las especies vegetales *Schinus molle* L. y *Tanacetum parthenium* L., que crecen en las zonas andinas, son comúnmente utilizadas en la medicina tradicional para tratar diversas afecciones humanas. Investigaciones sobre la composición y el efecto insecticida de los aceites esenciales de estas especies, indican que su composición química varía según el lugar de origen y que poseen actividad insecticida contra algunos insectos. Sin embargo, no hay reportes sobre sus propiedades insecticidas contra *Pagiocerus frontalis*, un insecto que frecuentemente afecta grandes extensiones de maíz. Por ello, esta tesis se propuso determinar la composición química y el efecto insecticida de estos aceites esenciales sobre estos insectos, con el objetivo de sustituir al uso de los insecticidas químicos.

Aunque existe poca información sobre la composición química y las propiedades insecticidas de los aceites esenciales de *Schinus molle* L. y *Tanacetum parthenium* L., originarios del distrito de Pisac y la comunidad de Ccorao, del departamento de Cusco-Perú; respectivamente, es necesario investigar científicamente estos aspectos debido a la falta de información en la literatura.

1.2. Formulación del problema

a. Problema general

¿Cuál es la composición química y el efecto insecticida de aceites esenciales de *Schinus molle* L. y *Tanacetum parthenium* L. sobre *Pagiocerus frontalis*?

b. Problemas específicos

- ¿Cuál es el porcentaje de extracción de aceites esenciales de las especies de *Schinus molle* L. y *Tanacetum parthenium* L., por hidrodestilación con trampa de Clevenger?
- ¿Cuáles son los parámetros físico-químicos de los aceites esenciales?
- ¿Cuál es la composición química de los aceites esenciales determinados por Cromatografía de Gases - Espectrometría de Masas?
- ¿Tendrá el efecto insecticida de los aceites esenciales de *Schinus molle* L. y *Tanacetum parthenium* L. sobre los insectos de *Pagiocerus frontalis*?

1.3. Justificación de la investigación

En el ámbito agrícola actual, el control de plagas se sustenta mayormente en el uso de insecticidas sintéticos como el clorpirifós (organofosforado), el imidacloprid (neonicotinoide) y el fosfuro de aluminio (comercialmente conocido como Phostoxin). Si bien estos compuestos son eficaces, presentan una baja biodegradabilidad y están asociados a riesgos significativos para la salud humana y el medio ambiente. Tal es el

caso del clorpirifós, que fue prohibido en 2020 por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) y en 2021 por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos, debido a su alta toxicidad y su potencial efecto negativo en la salud pública.

Frente a esta problemática, surge la necesidad de buscar alternativas naturales y ecológicas para el manejo de plagas. En ese contexto, los aceites esenciales (AE) de plantas como *Schinus molle* L. y *Tanacetum parthenium* L. han emergido como una alternativa natural, biodegradable y ecológica en el manejo integrado de plagas al demostrar poseer potente actividad insecticida y repelente, atribuida a su composición rica en monoterpenos y sesquiterpenos, compuestos de origen natural con reconocida acción biológica.

Estudios recientes señalan que, el aceite esencial de *Tanacetum parthenium* L. ha demostrado propiedades biológicas relevantes, tales como la inhibición de bacterias patógenas (*Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *S. enteritidis*), así como actividad fungicida y fungistática frente a *Fusarium oxysporum* y un efecto inhibitorio sobre el crecimiento de *Candida albicans* (Zamora Mendoza, 2022).

Por su parte, el aceite esencial de *Schinus molle* L. ha evidenciado un alto potencial insecticida y repelente. Estudios han reportado su efectividad contra ninfas II de *Nezara viridula*, sugiriendo su aplicabilidad en programas de manejo integrado (Gutiérrez et al., 2009). Asimismo, se ha registrado su acción repelente e insecticida contra *Sitophilus oryzae* (gorgojo del arroz), y su actividad antimicrobiana frente a *Streptococcus mutans*. De igual modo, el aceite esencial de hojas y frutos de esta especie mostró eficacia contra larvas de *Musca doméstica*, con valores de CL₅₀ de 1232 µg/mL y 1276 µg/mL, respectivamente (Villegas-Ramírez, 2017). En estudios comparativos con otras especies vegetales como *Thymus vulgaris*, *Origanum majorana*, *Eucalyptus*

tereticornis, *Lavandula dentata* y *Rosmarinus officinalis*, se observó que el AE de *S. molle* presentaba los valores de CL₅₀ más bajos, indicando una mayor eficacia a menores concentraciones (Zamora Mendoza, 2022).

En este contexto, la presente investigación propone una alternativa viable, biodegradable y sostenible para el control del insecto *Pagiocerus frontalis*, utilizando aceites esenciales extraídos de hojas y tallos de *S. molle* y de la parte aérea de *T. parthenium* como una estrategia efectiva el insecto *Pagiocerus frontalis*, plaga de importancia económica en los Andes. Esta alternativa natural, rica en monoterpenos y sesquiterpenos, permite reducir el uso de pesticidas sintéticos, minimizando sus efectos colaterales sobre la salud humana y contribuyendo así a la protección del ecosistema y el desarrollo de la agricultura sostenible.

Además, diversos estudios han confirmado que los aceites esenciales poseen propiedades insecticidas, repelentes y antialimentarias, lo que los convierte en opciones prometedoras dentro del manejo ecológico de plagas (Regnault-Roger et al., 2012). Por tanto, esta investigación también aporta al conocimiento científico, promueve la revalorización de especies aromáticas andinas, sino que también apoya la conservación ambiental y brinda beneficios socioeconómicos a los agricultores del Valle Sagrado de los Incas.

1.4.Objetivos de la investigación

a. Objetivo general

Evaluar la composición química y el efecto insecticida de aceites esenciales de *Schinus molle* L. y *Tanacetum parthenium* sobre *Pagiocerus frontalis*.

b. Objetivos específicos

- Determinar el porcentaje de extracción de aceites esenciales de *Schinus molle* y *Tanacetum parthenium*, por hidrodestilación con trampa de Clevenger.
- Determinar los parámetros físico-químicos del aceite esencial de *Schinus molle* y *Tanacetum parthenium*.
- Determinar la composición química mediante GC-MS de los aceites esenciales de *Schinus molle* y *Tanacetum parthenium*.
- Evaluar el efecto insecticida de aceites esenciales de *Schinus molle* y *Tanacetum parthenium* a diferentes concentraciones, sobre *Pagiocerus frontalis*.

CAPITULO II:

MARCO TEORICO

2.1 Bases teóricas

2.1.1. *Schinus molle* L.

2.1.1.1.Descripción Botánica de *Schinus molle* L.

La especie de *Schinus molle* L., es un árbol de rápido crecimiento y siempre verde, tiene inflorescencias terminales y axilares, floreciendo de abril a julio (Iponga, 2008); las flores se agrupan en panículas alargadas, muy ramificadas, largas y colgantes, con pequeñas flores de color blanco verdoso. El fruto es una drupa globosa, de 5 a 7 mm de diámetro, con mesocarpio carnoso y azucarado, exocarpio delgado y crustáceo, que varía de rosado a rojizo cuando madura. Las semillas son comprimidas, negras, rugosas, redondeadas y miden entre 3 y 5 mm de diámetro (Ramírez-Albores, 2016). Estas características botánicas se muestran en la Figura 1; (A) representa la vista del árbol frondoso de *S. molle* del Distrito de Pisac; (B) muestran las numerosas hojas de color verde intenso (C) muestran los frutos de color rojo en forma de drupas globosas.

Figura 1

Schinus molle L. del Distrito de Pisac.



2.1.1.2.Habitad y Distribución de *Schinus molle* L.

El *Schinus molle* L. es originario de los Andes centrales de Sudamérica, especialmente de Perú, aunque se ha distribuido globalmente y adaptado a diversas regiones. Crece en climas húmedos y templados, desde terrenos secos hasta bordes de caminos o áreas ricas en nitrógeno, a altitudes entre 1300 y 3650 m.s.n.m. (López de la Cruz & Caso Orihuela, 2015). En Perú, prospera en los valles interandinos, mientras que en otras regiones como México, Centroamérica, California, Texas, África oriental, Medio Oriente, Israel y Australia ha mostrado carácter invasivo (Iannacone & Alvariño, 2010). Prefiere climas cálidos, semicálidos, semisecos y templados, soportando suelos arenosos, compactados o pedregosos, aunque no tolera temperaturas inferiores a -5°C. Esta especie, que puede vivir hasta 100 años, también se ha asilvestrado en México y se extiende desde Perú y Chile hasta el nor oeste de Argentina (Goldstein & Coleman, 2004).

2.1.1.3.Taxonomía de *Schinus molle* L.

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Orden	: Sapindales
Familia	: Anacardiaceae
Género	: <i>Schinus</i>
Especie	: <i>Schinus molle</i> L.

NOMBRE COMUN: molle, muli, orcco muli, pimienta del Perú, falsa pimienta, aguaribay, anacahuita, pirul, árbol del Perú, pimentillo, árbol de pimienta, sauce pimienta.

2.1.1.4.Composición química del aceite esencial de *Schinus molle* L.

El género *Schinus*, perteneciente a la familia Anacardiaceae, se caracteriza por su riqueza en aceites esenciales. Un estudio realizado en México sobre el aceite esencial (AE) de *Schinus molle* L., analizado mediante cromatografía de gases acoplada a

espectrometría de masas (GC-MS), identificó su composición química detallando, 15 componentes principales, los cuales son: Limoneno (37.77%), β -mirceno (28.73%), α -felandreno (18.85%), α -cadinol (4.86%), δ -cadineno (7.67%), octanoato de metilo (0.47%), pineno (0.30%), α -carvacrol (0.24%), adipato de dioctilo (0.22%), cariofileno (0.21%), Tau-muurolol (0.17%), γ -cadineno (0.16%), (-)-cis sabinol (0.15%), Cis-2,3-Pinanodiol (0.11%), α -muuroleno (0.08%). Estos resultados subrayan el potencial del aceite esencial de *S. molle* como fuente de compuestos bioactivos (Zamora Mendoza, 2022).

Reportaron también que en el AE de *S. molle* se caracterizó principalmente al biciclogermacreno (20.5 %), β -cariofileno (19.7 %), espafitano (19.2 %), globulol (9.5%), germacreno-D (7.4 %), óxido de cariofileno (5.3 %) y terpinen-4-ol (1.2 %) (Doleski Muhd et al., 2015).

2.1.1.5. Usos en la medicina tradicional de *Schinus molle* L

El *Schinus molle* L. se emplea en la medicina tradicional por sus propiedades antibacterianas, antivirales, antimicóticas, antioxidantes, cicatrizantes, analgésicas, antitumorales, antiinflamatorias y antiespasmódicas. La resina alivia caries, los frutos frescos en infusión tratan la retención de orina, las hojas hervidas son analgésicas, antibacterianas, antifúngicas y antidepresivas (Philco Guzmán & Bravo Zamora, 2019). Además, se le asigna actividad antimicrobiana en Gram-positivos y antiinflamatorios al inhibir la enzima fosfolipasa A, también muestra actividad antioxidante débil y citotoxicidad mediante mecanismos apoptóticos, sugiriendo potencial antitumoral (Díaz et al., 2008).

2.1.2. *Tanacetum parthenium* L.

2.1.2.1. Descripción Botánica de *Tanacetum parthenium* L.

La especie *Tanacetum parthenium* L. es una planta herbácea perenne, de 60 cm a 1 m de altura, crece en suelos pobres, caminos, riachuelos y campos abandonados, floreciendo de noviembre a abril (Hanan Alipi & Mondragón Pichardo, 2006). Tiene tallos duros, poco ramificados; hojas verdes divididas y cubiertas de finos pelillos; y flores agrupadas en cabezuelas con flores exteriores blancas femeninas y centrales amarillas hermafroditas, formando inflorescencias rodeadas por un involucre de brácteas (Rzedowski & Rzedowski, 2001). El fruto es un aquenio cilíndrico de 1.5 mm, seco e indehisciente, coronado por un vilano diminuto. La planta, también conocida como altamisa o feverfew, se diferencia de la manzanilla por sus inflorescencias planas y receptáculo convexo, y se propaga mediante semillas (Midolo et al., 2023). En la Figura 2 se muestra una vista completa de *T. parthenium* en la comunidad de Ccorao (A), su estado de floración, abundantes flores blancas (B) y las hojas numerosas y verdes (C).

Figura 1

Tanacetum parthenium L. de la Comunidad de Ccorao.



2.1.2.2.Habitad y Distribución de *Tanacetum parthenium* L.

El *Tanacetum parthenium* L. es originaria de Oriente Próximo, los Balcanes, el Cáucaso y Asia Menor, *Tanacetum parthenium*, se ha extendido ampliamente por Europa, Asia Central, Norte de África, América del Norte, introducido, adaptado en Perú y Chile, donde se cultiva con fines ornamentales y medicinales. Naturalizada en España y especialmente en Mallorca, también está presente en países como Grecia, Italia, Turquía, Rusia y Alemania, entre otros (Lososová et al., 2023), crece en terrenos baldíos, secos y áreas rocosas. Con frecuencia se cultiva como planta medicinal y ornamental, con fines ornamentales y medicinales, destacando en la tradición por propiedades atribuidas a conferir longevidad (Rzedowski & Rzedowski, 2001).

2.1.2.3.Taxonomía de *Tanacetum parthenium* L.

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Orden	: Asterales
Familia	: Asteraceae
Género	: <i>Tanacetum</i>
Especie	: <i>Tanacetum parthenium</i> (L.) Schultz -Bip.

NOMBRE COMÚN: Hierba de santa maría, hierba de santa, santa maría blanca, matricaria, altamisa, artemisa (Anthos, 2011).

La especie *Tanacetum parthenium* L. fue descrito por (Carlos Linneo) SCH. BIP. y publicado en "Ueber die *Tanaceteen*: mit besonderer Berücksichtigung der deutschen Arten" en 1844. El nombre proviene del latín medieval *tanazita*, derivado del griego *athanasia* (inmortal), posiblemente en alusión a la durabilidad de sus inflorescencias y se

le atribuía la capacidad de prolongar la vida. El epíteto "*parthenium*" es un nombre latino que significa "nombre de la planta en griego" (Tichý et al., 2023).

2.1.2.4. Perfil químico del aceite esencial de *Tanacetum parthenium*.

El *Tanacetum. parthenium* (L.) Schultz Bip (Asteraceae) es una planta herbácea rica en AE, extraído de sus partes aéreas por hidrodestilación. Los componentes químicos, caracterizados por (GC-MS), obtiene una mezcla compleja de monoterpenos y sesquiterpenos tipo lactona, el más importante es partenólido, también han identificado flavonoides (santina, jaceidina, centaureidina, luteolina, apigenina) guaianólidos (Long et al., 2003) y espiroceto enoléteres no terpenoides (Akpulat et al., 2005). El AE también, contiene alcanfor, acetato de crisantenilo, α -pineno, limoneno, β -cariofileno y eugenol (Tiuman Shioji et al., 2005). Además, son reportados también, canfeno, p-cimeno, 1,8-cineol, γ -terpineno, crisantenona, Acetato de L-bornilo, Óxido de cariofileno, Tanetina, Partenolida y α -metilnbutilolactonas sesquiterpénicas, comunes en las Asteraceae (Encarnación Villalta, 2012).

2.1.2.5. Usos en la medicina tradicional del *Tanacetum parthenium* L.

Tanacetum parthenium ha sido utilizado tradicionalmente para tratar fiebre, migrañas, irregularidades menstruales, problemas digestivos, vértigo, picaduras de insectos y dermatitis (Sharopov et al., 2015). También se le atribuyen propiedades como laxante, vermífugo, antiinflamatorio y antiespasmódico (Tiuman Shioji et al., 2005). Sin embargo, su efectividad para condiciones como migrañas (Izadi et al., 2013) y artritis reumatoide ha sido cuestionada en estudios, mostrando resultados comparables a un placebo. Debe evitarse su uso durante el embarazo, la lactancia y en combinación con medicamentos como anticoagulantes o aspirina, debido a posibles interacciones y efectos en el metabolismo hepático de ciertos fármacos (Lechkova-Borislava et al., 2024).

2.1.3. *Pagiocerus frontalis* (Gorgojo de maíz).

Pagiocerus frontalis es un coleóptero volador que causa graves daños al maíz almacenado en los secaderos (colca o tendal), generando pérdidas económicas significativas, se encuentra tanto en las mazorcas durante la cosecha, como en el campo en los granos almacenados después de la cosecha. Este insecto perfora los endospermos, que es la parte más blanda de los granos, con sus mandíbulas para alimentarse y depositar huevos, dejando orificios visibles (De Dios Ávila et al., 2021).

La Figura 3, muestra maíz infestado, variedad Blanco Gigante Cusco – del almacén de maíz, Granja Kayra - UNSAAC, (A) larvas y adultos de *Pagiocerus frontalis*, (B) cáscaras de granos reducidos y harina mezclada con sus heces.

Figura 2

*Granos de maíz dañados por larvas y adultos de *Pagiocerus frontalis*.*



En maíz almacenado, es la principal plaga alcanzando una infestación del 91.77% en maíz blanco gigante (Castro Ccoscco & Mejía Espinoza, 2011). Debido a su alta tasa de infestación, puede reducir la viabilidad de las semillas hasta en un 60% en 90 días, evidenciando su rápida reproducción y alto impacto en el almacenamiento (Álvarez Martínez, 2020).

2.1.3.1.Descripción morfológica de *Pagiocerus frontalis*.

El *Pagiocerus frontalis* (gorgojo de maíz), es un insecto que afecta cultivos y maíz almacenado, su principal huésped. Presenta élitros oscuros con cuatro manchas rojizas-amarillentas, similares al gorgojo del arroz (*Sitophilus oryzae*), aunque se diferencian por tamaño y color (Andrew et al., 2016).

La morfología según su desarrollo se inicia con: Huevo; blanco cremoso, elongado y liso, de tamaño diminuto, difícil de distinguir de residuos de harina. Larva; blanco amarillento, sin patas, curvada, con mandíbulas claras, mide 3 mm al nacer. Pupa; exárte, blanco cremoso, de 2 a 2.5 mm, con cambios de color en ojos, patas y antenas antes de la emergencia del adulto. Adulto; marrón oscuro de 2.5 mm de largo y 1.5 mm de ancho, con cabeza parcialmente escondida, trompa corta, un adulto, posee gran capacidad de vuelo, facilitando la rápida infestación de cereales. (Castro Ccoscco & Mejía Espinoza, 2011). Figura 4. (A) Recién emergido amarillo pajizo (B) 2-4 días tornándose de café oscuro a negro brillante.

Figura 3

Pagiocerus frontalis (gorgojo de maíz).

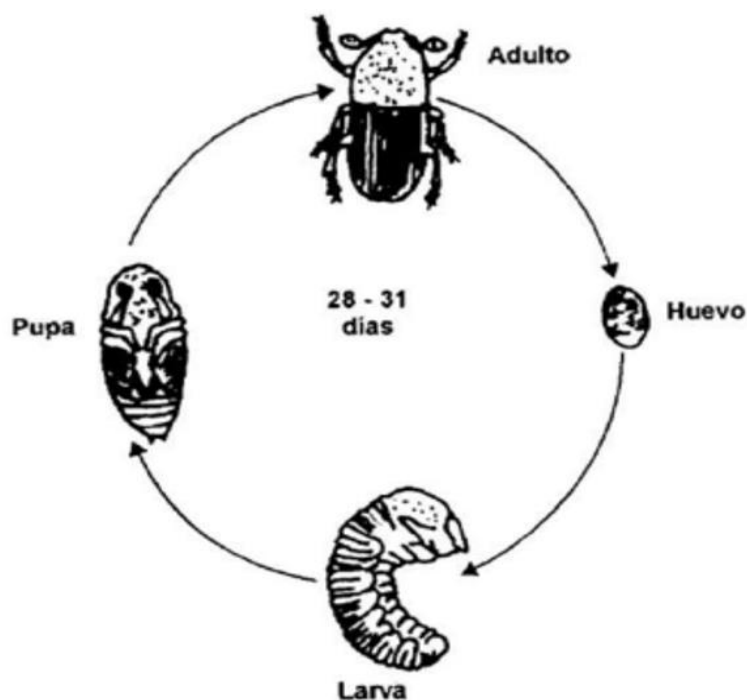


Fuente: Adaptado de Gorgojo barrenador *Pagiocerus frontalis* (Fabricius, 1801). Revista de la Academia Canaria de Ciencias. García Rafael y Pedrianes, J.R. (2020).

2.1.3.2.Ciclo biológico de *Pagiocerus frontalis*.

El ciclo biológico de *Pagiocerus frontalis* Figura 5 comienza cuando la hembra deposita hasta 25 huevos diarios dentro de granos de maíz, alcanzando un total de 100 huevos en su vida, durando entre 28 y 31 días en condiciones óptimas desde huevo hasta adulto. El ciclo se inicia desde el período embrionario incubación de 10-18 días, con la eclosión de los huevos aproximadamente, dependiendo de la humedad. Las larvas, miden alrededor de 4 mm, blancas y sin patas, consumen el interior del grano durante 18 a 23 días. Luego se convierten en pupas, completando su transformación a adultos en unos 6 días, durante los cuales no comen ni se mueven. Los adultos viven de 5 a 8 meses, alimentándose también de maíz, estos emergen perforando un agujero en el grano, facilitando la propagación de la plaga (García & Pedrianes, 2020). En condiciones favorables, el ciclo puede completarse en 30 días, lo que permite hasta 3 generaciones en almacenamiento y convertir el endospermo en harina (Eidt-Wendt, 2010).

Los factores que influyen en el ciclo de vida y evolución del gorgojo es la humedad, mayores al 12-13 % favorecen la infestación, mientras que niveles menores al 9 % la previenen. Las temperaturas inferiores a 10°C o superiores a 35°C detienen su desarrollo; por debajo de 5°C o por encima de 59°C, los gorgojos mueren (Álvarez Martínez, 2020). Por lo que controlar y prevenir la infestación es difícil y se recomienda sellar los granos en plástico grueso, congelarlos o calentarlos son útiles pero imprácticos para grandes cantidades y pueden dañar las semillas destinadas a la siembra. (Toro G. et al., 2003). Pero una buena ventilación e inspecciones regulares en almacén, son clave para evitar daños significativos y limitar la reproducción (Gómez & Aguilera, 1982).

Figura 4Ciclo biológico de *Pagiocerus frontalis*.

Fuente: Adaptado de Gorgojo barrenador *Pagiocerus frontalis* (Fabricius, 1801).
 Revista de la Academia Canaria de Ciencias. García Rafael y Pedrianes, J.R. (2020).

2.1.3.3. Taxonomía del *Pagiocerus frontalis*

Reino	: Animalia
Filo	: Arthropoda
Clase	: Insecta
Orden	: Coleoptera
Suborden	: Polyphaga
Subfamilia	: Curculionoidea
Familia	: Curculionidae
Género	: <i>Pagiocerus</i>
Especie	: <i>Pagiocerus frontalis</i>

NOMBRE COMUN: Conocido por los agricultores del Perú como gorgojo del maíz, gorgojo barrenador andino de los granos del maíz, gorgojo de la sierra en Colombia

gorgojo, gorgojo barrenillo o gorgojo volador y en Venezuela como gorgojo de Andes (Gómez & Aguilera, 1982).

El orden Coleóptera, que incluye el mayor número de especies de insectos, abarca alrededor del 40% de las especies descritas dentro de la clase insecto. Una característica distintiva de este orden es la estructura de sus alas. La mayoría de los miembros tienen cuatro alas, donde las anteriores son coriáceas y cubren las alas posteriores (Gómez & Aguilera, 1982).

2.1.4. *Insecticida*

Los insecticidas pueden ser sustancias químicas sintéticas, fitosanitarios, de origen natural o microorganismos que se utilizan para controlar, repeler, prevenir, contrarrestar, neutralizar, destruir o impedir la acción de los insectos, u otras plagas en la agricultura (Ware, 1999), afectando a cualquier organismo considerado perjudicial para la salud humana. Durante el siglo XX, la industria de la síntesis química experimentó un desarrollo exponencial, comenzando a producir y diseñar insecticidas sintéticos (Bielza, 2009). A finales del siglo XX y principios del XXI, debido a la toxicidad inespecífica de estos productos, se inició el desarrollo de insecticidas menos tóxicos y más específicos (Insecticide Resistance Action Committee (IRAC) Comité de Acción contra la Resistencia a los Insecticidas) el caracterizo algunas propiedades que deban poseer los insecticidas. En el control de plagas agrícolas, los insecticidas representan la principal alternativa disponible (IRAC, 2023).

Características principales de un insecticida deben ser en lo posible los siguientes:

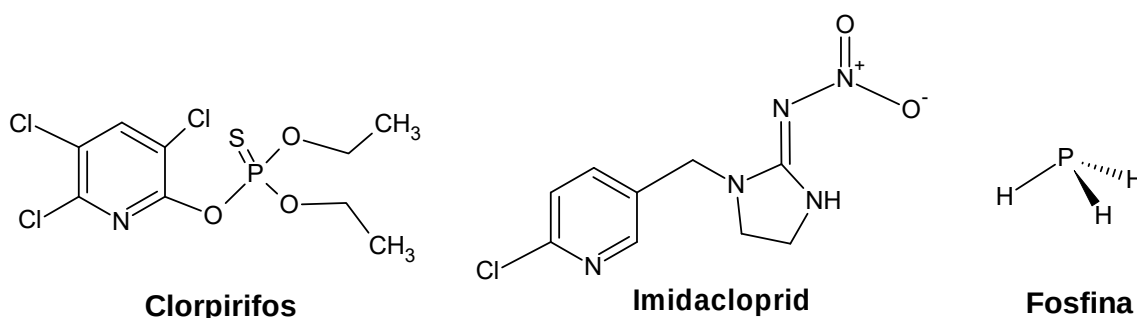
- Amplio espectro: Eficaz contra microorganismos (bacterias, virus, hongos).
- Solubilidad en agua: Facilita su aplicación.
- Compatibilidad química: Puede usarse junto a otras sustancias.

- Alta persistencia: Mantiene su efectividad por largo tiempo.
- Facilidad de neutralización: Posee mecanismos para desactivarlo tras su uso.
- Baja toxicidad humana: Seguro para el manipulador en dosis bajas (MAPA, 2024).

Ejemplos de insecticidas sintéticos no biodegradables Figura 6:

Figura 6

Estructuras químicas de insecticidas sintéticos no biodegradable.



El **clorpirifós** es un insecticida organofosforado que posee un anillo de piridina sustituido con tres átomos de cloro y un grupo fosfato enlazado a grupos alquilo mediante enlaces éster, el nombre sistemático según la IUPAC es O, O-dietil-O-(3,5,6-tricloro-2-piridil) fosforotioato. En el medio ambiente, este compuesto puede experimentar una hidrólisis que genera metabolitos tóxicos, como el 3,5,6-tricloro-2-piridinol (TCP). Este insecticida, actúa principalmente como inhibidor de la enzima acetilcolinesterasa, lo cual provoca alteraciones en el sistema nervioso de los insectos, llevando a su colapso y muerte. Además, se ha asociado con efectos adversos en la salud humana, incluyendo trastornos neurológicos del desarrollo y del sistema inmunológico. En el ámbito agrícola, es considerado un insecticida no sistémico con acción por contacto e ingestión.

Este insecticida habitualmente se usa en cultivos infestados y pulverizados por cochinillas, moscas blancas, trips de la platanera, orugas defoliadoras, coleópteros y escarabajos, entre otros (De Liñan, 2015).

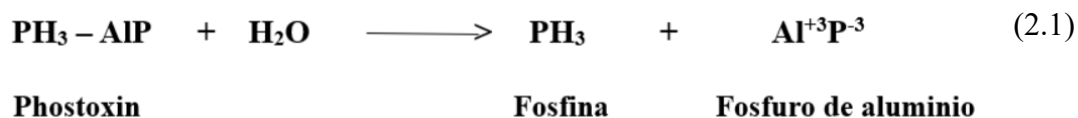
Investigaciones previas han demostrado que la exposición prenatal al clorpirifós se asocia con bajo peso al nacer y una reducción en el perímetro craneal. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) lo ha clasificado como un compuesto tóxico, especialmente peligroso para el desarrollo neurológico fetal. La exposición intrauterina al clorpirifós se ha vinculado con el trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH) (Rauh et al., 2006). Asimismo, existe una fuerte correlación entre la exposición a altos niveles de este pesticida y la aparición de enfermedades crónicas autoinmunes. Además, se ha demostrado que en el medio ambiente se degrada a sus metabolitos oxónicos principalmente de tres pesticidas organofosforados (clorpirifos, malatión y diazinón) mayormente utilizados por nuestros agricultores, además estos son altamente tóxicos para los anfibios; un estudio reciente reveló que estos compuestos pueden causar la muerte de renacuajos (*Rana boylii*) en menos de 96 horas (Sparling & Fellers, 2007).

El imidacloprid es un insecticida perteneciente a la familia de los neonicotinoides. Su estructura química se basa en un anillo de piridina clorado unido a un grupo imidazol que presenta una función nitro. Este compuesto fue desarrollado a partir de la nicotina y actúa como neurotóxico, interfiriendo en el sistema nervioso central de los insectos, lo que conduce a su parálisis y posterior muerte. Una de sus características destacadas es su persistencia en el suelo, lo que le confiere un efecto residual prolongado (Whitehorn et al., 2012). El imidacloprid se emplea ampliamente en la protección de cultivos como maíz, papa, hortalizas, remolacha azucarera, frutales, algodón y lúpulo, así como en el tratamiento de semillas almacenadas. También se utiliza para el control de plagas como termitas, pulgones, moscas blancas, chinches, trips, cucarachas y hormigas, gracias a su acción sistémica.

Tanto la Organización Mundial de la Salud (OMS) como la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) lo clasifican como un compuesto "moderadamente

tóxico", y aunque su potencial carcinogénico se considera "improbable" según la EPA, se ha señalado su capacidad para contaminar aguas subterráneas (Isshadiba & Mohd, 2020). Sin embargo, su uso ha generado controversia debido a su posible implicancia en el colapso de colonias de abejas. En consecuencia, Francia prohibió el uso del imidacloprid como pesticida desde 1999. De manera similar, Alemania vetó en 2008 el tratamiento de semillas con neonicotinoides debido a su impacto negativo en las abejas. Estas preocupaciones llevaron a que, en abril de 2018, los Estados miembros de la Unión Europea decidieran prohibir casi en su totalidad el uso de tres neonicotinoides: imidacloprid, clotianidina y tiametoxam, la medida implementada cuando Jean-Claude Juncker ocupaba el cargo de presidente de la Comisión Europea." (European Commission, 2018).

Phostoxin (fosfina), es un fumigante a base de fosfuro de aluminio, de estructura simple es el PH_3 molécula con geometría piramidal trigonal, donde el fósforo es el átomo central el que se encuentra unido a tres átomos de hidrógeno este insecticida contiene 56 % de fosfuro de aluminio y es ampliamente empleado como insecticida en la fumigación de silos, molinos y almacenes de productos agrícolas. Este insecticida libera gas mediante una reacción química (2.1) y están basados en fosfamina, también conocida como fosfina o fosfano, según la nomenclatura de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC). Generalmente se presentan en forma sólida, como tabletas o gránulos de fosfuro de aluminio (sal binaria) o fosfuro de magnesio, recubiertos con parafina y mezclados con carbonato amónico. Al entrar en contacto con la humedad del ambiente, estos compuestos liberan fosfina (PH_3), agente activo, gas extremadamente tóxico para una amplia variedad de insectos, afectando todas sus etapas de desarrollo: huevo, larva, pupa y adulto. El gas penetra en el organismo del insecto a través de los estigmas durante la respiración, provocando su muerte (Alzahrani & Ebert, 2023).



2.1.4.1. Plantas como insecticidas de origen natural.

Las plantas han desarrollado mecanismos de defensa efectivos contra insectos herbívoros, asegurando su supervivencia y dominancia en los ecosistemas. Entre estos mecanismos destacan los compuestos con propiedades insecticidas, conocidos como metabolitos secundarios (Gleiser et al., 2011). Estas moléculas, que incluyen aceites esenciales, repelentes y toxinas, son sintetizadas por las plantas con un alto costo energético, permitiéndoles a defenderse de forma química y física, como por medio de espinas gruesas (INTAGRI, 2007).

Las plantas sintetizan compuestos químicos, como metabolitos secundarios, que actúan como insecticidas naturales para defenderse de plagas (Mahecha-Jiménez et al., 2022). Desde la antigüedad se han utilizado extractos vegetales con este fin, y en Perú, la diversidad vegetal permite el uso sostenible de especies en sistemas agrícolas. Estas plantas contribuyen al control ecológico de plagas, pero su conservación requiere prácticas sostenibles para evitar la extinción de especies nativas (Tomaylla Cruz, 2018).

Desde tiempos antiguos, las plantas han sido utilizadas con fines insecticidas, diversas culturas del hemisferio norte mezclaban extractos vegetales con azufre y arsénico, mientras que los romanos empleaban polvos de *Veratrum sp.* y extractos de *Taxus baccata* tanto para el control de plagas como para la conservación de alimentos (Zoubiri & Baaliouamer, 2014). En Perú, uno de los países megadiversos del mundo con más de 19,500 especies vegetales, se destacan los valles interandinos por su diversidad y uso de plantas con propiedades insecticidas (Solís Quispe et al., 2018). Estas se

incorporan en sistemas agrícolas como repelentes, atrayentes o refugios naturales, ayudando a prevenir plagas y promoviendo el manejo ecológico. Ejemplos incluyen el uso del marq'u (*Ambrosia peruviana*) como barrera viva y del nabo silvestre (*Brassica napus*) como atrayente de pulgones. (Pinedo Arevalo, 2008). Para garantizar un uso sostenible de estas plantas, es esencial incluirlas en sistemas productivos que permitan su reproducción, transformación y comercialización. Esto evita el agotamiento de especies nativas, como el barbasco (*Lonchocarpus nicou*), cuyo aprovechamiento excesivo amenaza su regeneración natural (De la cruz Silva, 2007).

2.1.4.2. Aceites esenciales con actividad insecticida.

En las últimas décadas, los aceites esenciales han ganado protagonismo como insecticidas botánicos debido a su bajo impacto ambiental y su efectividad frente a diversas plagas agrícolas (Leicach, 2010). Estos productos naturales presentan un modo de acción complejo, ya que están compuestos por mezclas de monoterpenoides, sesquiterpenoides y fenilpropanoides, cuyas propiedades insecticidas están bien documentadas (Regnault-Roger et al., 2012).

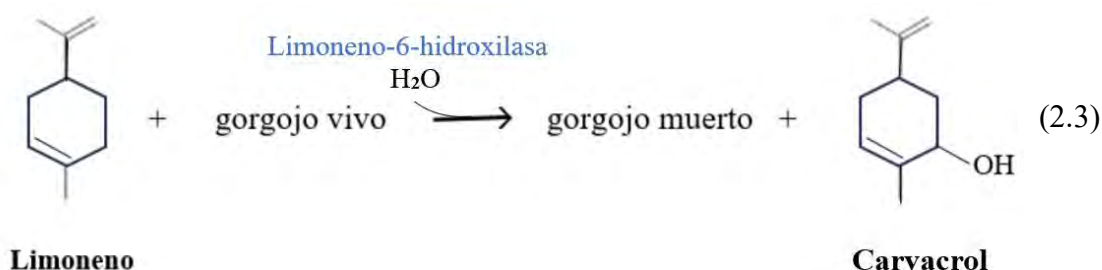
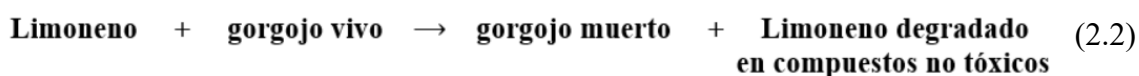
El fundamento químico de su acción insecticida radica en la capacidad de ciertos compuestos, como el timol, eugenol y pulegona, interfieren en el sistema nervioso de los insectos, especialmente mediante la inhibición de la enzima acetilcolinesterasa, lo que provoca parálisis y muerte. Asimismo, algunos componentes alteran la permeabilidad de las membranas celulares e inducen estrés oxidativo, afectando proteínas, lípidos y el material genético del insecto (Isman, 2006). Una vez que han ejercido su efecto insecticida, los aceites esenciales, debido a su naturaleza volátil y biodegradable, tienden a evaporarse o degradarse por acción de la luz, el oxígeno, el calor o la actividad microbiana del entorno. Esto evita la acumulación de residuos en el ambiente o en los

alimentos tratados, a diferencia de los insecticidas sintéticos de alta persistencia. Por ello, los aceites esenciales representan una alternativa sostenible, particularmente útil en aplicaciones como la fumigación de granos almacenados y el control de insectos en productos agrícolas, aunque su eficacia puede variar según la especie de insecto objetivo (Abdelgaleil et al., 2016).

Para maximizar su efectividad, es necesario identificar los componentes más tóxicos mediante estudios de relación estructura-actividad, ya que la variabilidad en los perfiles fitoquímicos puede influir significativamente en los resultados (Ware, 1999).

Un ejemplo explicativo del mecanismo de acción que presentan los aceites esenciales es por ejemplo el limoneno sobre un insecto (gorgojo).

Reacción simplificada del efecto insecticida:



El limoneno, un monoterpeno presente en muchos aceites esenciales (*S. molle*), actúa sobre el sistema nervioso del insecto al alterar la transmisión sináptica mediante la inhibición de la enzima acetilcolinesterasa. También interfiere en las membranas celulares y puede inducir estrés oxidativo. Una vez que el insecto ha muerto, el limoneno remanente no permanece activo indefinidamente. Por el contrario:

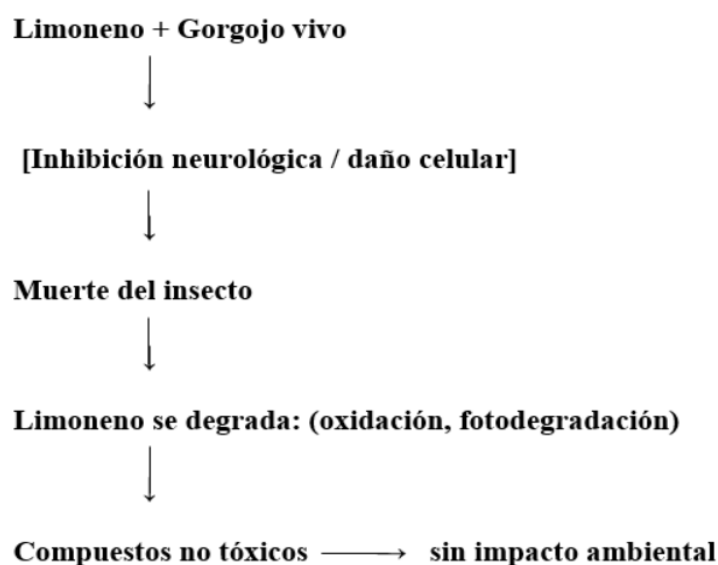
- Se evapora fácilmente debido a su alta volatilidad.

- Se oxida o fotodegrada al contacto con el aire y la luz solar, transformándose en compuestos más simples como carvacrol, carvona, limoneno epóxido y otros derivados oxigenados. El carvacrol, compuesto derivado de la hidroxilación del limoneno en la posición del C₆, un intermediario importante en la biosíntesis de la carvona; catalizada por la limoneno-6-hidroxilasa una enzima específica de la enzima P₄₅₀.
- Estas transformaciones lo convierten en sustancias menos reactivas y no persistentes, que no generan toxicidad ambiental ni se bioacumulan.

Por lo tanto, el limoneno cumple su función insecticida de forma efectiva y transitoria, siendo luego eliminado del entorno de manera natural, lo que lo convierte en una alternativa ecológica a los pesticidas sintéticos (Isman, 2006). En la Figura 7 se muestra un esquema lineal de la acción del limoneno:

Figura 5

Mecanismo de acción del limoneno sobre insecto (gorgojo).



Fuente: Adaptado de Botanical insecticides, deter rents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Rev. Entomol*, Vol. 51:45-66 Isman Murray B. (2006).

2.1.4.3. Forma y modo de acción de los insecticidas

Los insecticidas se clasifican como ovicidas, larvicidas y adulticidas según el estado de desarrollo del insecto que afectan. Estos pueden entrar en contacto con los insectos por ingestión, inhalación, vía cutánea, contacto directo o exposición al aire contaminado etc., siendo esta última la más común. Una técnica moderna es la introducción de insecticidas en los vasos conductores de las plantas, lo que distribuye el compuesto por toda la planta, volviéndola tóxica para las plagas (Bloomquist, 2002).

El Comité de Acción de Resistencia a los Insecticidas (IRAC) clasifica los modos de acción de estos productos según su interacción con los insectos y su aplicación en plantas o productos almacenados. Los insecticidas de contacto requieren una cobertura extensa para ser efectivos, mientras que los de ingestión y sistémicos actúan al ser consumidos por las plagas. Los efectos de los insecticidas incluyen la muerte inmediata o la inhibición de funciones vitales como la alimentación y la metamorfosis, conduciendo eventualmente a la muerte del insecto. Estas herramientas, junto con el control biológico y el uso de genotipos resistentes, contribuyen a mitigar las pérdidas en cultivos causadas por plagas (Tapondjou et al., 2005).

2.1.4.4. Métodos para evaluar la toxicidad de aceites esenciales.

Se conocen diferentes métodos científicos para evaluar la toxicidad de aceites esenciales sobre insectos, dependiendo del modo de acción que se desee estudiar (por contacto, ingestión o inhalación). Algunos de ellos son:

- **Método por impregnación en papel filtro.**

El método por impregnación en papel filtro es una técnica ampliamente utilizada para evaluar la toxicidad por contacto de sustancias bioactivas, como aceites esenciales, sobre insectos plaga. Consiste en aplicar una cantidad determinada de

la sustancia de estudio (pura o diluida) sobre discos de papel filtro, los cuales, una vez impregnados y secos, se colocan en recipientes de bioensayo junto con los insectos. Esta técnica permite una exposición continua y uniforme de los insectos al compuesto por contacto con la superficie tratada, sin que se genere un ambiente saturado de vapores, como ocurre en métodos de fumigación (Tapondjou et al., 2005). Este método es considerado confiable, sencillo y económico, y ha sido utilizado con éxito en estudios de laboratorio para determinar la toxicidad de extractos vegetales y aceites esenciales frente a diversas especies de insectos almacenadores, al permitir estimar dosis letales (CL_{50}) y tiempo de mortalidad (TL_{50}) con alta reproducibilidad (Isman, 2006). Además del método de impregnación en papel filtro, existen otros métodos científicos para evaluar el efecto insecticida.

- **Método de exposición por fumigación (fumigación en cámaras cerradas):** Consiste en colocar el aceite esencial (en estado puro o disuelto) sobre un soporte absorbente sin contacto directo con los insectos, para evaluar el efecto de los vapores volátiles sobre la mortalidad.
- **Método de contacto tópico:** Se aplica directamente una gota de solución del aceite esencial sobre el cuerpo del insecto, usualmente sobre el tórax o el abdomen. Permiten medir la toxicidad por contacto directo.
- **Método por ingestión:** Utiliza alimentos impregnados con la sustancia a evaluar. Se usa con insectos masticadores, como larvas o adultos, que se alimentan de hojas o granos.
- **Método de inmersión o baño de inmersión (dip-test):** Especialmente para larvas, se sumergen en soluciones de aceite esencial por un tiempo controlado y se evalúa la mortalidad posterior.

Estos métodos pueden complementarse entre sí para obtener una visión integral de la bioactividad insecticida de un extracto vegetal (Pavela & Novák, 2024).

2.1.4.5. Concentración letal media CL_{50} .

La CL_{50} (concentración letal media) es un parámetro toxicológico que mide la concentración de una sustancia capaz de causar la muerte del 50 % de una población de organismos expuestos en un tiempo determinado (Llanos Arapa, 2012). Este indicador, obtenido mediante experimentos de laboratorio, permite evaluar y comparar la toxicidad relativa de diferentes sustancias químicas (Wallace Hayes, 2014). La CL_{50} se expresa en microgramos, miligramos por litro o partes por millón (ppm) en aire o agua. Aunque es una medida clave para la evaluación ambiental y el manejo de sustancias químicas, no se puede extrapolar directamente entre especies ni hacia humanos. Por ejemplo, si se expone a 100 gorgojos a diferentes concentraciones de aceite esencial, y se observa que con 1.5 %

de concentración mueren exactamente 50 individuos (50 %), entonces la CL_{50} es 1.5 %.

Este valor se calcula mediante análisis estadísticos, generalmente con modelos de regresión probit o logit, que permiten estimar de manera precisa la dosis o concentración que provoca el 50 % de mortalidad, incluso si los datos observados no dan ese número exacto. La CL_{50} es útil para comparar la toxicidad entre diferentes sustancias o entre diferentes especies de insectos. Cuanto menor sea el valor de CL_{50} , mayor es la toxicidad de la sustancia (Klaassen & Watkins, 2017).

2.1.5. Aceites esenciales

Los aceites esenciales (AE) son mezclas complejas de compuestos aromáticos volátiles producidos naturalmente por las plantas. Se encuentran en diferentes órganos

vegetales, como hojas, flores, frutos, cortezas o raíces, y se obtienen principalmente mediante procesos como la hidrodestilación, destilación por arrastre de vapor, extracción mecánica (como el prensado en cítricos), o destilación seca (International Organization for Standardization ISO 9235, 2022).

Desde el punto de vista químico, los AE están compuestos principalmente por terpenos (especialmente monoterpenos y sesquiterpenos) y sus derivados oxigenados, además de fenilpropanoides (López et al., 2017). Estos constituyen entre 20 % y 70 % de la composición total, mientras que los compuestos minoritarios —presentes en trazas (<1 %)— también contribuyen a su aroma y actividad biológica (Gutiérrez et al., 2009).

La composición química y la actividad biológica de un aceite esencial pueden variar significativamente debido a factores como:

- El clima y las condiciones ecológicas, la parte de la planta utilizada,
- La edad de la planta,
- El método y tiempo de extracción.

Estas variaciones influyen directamente en su eficacia y toxicidad. Por ejemplo, el 1,8 - cineol es el componente principal del AE de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), mientras que el linalol predomina en el AE de cilantro (*Coriandrum sativum*); ambos son monoterpenos con probada actividad insecticida (Tapondjou et al., 2005).

2.1.5.1. Localización y distribución de aceites esenciales en las plantas

Los AE se encuentran en partes específicas de las plantas, almacenados en estructuras especializadas como tricomas glandulares, conductos secretores, cavidades lisígenas o esquizógenas. Estas sustancias se sintetizan, se almacenan y son liberadas al medio ambiente por estructuras especializadas de las plantas, como cepillos glandulares y papilas, e internamente en canales y bolsas secretoras (Butnariu & Sarac, 2018). Se

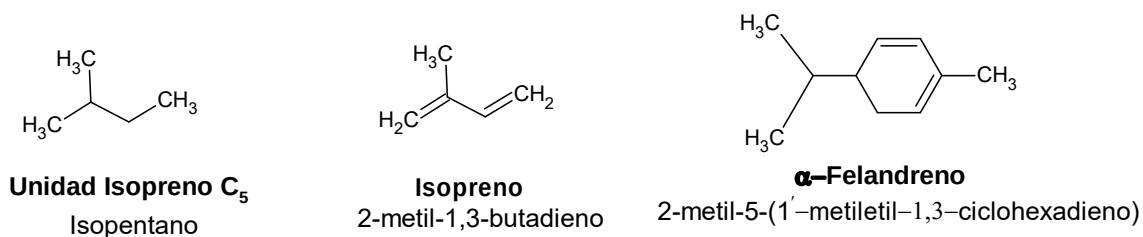
localizan principalmente en (semillas, raíces, cortezas, ramas, hojas, flores, brotes y en frutos), con un rendimiento generalmente bajo, rara vez superior al 1 %. Este rendimiento varía según factores como la especie, condiciones climáticas, ubicación geográfica, periodo de cosecha, técnicas de extracción y etapa de desarrollo de la planta (Bouayed & Bohn, 2012). Los aceites esenciales están ampliamente distribuidos en más de 60 familias de angiospermas dicotiledóneas, como Asteraceae, Labiatae, Lauraceae, Myrtaceae, Pinaceae, Rosaceae, Rutaceae y Apiaceae (Worwood, 2016).

2.1.5.2. Química de aceites esenciales

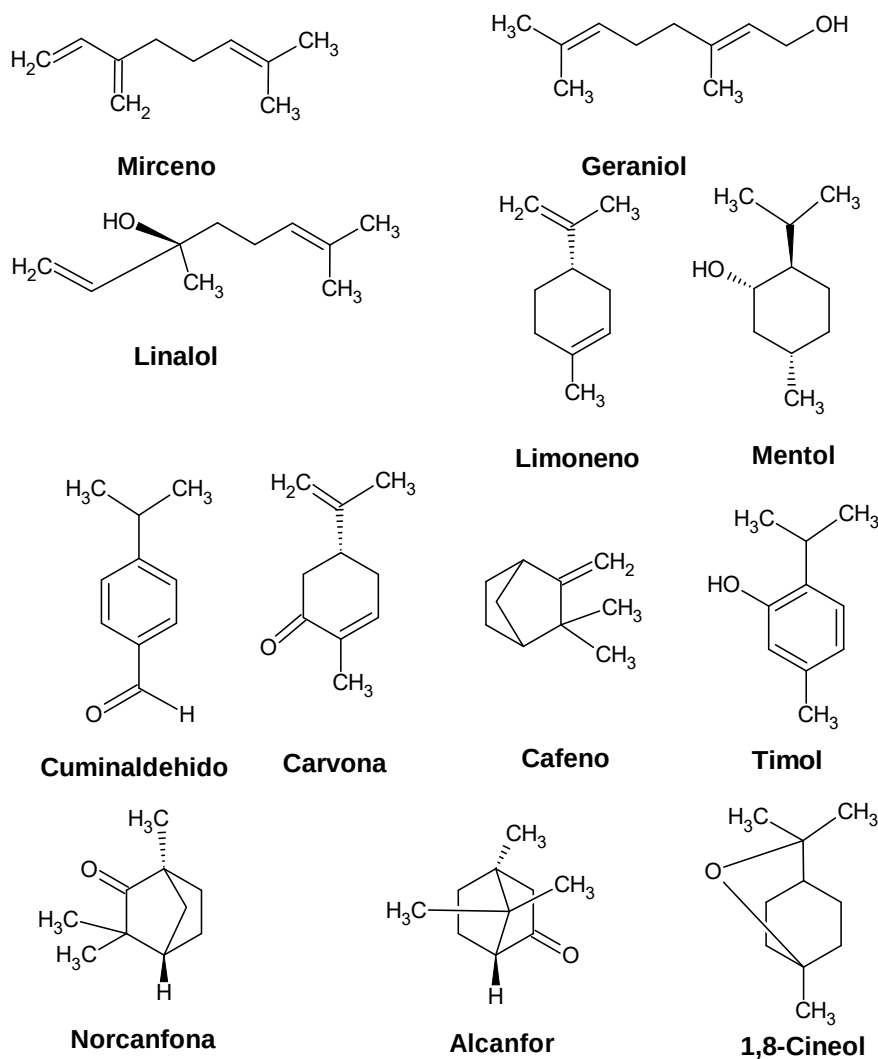
Los AE son productos, resultado del metabolismo secundario de plantas, incluyen a mezclas complejas de hidrocarburos alicíclicos (como terpenos, sesquiterpenos y fenilpropanos), compuestos fenólicos y sus derivados oxigenados, tales como el alcanfor, el eugenol y el cinamaldehído, estos productos químicos son intensamente aromáticos, no grasos, volátiles y ligeros (Heldt & Piechulla, 2010).

Los terpenos, sintetizados a partir del isopreno, determinan las propiedades biológicas de los aceites esenciales y su potencial como alternativas sostenibles a los plaguicidas sintéticos (Xie et al., 2014). Aunque algunos metabolitos secundarios, como la clorofila y las auxinas, juegan roles en el metabolismo primario, muchos otros aún no tienen una función claramente establecida en las plantas (Harborne, 1998). Estos componentes mayoritarios son los que determinan las propiedades biológicas de los aceites esenciales, ya que, incluyen la presencia de diferentes grupos de origen biosintético (Leicach, 2010).

Terpenos: Los terpenos denominados lípidos insaponificables, derivan de unidad de isopreno (2-metil-1,3-butadieno), Figura 8, molécula de cinco carbonos, constituidos por dos o más moléculas de isopreno, con estructuras lineales, cíclicas o bien ambas estructuras en la misma molécula (Tisserand & Young, 2013).

Figura 6*Unidades de isopreno*

Terpenoides: Los terpenoides son los principales compuestos presentes en los aceites esenciales y forman una de las clases más diversas de metabolitos secundarios. Se originan a partir del isopentenil pirofosfato (IPP), una unidad de cinco carbonos, y se originan por modificaciones químicas como oxidación o reorganización estructural, y en terpenos que han sufrido modificación enzimática lo que da lugar a gran variedad de estructuras (Correa-Salgado et al., 2024). Estos compuestos cumplen funciones fisiológicas esenciales en las plantas, como participar en la fotosíntesis, el transporte de electrones, la síntesis de hormonas (giberelinas, ácido abscísico, brasinoesteroides) y mantener la integridad de las membranas celulares (esteroles) (Verpoorte et al., 2007). Además, tienen un papel ecológico clave: actúan como defensas frente a herbívoros, mediante compuestos repelentes o fitoalexinas, y como atrayentes de polinizadores y dispersores de semillas. En la Figura 9 se muestran algunos ejemplos de monoterpenos y terpenoides (Tisserand & Young, 2013).

Figura 7*Estructuras químicas de monoterpenos y terpenoides.*

Fuente: Adaptado de Essential Oil Safety: A Guide for Health Care Professionals. Editorial Churchill Livingstone-Edición 2ª. Tisserand Robert y Young Rodney (2013).

2.1.5.3. Ruta biosintética de terpenos en organismos vegetales.

La Química de aceites esenciales en las plantas ha cobrado gran interés debido a sus múltiples implicancias biológicas y aplicaciones en el mejoramiento vegetal. Desde el punto de vista funcional, estos compuestos contribuyen significativamente a la defensa contra plagas y enfermedades, a la producción de compuestos alelopáticos para el control

de malezas, a la atracción de polinizadores, así como al incremento del valor ornamental y medicinal de diversas especies vegetales. Además, su manipulación metabólica ofrece nuevas oportunidades para la producción de compuestos de interés farmacéutico, nutracéutico e industrial (Flores Espinoza, 2013).

La biosintetizan de terpenos, generalmente es a través de la ruta del acetil coenzima A (CoA), utilizando mevalónato (MEV) como intermediario común. Esta biosíntesis ocurre en el citoplasma. Sin embargo, hace aproximadamente diez años se descubrió una ruta alterna, la del metileritritol fosfato (MEP), que se inicia a partir de piruvato y gliceraldehído-3-fosfato (GA-3P) y un intermedio de 5 átomos de carbono; esta reacción se lleva a cabo en el cloroplasto mediante la ruta del shikimato (Lücker et al., 2007); y a través del ciclo dimetilalil pirofosfato (DMAPP) y su isómero, el isopentenil pirofosfato (IPP), dando lugar a formación del geranil pirofosfato (GPP) y muchos otros terpenos. En la Figura 10, se muestra la ruta biosintética de los terpenos; comienza con la síntesis del ácido mevalónico (MEV), que se inicia mediante la condensación de tres moléculas de acetil-CoA. El ácido mevalónico (activo) o el 1-desoxi-D-xilulosa-5-fosfato (DOXP) en rutas metabólicas distintas, obtienen monoterpenos (C_{10}) que derivan de dos moléculas de isopreno y sesquiterpenos (C_{15}) contienen tres moléculas de isopreno.:

Primera reacción: La activación del ácido acético se produce a partir de dos moléculas de acetil-CoA, catalizada por la enzima acetil-CoA tiolasa. Esto resulta en la formación de acetoacetil-CoA y la liberación de una molécula de coenzima A. Este proceso se denomina condensación biológica de Claisen. En esta reacción, una molécula de acetil-CoA actúa como nucleófilo y la otra como electrófilo, donde una transfiere su grupo acetil a un residuo de cisteína en el centro activo de la enzima, liberando una CoA.

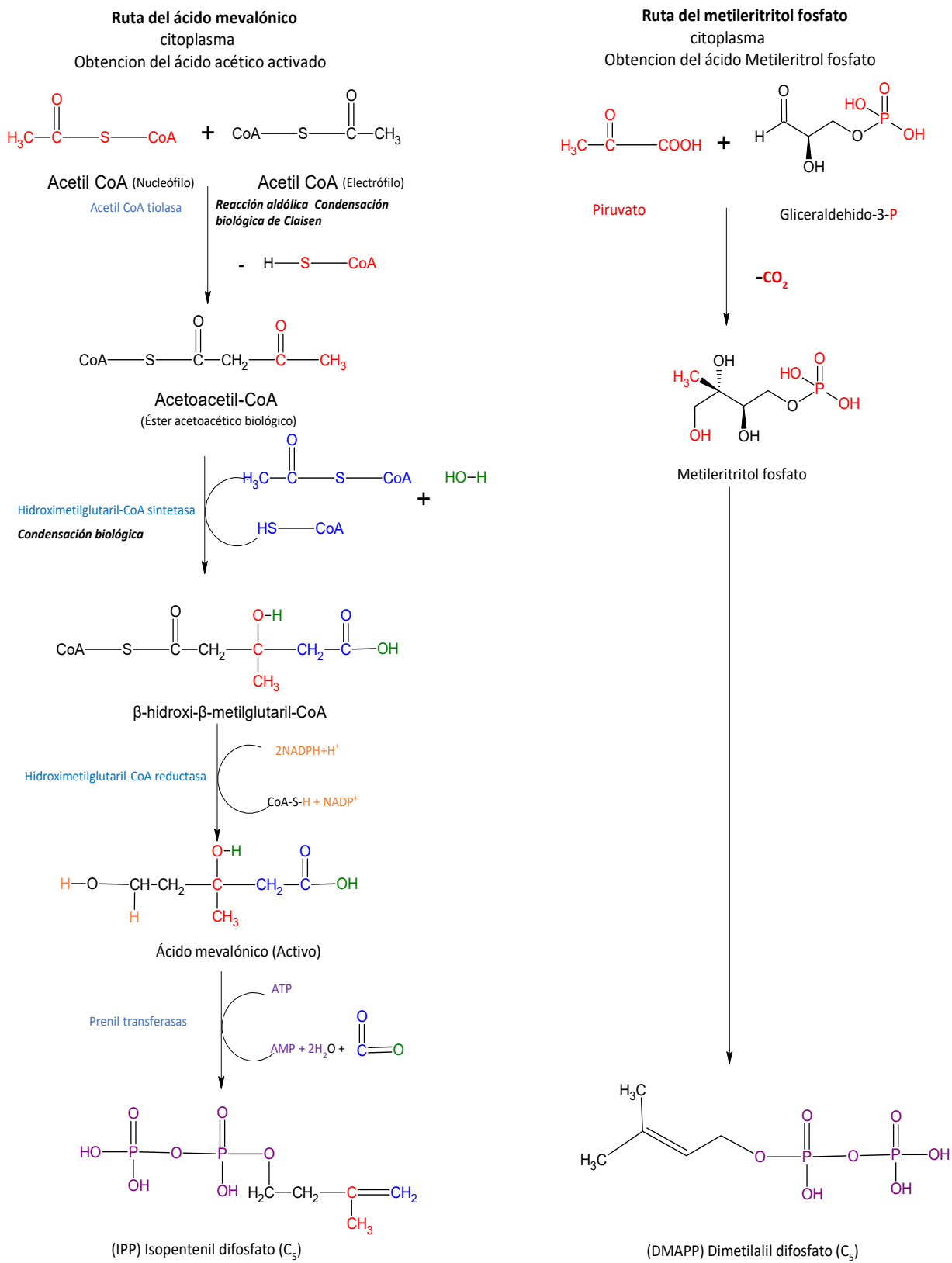
Luego, la otra molécula de acetil-CoA se desprotona, formando un enolato que ataca el carbono tioéster electrófilo del intermediario, produciendo acetoacetil-CoA (Rodríguez López, 2017).

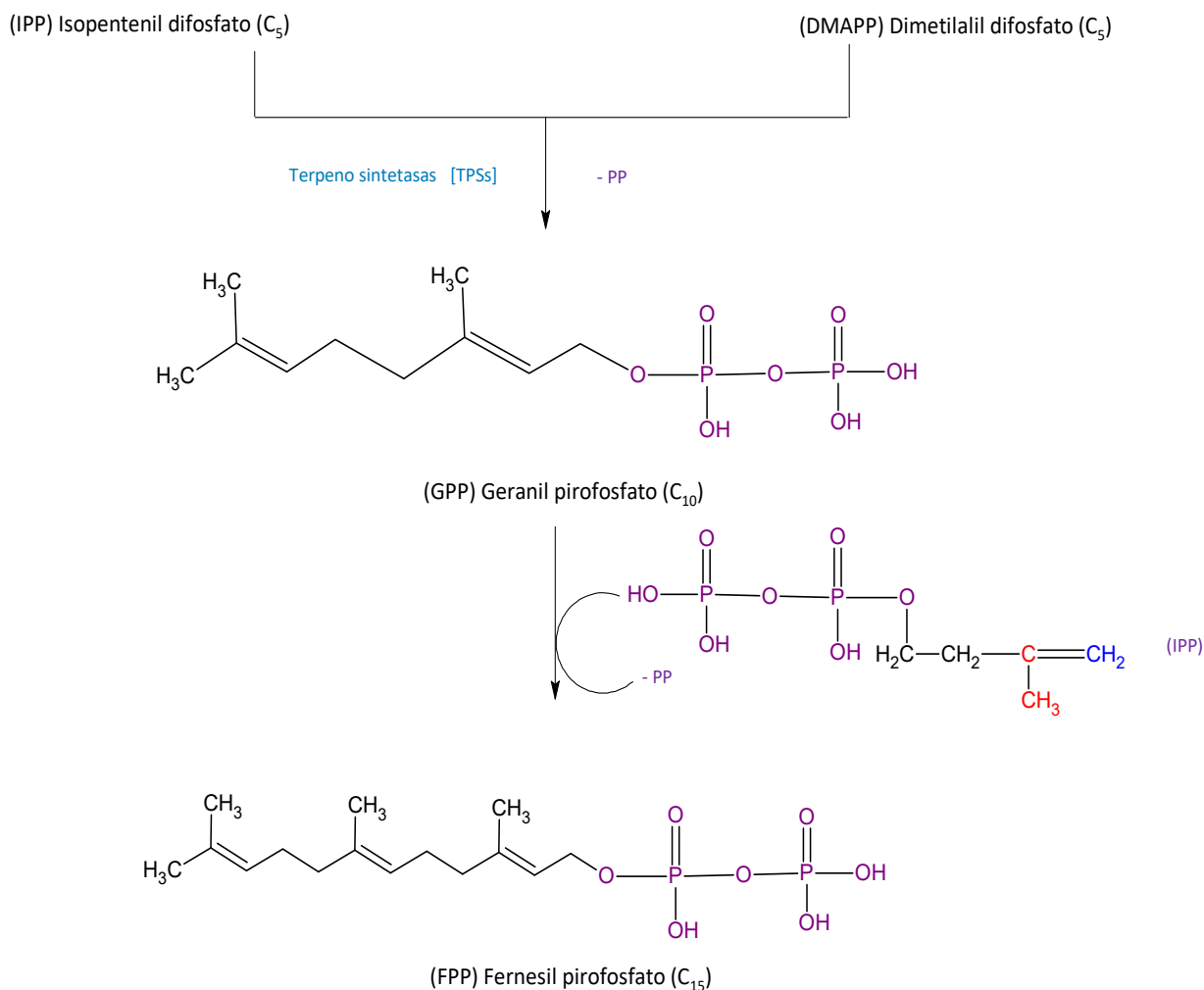
Segunda reacción: La acetoacetil-CoA se condensa con otra molécula de acetil-CoA, catalizada por la enzima hidroximetilglutaril-CoA sintetasa, formando hidroximetilglutaril-CoA y liberando otra molécula de CoA-SH.

Este mecanismo se denomina condensación aldólica. Luego, la enzima hidroximetilglutaril-CoA reductasa convierte el intermediario en ácido mevalónico. El ácido mevalónico activo es fosforilado, y tras descarboxilación y deshidratación, se forma el isopentenil pirofosfato (IPP), un isopreno activo (Martínez, 2003).

La unidad de IPP (isopentenil pirofosfato) se condensa con unidades de DMAPP (ácido mevalonil di fosfato) mediante un proceso "cabeza-cola", donde la cabeza es el grupo pirofosfato y la cola es el extremo metilado catalizados por las prenil transferasas. La condensación de estas moléculas de 5 carbonos (IPP y DMAPP) produce una molécula de 10 carbonos: geranilpirofosfato (GPP), el precursor inmediato de todos los diterpenos y tetraterpenos naturales. La condensación de geranilpirofosfato con una nueva unidad de IPP da lugar a farnesilpirofosfato, el precursor de todos los sesquiterpenos naturales, las cuales están catalizadas por enzimas, denominadas como terpeno sintetasas (TPSs) (Ávalos García & Pérez-Urria Carril, 2009)

Figura 10
Biosíntesis de terpenos en organismos vegetales.





Fuente: Adaptado de Metabolic Engineering of Terpenoid Biosynthesis in Plants. *Applications of Plant Metabolic Engineering Chapter pp 219–236*. Lücker Joost, Bouwmeester Harro J. and Aharoni Asaph. (2007).

2.1.5.4. Características Físico-Químicas de Aceites Esenciales

Los aceites esenciales (AE) son mezclas de compuestos aromáticos volátiles con propiedades físicas y químicas particulares que influyen en su actividad biológica, conservación y modo de aplicación. Estas propiedades, además, son útiles para evaluar la calidad y autenticidad del aceite esencial (Andrade-Ochoa et al., 2017).

A continuación, se detallan sus principales características:

- **Volatilidad:**

Los AE son altamente volátiles, es decir, se evaporan fácilmente a temperatura ambiente. Esta propiedad es fundamental para su uso como fumigantes e

insecticidas por inhalación, pero también implica que deben almacenarse adecuadamente para evitar pérdidas por evaporación.

- **Solubilidad:**

Son insolubles en agua (hidrofóbicos), aunque pueden ser arrastrados por el vapor durante procesos de destilación. Son solubles en alcoholes concentrados y disolventes orgánicos (éter, cloroformo, etc.), lo que facilita su formulación en preparados líquidos, emulsiones o soluciones. Esta propiedad es clave para su aplicación en bioensayos o formulaciones agrícolas.

- **Densidad:**

Generalmente tienen una densidad menor que la del agua ($<1 \text{ g/cm}^3$), aunque puede variar según su composición. Esta característica permite diferenciarlos de otros aceites o adulterantes. Por ejemplo, el AE de *Tanacetum parthenium* tiene una densidad de 0.9293 g/cm^3 y los demás AE se encuentran en el rango de $(0.83 - 0.92 \text{ g/cm}^3)$. La densidad puede usarse como parámetro de identificación y control de calidad.

- **Índice de refracción:**

Cada AE posee un índice de refracción característico, el cual puede variar por su pureza o grado de oxidación. Este parámetro se utiliza como indicador de autenticidad y para detectar mezclas o adulteraciones. Algunas excepciones se observan en aceites como los de canela, sazafrán o clavo.

- **Punto de ebullición:**

Debido a su volatilidad, los AE presentan puntos de ebullición bajos, lo cual facilita su evaporación y dispersión en el ambiente. Esta propiedad es ventajosa en aplicaciones como la fumigación o el uso en difusores, aunque requiere precaución en el almacenamiento.

- **Color y estabilidad:**

Al ser recién destilados, los AE suelen ser incoloros o ligeramente amarillos, pero con el tiempo se oxidan o resinifican, adquiriendo un tono más oscuro. Esta transformación química reduce su eficacia y puede alterar su aroma. Por ello, deben almacenarse en frascos de vidrio ámbar, llenos y bien cerrados, para protegerlos de la luz, el oxígeno y la humedad (Tisserand & Young, 2013).

Tabla 1

Características físico-químicas de aceites esenciales y su significado.

Característica	Descripción	¿Qué indica o significa?
Volatilidad	Se evaporan fácilmente a temperatura ambiente.	Permiten su uso como fumigantes; requiere envases herméticos para evitar pérdida por evaporación.
Solubilidad	Insolubles en agua, solubles en alcohol concentrado y disolventes orgánicos.	Determina su formulación en bioensayos y productos agrícolas o medicinales.
Densidad	Menor que el agua ($<1 \text{ g/cm}^3$), aunque depende de su composición.	Parámetro útil para control de calidad e identificación de aceites esenciales auténticos.
Índice de refracción	Cada aceite esencial tiene un valor específico.	Indica la pureza del aceite; útil para detectar adulteraciones o degradación.
Punto de ebullición	Relativamente bajo, por su naturaleza volátil.	Facilita la dispersión en el ambiente; útil en aplicaciones como fumigación o difusión.
Color y estabilidad	Incoloros al destilarse; se oscurecen al oxidarse con el tiempo.	El cambio de color indica degradación. Requiere almacenamiento en frascos de vidrio ámbar bien cerrados.

Fuente: Adaptado de Essential Oil Safety: A Guide for Health Care Professionals. Editorial Churchill Livingstone-Edición 2ª. Tisserand Robert y Young Rodney (2013).

2.1.5.5. Función biológica de los aceites esenciales

En la actualidad, más de la mitad de la población mundial está expuesta al riesgo de contraer enfermedades transmitidas por insectos vectores, factores como el cambio climático y la aparición de cepas resistentes a insecticidas convencionales han impulsado la búsqueda de nuevas alternativas de control biológico (López Belchi, 2008). En este contexto, los aceites esenciales (AE) han mostrado ser compuestos altamente efectivos, con propiedades repelentes, insecticidas, fungicidas y larvicidas, entre otras (Andrade-Ochoa et al., 2017).

Gracias a su rica composición fitoquímica, los AE exhiben una amplia gama de actividades biológicas, incluyendo propiedades antidepresivas, estimulantes, desintoxicantes, antibacterianas, antivirales, anticancerígenas y calmantes (Turek & Stintzing, 2013). Este amplio espectro funcional ha despertado un creciente interés por su aplicación en sectores como la industria alimentaria, cosmética, farmacéutica, aromaterapia y biosidas en la agricultura (Herman et al., 2019). En el ámbito de la medicina tradicional, se estima que entre el 70 % y el 80 % de la población mundial hace uso de productos derivados de plantas, incluyendo los aceites esenciales (Hamid et al., 2011).

Estudios recientes destacan el potencial insecticida del aceite esencial de *Schinus molle* L., cuyas concentraciones efectivas se encuentran dentro de los rangos considerados seguros por la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ), que establece un límite máximo de 5000 ppm para que un producto sea clasificado como apto para el control biológico de insectos plaga (Zamora Mendoza, 2022).

No obstante, el uso de aceites esenciales también enfrenta desafíos, principalmente relacionados con su baja estabilidad química y alta volatilidad, factores

que se ven afectados por condiciones ambientales como la temperatura, la humedad, la luz y la presencia de oxígeno (Rodríguez López, 2017).

Además de su acción insecticida directa, los aceites esenciales cumplen importantes funciones biológicas en las plantas de origen, tales como:

- **Función ecológica:** Actúan como compuestos alelopáticos que inhiben la germinación de otras especies y median interacciones planta-animal.
- **Función polinizadora:** Atraen o repelen insectos, facilitando la polinización y la dispersión de frutos y semillas.
- **Función de protección:** Defienden a la planta frente a depredadores, hongos e insectos, actuando como repelentes naturales.
- **Función reguladora:** Participan en la regulación de la transpiración vegetal.
- **Función energética:** Sirven como reserva de carbono, degradándose a acetil-CoA durante el ciclo nocturno de la planta.
- **Funciones biocidas:** Poseen actividad antifúngica, antimicrobiana, insecticida y citotóxica, atribuida a los compuestos bioactivos presentes en las mezclas crudas de aceites esenciales (Zamora Mendoza, 2022).

2.1.5.6.Extracción de aceites esenciales

- La extracción de aceites esenciales es un proceso técnico para obtener compuestos aromáticos y volátiles de plantas, flores, frutas y hojas (García-Gonzalo & Medina, 2019).

Los métodos principales incluyen:

- **Hidrodestilación:** El material vegetal se sumerge en agua, y el vapor se genera en el mismo recipiente.
- **Hidrodestilación por arrastre de vapor con trampa de Clevenger:** Método

eficiente.

- **Destilación por arrastre con vapor:** El vapor se genera en un recipiente separado, sin contacto directo con el material vegetal, lo que asegura buenos resultados en concentración y calidad (Llanos Arapa, 2012).

Destilación en corriente de vapor: El vapor se produce debajo del recipiente que contiene el material vegetal, sin contacto directo con este.

Cada técnica tiene sus propias ventajas, limitaciones y es adecuada para diferentes tipos de materiales vegetales y compuestos (Casado Villaverde, 2018).

La destilación por arrastre con vapor es el método más eficiente y común debido a su simplicidad y buenos rendimientos en pureza y concentración del aceite esencial. Otros métodos como la extracción con solventes y CO₂ supercrítico también son usados, dependiendo del tipo de material vegetal y sus compuestos (Solís-Quipe et al., 2019).

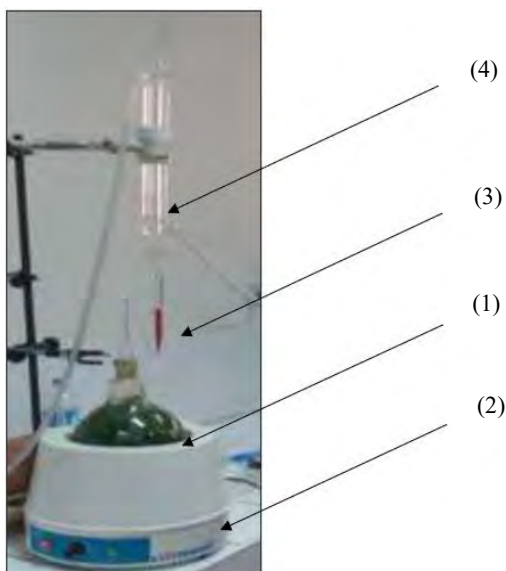
2.1.5.7. Hidrodestilación de aceites esenciales con trampa de Clevenger.

La hidrodestilación por arrastre de vapor es uno de los métodos más empleados para la obtención de aceites esenciales a partir de material vegetal (Mills & Ohlsson, 2018), Figura 10. Este procedimiento consiste en calentar agua junto con la muestra vegetal, generando vapor que, al atravesar el tejido vegetal, volatiliza los compuestos aromáticos (como los aceites esenciales). Dicho vapor, que contiene una mezcla de agua y aceite esencial, es dirigido a un condensador, donde se enfría y se convierte nuevamente en líquido. El condensado resultante se colecta en una trampa de Clevenger, un dispositivo que permite la separación y cuantificación del aceite esencial debido a la diferencia de densidades entre el agua y el aceite. La trampa permite recircular el agua

condensada de nuevo al matraz, optimizando así la recuperación del aceite. Este método es especialmente útil para plantas que contienen compuestos volátiles y termolábiles, y es ampliamente utilizado por ser una destilación directa y un sistema cerrado. Este procedimiento garantiza una extracción eficiente, ya que las plantas picadas facilitan la liberación completa del aceite esencial. Debido a que es una destilación directa en sistema cerrado, además reconocido por su eficiencia, simplicidad, flexibilidad y capacidad para trabajar con aceites esenciales de distintas densidades (Solís-Quispe et al., 2019).

Figura 8

Hidrodestilación por arrastre de vapor con trampa de Clevenger.



Donde:

- (1) Balón de vidrio: Contiene las plantas picadas las que sumergen en agua.
- (2) Manta térmica regulada: el agua es calentada continuamente.
- (3) Trampa de Clevenger: Separa aceite esencial de la mezcla condensada.
- (4) Refrigerante recto: Condensa los vapores generados durante la destilación.

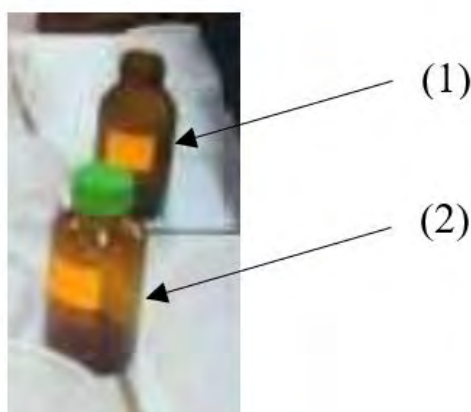
2.1.5.8. Conservación de aceites esenciales.

Uno de los principales desafíos en el manejo de los aceites esenciales es su alta susceptibilidad a la oxidación, lo cual se debe a su elevada concentración de compuestos volátiles y a su pureza. Esta oxidación puede provocar pérdida de aroma, cambio de color, disminución de la eficacia biológica e incluso formación de productos irritantes o tóxicos (Santana et al., 2022).

Para preservar su calidad, los aceites esenciales deben almacenarse en frascos de vidrio color ámbar u oscuro Figura 11, que protegen de la exposición a la luz solar y a los rayos UV. Si se almacenan en frascos transparentes, la luz puede acelerar los procesos de fotooxidación, provocando la degradación de sus componentes activos y alterando su composición química y eficacia. Esto resulta en una pérdida de propiedades terapéuticas, biológicas y sensoriales del aceite.

Figura 9

*Aceites esenciales de *S. molle* y *T. parthenium* obtenidos por hidrodestilación con trampa de Clevenger.*



Donde:

(1) Aceite esencial de *Schinus molle* L.

(2) Aceite esencial de *Tanacetum parthenium* L.

Además, deben mantenerse en un lugar fresco, seco y oscuro, lejos de fuentes de calor. En climas cálidos, se recomienda conservarlos en refrigeración a aproximadamente 4 °C, evitando así su volatilización o deterioro prematuro. Se debe evitar el uso de tapas de goma, ya que algunos compuestos de los aceites esenciales pueden reaccionar con este material, degradarlo con el tiempo y contaminar el contenido. En su lugar, se recomienda el uso de tapones cuentagotas de plástico o tapas de rosca con revestimientos internos inertes (Baser & Buchbauer, 2009).

La Tabla 2 contiene las condiciones óptimas de almacenamiento y conservación de los aceites esenciales, las cuales permiten preservar su estabilidad química, eficacia biológica y calidad sensorial.

Tabla 2

Condiciones óptimas para la conservación de aceites esenciales

Parámetro	Recomendación técnica	Justificación
Envase	Frasco de vidrio ámbar u oscuro	Protege de la luz y evita la fotooxidación de compuestos sensibles
Evitar frasco transparente	Sí, debe evitarse	La luz acelera la oxidación y degrada la calidad del aceite
Temperatura de almacenamiento	Almacenar a 4 °C (refrigeración), especialmente en climas cálidos	Reduce volatilización y ralentiza la degradación química
Luz y calor	Lugar fresco, seco y oscuro	Evita reacciones químicas no deseadas y mantiene estabilidad del aceite
Tapas del envase	Cuenta gotas de plástico o tapas con recubrimiento inerte	Evita contaminación por reacciones con goma o metales
Evitar aireación constante	Mantener el frasco bien cerrado	Minimiza la oxidación por exposición al oxígeno

Llenado del envase	Frascos llenos hasta el cuello	Reduce espacio de aire y contacto con oxígeno
--------------------	--------------------------------	---

Fuente: Adaptado Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications. CRC Press, 1st Edition, Pages 991 Baser K. Husnu Can, & Buchbauer Gerhard. (2009).

2.1.5.9. Agentes emulsionantes de aceites esenciales.

Los emulsionantes son sustancias anfífilas, es decir, poseen una parte hidrofílica (afinidad por el agua) y otra lipofílica o hidrófoba (que la repelen al agua y afinidad por los aceites), lo que les permite formar micelas o nano emulsiones, encapsulando las gotas de aceite en su interior. Esto no solo incrementa la solubilidad del aceite esencial, sino que también lo protege de la oxidación y volatilización prematura, favoreciendo una liberación más controlada del compuesto activo (Donsì et al., 2011).

Entre los emulsionantes más utilizados en formulaciones de aceites esenciales son surfactantes no iónicos ampliamente aceptados por su baja toxicidad y buena capacidad de estabilización, para emulsificar aceites esenciales incluyen:

- **Tween 20 (Polisorbato 20):** Más soluble en agua que el Tween 80, adecuado para aceites más ligeros, utilizado en la presente investigación.
- **Tritón X-100:** Muy eficiente en emulsificación, aunque en altas concentraciones puede tener efectos tóxicos sobre insectos.
- **Spam 80 (Sorbitán monooleato):** Se puede combinar con Tween para formar emulsiones más estables.
- **Lecitina vegetal:** Natural, biodegradable, usada frecuentemente en aplicaciones ecológicas.
- **Saponificadores naturales.**

La elección del emulsionante depende del tipo de aceite esencial, la concentración deseada y el método de aplicación.

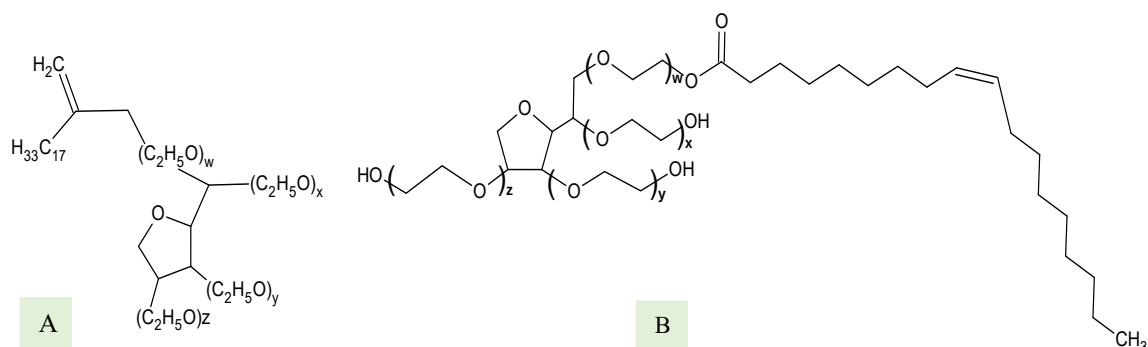
En las investigaciones con aceites esenciales como alternativas ecológicas al uso de insecticidas sintéticos, el empleo adecuado de emulsionantes resulta fundamental para garantizar la efectividad del tratamiento y la reproducibilidad de los ensayos. En muchos estudios, el uso de emulsionantes permite estandarizar la concentración del aceite en la fase acuosa y controlar la variabilidad en la exposición del insecto plaga al principio activo (Burt, 2004).

Debido a que los aceites esenciales, tienen naturaleza hidrofóbica y volátil, presentan dificultades para su aplicación directa en medios acuosos como los que se emplean en bioensayos y formulaciones agrícolas. Para superar esta limitación, se emplean agentes emulsionantes que permiten dispersar los aceites esenciales en agua, formando emulsiones estables que mejoran su manejo, biodisponibilidad y eficacia insecticida (Salvia-Trujillo et al., 2015).

2.1.5.10. Tween 80

Tween 80, químicamente conocido como polisorbato 80 o monooleato de sorbitán etoxilado de fórmula general: $C_{64}H_{124}O_{26}$ su estructura química (simplificada) deriva del sorbitol (un azúcar alcohol) esterificado con ácido oleico (un ácido graso insaturado con 18 átomos de carbono) (cadena hidrofóbica) y etoxilado con múltiples unidades de óxido de etileno que conforman la parte hidrofílica, es un surfactante (o tensoactivo) no iónico, ampliamente utilizado en formulaciones biológicas y también en investigaciones científicas, especialmente en formulaciones que requieren estabilidad coloidal. Su función principal es emulsionar compuestos lipofílicos como los aceites esenciales en agua, es decir sustancias inmiscibles, permitiendo una distribución homogénea en medios acuosos. Esta propiedad lo convierte en un emulsionante eficaz. (Rosen & Kunjappu,

2012). Se caracteriza por reducir la tensión superficial entre fases inmiscibles como agua y el aceite esencial, facilitando la formación de micelas o pequeñas gotas dispersas en agua. Esto asegura que el aceite esencial se distribuya de manera uniforme sobre el papel filtro y que su efecto insecticida se evalúe correctamente. (Karjiban et al., 2012). En estudios de simulación molecular, Karjiban et al., (2012) analizaron la estructura del Tween 80 figura 13 (A) fórmulas globales, (B) geométrica desarrollada, destacando cómo su configuración tridimensional facilita su acción en sistemas acuosos. Los índices moleculares como x, y, z y w en los grupos cromóforos fueron seleccionados estratégicamente para describir su comportamiento estructural, lo cual resulta útil para comprender su funcionalidad a nivel molecular. Esta comprensión ha permitido mejorar su aplicación en sistemas donde se requiere una dispersión homogénea de compuestos insolubles en agua, como aceites esenciales. La estructura general se puede representar como: [nombre de la cadena de polioxietileno] - [cadena oleato] (PEG), los índices x, y, z y w (que se refieren a la longitud de la cadena PEG), se utilizan para indicar el número de unidades de etóxido ($-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}-$). En el Tween 80, estos índices se seleccionan como 5 (Karjiban et al., 2012), lo que significa que la cadena PEG tiene 5 unidades de etóxido. Esto determina las propiedades hidrofílicas y lipofílicas de la molécula, haciendo que el Tween 80 sea un buen tensioactivo y dispersante en sistemas acuosos y orgánicos. La cadena oleato confiere a la molécula una propiedad lipofílica, mientras que la cadena PEG le da una propiedad hidrofílica. La combinación de estas propiedades permite que el Tween 80 se utilice en diversas aplicaciones, como emulsificantes, estabilizantes y en la preparación de sistemas coloidales.

Figura 13*Estructura del Tween 80.*

Fuente: Adaptado de En estudios de Análisis y simulación molecular, de la estructura del Tween 80. Karjiban et al., (2012)

2.1.6. Cromatografía de gases – Espectrometría de Masas

La cromatografía de gases (CG) y la espectrometría de masas (EM) son técnicas analíticas complementarias que se utilizan para la separación y análisis de compuestos químicos. (Grob & Barry, 2004). La combinación de estas técnicas de (GC-MS) permite la separación precisa de compuestos volátiles por (GC) seguida de una identificación detallada basada en la masa de los compuestos por (MS), ofreciendo una potente herramienta para el análisis cualitativo y cuantitativo de los componentes de un aceite esencial y en una amplia gama de aplicaciones científicas y técnicas.

2.1.6.1. Cromatografía de gases

La cromatografía de gases (CG) es una técnica instrumental de análisis utilizada para separar, identificar y cuantificar compuestos que pueden volatilizarse sin descomponerse. Esta técnica es ampliamente aplicada en el análisis de mezclas complejas de compuestos orgánicos, como los aceites esenciales, gracias a su alta resolución, sensibilidad y rapidez (Meyers & Wiley, 2006).

Componentes de un cromatógrafo de gases y su funcionamiento

Un cromatógrafo de gases está compuesto por los siguientes elementos principales:

- **Gas portador:** Es la fase móvil y se encarga de transportar la muestra vaporizada a través de la columna cromatográfica. Generalmente se utiliza helio, aunque también pueden emplearse hidrógeno o nitrógeno.
- **Sistema de inyección:** Introduce la muestra en el cromatógrafo. Puede realizarse por inyección split, split-less o on-column, dependiendo del tipo y cantidad de muestra.
- **Horno:** Contiene la columna cromatográfica y mantiene una temperatura controlada que permite la volatilización de los analitos.
- **Columna capilar:** Es el lugar donde ocurre la separación. Está recubierta internamente con una fase estacionaria, que puede ser polar o apolar, y que interactúa con los compuestos de la muestra.
- **Detector:** Registra los compuestos conforme eluyen de la columna. Uno de los detectores más utilizados es el detector de ionización de llama (FID), que proporciona señales proporcionales a la cantidad de compuesto presente.
- **Sistema de adquisición de datos:** Permite visualizar e interpretar los resultados en forma de cromatogramas.

Mecanismo de separación

La separación de los compuestos se basa en su interacción diferencial con la fase estacionaria y su capacidad de volatilización (presión de vapor). Los compuestos con menor afinidad por la fase estacionaria o mayor volatilidad se moverán más rápidamente por la columna, eluyendo antes; mientras que los compuestos más afines o menos volátiles tendrán tiempos de retención (RT) más prolongados (Grob & Barry, 2004).

Estas interacciones ocurren en un equilibrio dinámico entre la fase móvil (gas portador) y la fase estacionaria (recubrimiento interno de la columna). La naturaleza química de los compuestos, su polaridad, tamaño molecular y temperatura del sistema afectan directamente el tiempo de retención. Si no existiera esta interacción entre los componentes y la fase estacionaria estos se desplazarían por la columna a la misma velocidad que el gas y no sería posible la separación de los diferentes componentes de la mezcla.

Condiciones de la muestra y métodos de introducción: Para que una muestra pueda ser analizada por CG, debe estar en estado **ser volátil** a la temperatura del inyector sin sufrir descomposición térmica. Por eso, generalmente se realizan preparaciones previas como:

- **Extracción con disolventes:** Se utiliza para aislar los compuestos volátiles de muestras sólidas o líquidas. El extracto se inyecta posteriormente en el cromatógrafo.
- **Extracción en espacio de cabeza (Headspace, HS):** La muestra se calienta en un vial cerrado hasta que los compuestos volátiles pasen al aire del vial. Luego, esta fase gaseosa se inyecta en el cromatógrafo con una jeringa térmicamente controlada, lo que evita pérdidas por condensación.

Importancia del tiempo de retención

El tiempo de retención (RT) es característico de cada compuesto en condiciones cromatográficas específicas. Su valor depende de la interacción del analito con la fase estacionaria y su capacidad de volatilización. Así, los compuestos en una mezcla se separan y detectan a diferentes tiempos, lo cual permite su identificación y cuantificación.

En resumen, la cromatografía de gases es una herramienta precisa y confiable en el análisis de compuestos volátiles como los aceites esenciales, siendo ampliamente

empleada en las industrias farmacéutica, alimentaria, ambiental y cosmética (Adams, 2007).

2.1.6.2. Espectrometría de Masas.

La espectrometría de masas (MS) es una técnica analítica avanzada utilizada para identificar y cuantificar compuestos químicos mediante la medición de la relación masa/carga (m/z) de los iones generados a partir de una muestra. Proporciona un espectro de masas que muestra la abundancia relativa de los iones, lo que permite obtener información precisa y detallada sobre los compuestos analizados (Lee, 2012).

Características principales:

- **Identificación precisa:** Cada molécula produce un espectro único.
- **Cuantificación exacta:** Mide concentraciones en ppm, ppb e incluso ppt.
- **Alta sensibilidad:** Detecta compuestos en concentraciones trazas.
- **Versatilidad:** Compatible con una amplia variedad de compuestos.
- **Información estructural:** Proporciona detalles sobre la estructura molecular e isotópica.
- **Rapidez:** Produce resultados en fracciones de segundo, útil para monitoreo en tiempo real.

Proceso de espectrometría de masas:

- **Ionización:** La muestra se somete a métodos como el impacto electrónico, donde electrones de alta energía bombardean las moléculas, generando iones moleculares (M^+) y fragmentos específicos.
- **Aceleración y separación:** Los iones se aceleran en un campo eléctrico o magnético, separándose según su relación m/z .
- **Detección:** Los iones se registran en un espectro de masas que identifica y cuantifica los compuestos.

Cada espectro obtenido puede compararse con bases de datos para identificar compuestos o analizar su estructura molecular (Hübschmann, 2009).

2.1.6.3. Acoplamiento cromatógrafo de gases- espectrometría de masas (GC-MS).

La técnica de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS, por sus siglas en inglés) es una herramienta analítica altamente eficaz para el análisis de aceites esenciales, debido a que permite la separación e identificación de compuestos volátiles en una sola operación. Esta metodología es especialmente útil porque los aceites esenciales que están compuestos principalmente por sustancias volátiles que pueden ser analizadas sin necesidad de pretratamientos complejos (Pino Alea, 2015).

El sistema GC-MS combina dos técnicas: la cromatografía de gases, que separa los componentes de una mezcla en función de su volatilidad y afinidad con la fase estacionaria, y la espectrometría de masas, que permite identificar dichos componentes mediante su patrón de fragmentación iónica. En este acoplamiento, los compuestos volátiles separados por la cromatografía de gases ingresan de inmediato al espectrómetro de masas, donde son ionizados y fragmentados, generando un espectro característico para cada sustancia (Sparkman et al., 2011).

En la espectrometría de masas, las moléculas entran a una fuente de ionización, donde se rompen en fragmentos cargados sin llegar a descomponerse completamente en átomos. Estos fragmentos son representados en un espectro de masas que muestra la relación masa/carga (m/z) y su abundancia relativa. A partir de estos datos, el analizador del espectrómetro genera un espectro que se compara con una biblioteca de espectros almacenada en el equipo, lo que permite la identificación de los compuestos presentes (Skoog et al., 2008).

Además, la cuantificación se puede realizar midiendo el área o la altura de los picos en el cromatograma, ya que estos son proporcionales a la concentración de cada

compuesto en la muestra. Por lo general, se utiliza un estándar interno y se elabora una curva de calibración para calcular las concentraciones (Solís-Quispe et al., 2019).

Uno de los retos técnicos de esta técnica es el acoplamiento entre el cromatógrafo de gases, que trabaja a presión atmosférica, y el espectrómetro de masas, que opera bajo alto vacío. Este desafío se ha superado eficientemente mediante el uso de sistemas con cromatografía de gases capilar, que permiten un flujo más controlado y son actualmente los más empleados (Gross, 2004).

Durante el análisis, los compuestos eluyen del cromatógrafo de gases según su volatilidad y peso molecular, saliendo primero los más livianos. A medida que ingresan al espectrómetro de masas, cada sustancia genera un pico en el cromatograma, el cual puede ser identificado por su espectro de masas correspondiente.

El espectrómetro de masas no solo identifica los compuestos, sino que también actúa como un detector cromatográfico, ya que registra la llamada corriente iónica total (TIC, por sus siglas en inglés). Esta corriente se representa como una serie de picos con forma gaussiana, los cuales indican la intensidad (o cantidad relativa) de cada compuesto.

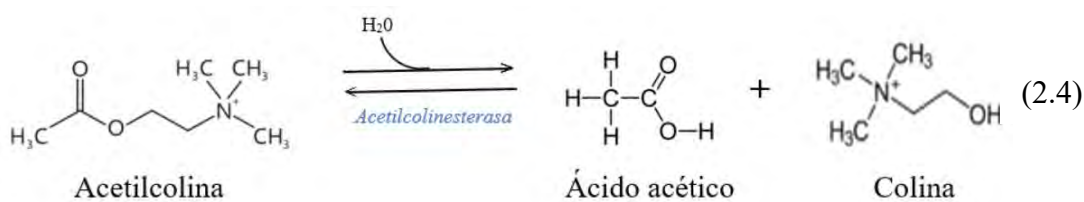
En mezclas complejas, donde pueden aparecer picos muy cercanos, lo que dificulta su identificación, se puede utilizar una estrategia más selectiva llamada detección de iones seleccionados (SIR o SIM, Selected Ion Monitoring). Esta técnica permite monitorear únicamente las masas específicas de interés, lo que mejora la selectividad del análisis y reduce interferencias (Gross, 2004).

2.2.Marco conceptual.

La acetilcolinesterasa (AChE): es una enzima, fundamental en el sistema nervioso de humanos y en el sistema sanguíneos en los humanos e insectos, cuya función principal es la hidrólisis de la acetilcolina (ACh), un neurotransmisor responsable de

transmitir impulsos nerviosos en sinapsis colinérgicas, y es un antígeno en los eritrocitos.

Esta enzima cataliza la hidrólisis de la acetilcolina mediante la siguiente reacción (2.4):



Este proceso permite la terminación rápida de la señal nerviosa, garantizando el funcionamiento normal de músculos, glándulas y órganos. Sin embargo, cuando la AChE es inhibida irreversiblemente, es decir cuando el inhibidor se une covalentemente al centro activo de la enzima, está la inactiva completamente; por ejemplo, por organofosforados: Incluyendo a insecticidas agrícolas como (paratión y el malatión) y algunos gases nerviosos (phosfín, sarín, tabún y somán), son muy tóxicos para seres humanos, carbamatos y compuestos naturales presentes en aceites esenciales (AE), esta degradación la bloquea, generando una acumulación excesiva de acetilcolina en las sinapsis. Este exceso de este neurotransmisor provoca una estimulación continua de los receptores colinérgicos, generando efectos adversos como:

- Contracciones musculares prolongadas
- Parálisis
- Hiperactividad del sistema nervioso autónomo
- Disfunción respiratoria o motora

Este mecanismo de inhibición enzimática es precisamente el blanco de acción de muchos insecticidas neurotóxicos, pero también se ha reportado que algunos componentes bioactivos de los aceites esenciales, como Carveol, timol, eugenol y 1,8-cineol, pueden unirse al sitio activo de la enzima AChE, bloqueando su función y provocando la muerte del insecto (Haines & Mihailoff, 2019; Nelson & Cox, 2014).

Esta acción hace que los AE sean considerados una alternativa ecológica prometedora a los insecticidas sintéticos, al interferir selectivamente en el sistema nervioso de plagas como *Pagiocerus frontalis*, sin generar residuos persistentes en el ambiente. (Regnault-Roger et al., 2012).

Genotóxicos: Agentes químicos, físicos o biológicos que dañan el ADN, causando mutaciones, cáncer o fallos en la replicación celular, con efectos heredables que aumentan el riesgo de enfermedades malignas (Shankar Shukla et al., 2021).

Inmunológicos: Sustancias presentes en pesticidas, medicamentos y contaminantes ambientales que alteran el sistema inmunológico, generando inmunosupresión o hipersensibilidad, y disminuyendo la capacidad del organismo para combatir enfermedades (NCBI, 2021).

Mortalidad: Número de muertes en una población durante un periodo específico, expresado comúnmente en tasas como la mortalidad bruta o infantil, utilizado en demografía y epidemiología (SNIEG, 2023).

Metabolito secundario: Un metabolito secundario en plantas es un compuesto orgánico que no interviene directamente en los procesos básicos de crecimiento, desarrollo y reproducción, pero cumple funciones ecológicas clave como la defensa frente a herbívoros y patógenos, o la atracción de polinizadores. Entre los principales grupos de estos compuestos se encuentran los terpenoides (como el limoneno y el mentol), los alcaloides (como la nicotina y la morfina) y los fenoles (como los taninos y los flavonoides) (Pérez-Urria Carril & Ávalos García, 2009).

Plaguicida: Sustancia química destinada a prevenir, repeler o controlar plagas que afectan plantas y productos derivados (FAO, 2020).

Quimiotipos: Variaciones químicas dentro de una misma especie vegetal que generan perfiles distintos de compuestos, influyendo en propiedades terapéuticas,

fragancias o toxicidad. Ejemplo: el romero (*Rosmarinus officinalis*) con quimiotipos como cineol, alcanfor y verbenona (Pénoël et al., 2001).

2.3. Antecedentes de la investigación.

2.3.1. Antecedentes de la investigación de *Schinus molle* L.

Murrieta-Dionicio et al., (2023), estudiaron el impacto del tiempo de extracción y el tipo de destilador (Rayleigh y Clevenger) en la composición del aceite esencial de *Schinus molle* L. Encontraron que el destilador Rayleigh era más eficiente, pero el rendimiento de Clevenger fue 0.6% superior. Identificaron 37 compuestos, siendo los monoterpenos hidrogenados, como α -felandreno y limoneno, los más abundantes.

Belhoussaine et al., (2022), compararon los aceites esenciales de *Schinus molle* y *Schinus terebinthifolius*, destacando que *S. molle* tiene altos niveles de monoterpenos y una buena actividad insecticida sobre *Sitophilus oryzae*, superior a la de *S. terebinthifolius*. Ambos aceites mostraron actividad antioxidante moderada.

Zamora Mendoza, (2022), investigó la encapsulación de aceites esenciales de *Thymus vulgaris* y *Schinus molle* en nanopartículas para mejorar su estabilidad y biodisponibilidad. El aceite esencial de *S. molle* presentó mirceno (28.73%), α -felandreno (18.85%) y limoneno (37.77%) como componentes principales. La encapsulación aumentó la concentración letal 50 (CL₅₀) del aceite de *S. molle*, mientras que redujo la de *T. vulgaris*.

Gad et al., (2021), evaluaron aceites esenciales como alternativas ecológicas a insecticidas contra *Tribolium confusum*. El aceite de *Schinus molle* mostró alta toxicidad contra huevos, mientras otros aceites destacaron contra larvas y adultos. Los aceites de *O. vulgare*, *S. molle*, *C. viminalis*, *C. paradisi* y *A. monosperma* tienen potencial como fumigantes.

Oscoco Huilca (2019), evaluó el aceite de los frutos de *Schinus molle* contra gorgojos (*Acanthoscelides obtectus*) en frijoles almacenados. Identificó limoneno y β -mirceno como responsables de su actividad insecticida y repelente, mostrando eficacia variable según la concentración y el tiempo de exposición.

Duarte Jonathaline et al., (2018), estudiaron los efectos inmunotóxicos del aceite de hojas de *S. molle* en linfocitos y macrófagos humanos. Encontraron efectos genotóxicos en macrófagos a altas concentraciones y activación inmunológica mediada por óxido nítrico, interleucina-10 y TNF- α . El α -pineno (23.49%) fue el componente principal, con citotoxicidad detectada en altas concentraciones de verbeneno.

Bachheti et al., (2018), analizaron la composición química del aceite esencial de hojas de *S. molle* recolectadas en Etiopía, identificando 49 compuestos, incluyendo limoneno (18.23%), elemol (12.75%) y α -felandreno. Resaltaron compuestos exclusivos como elemol y espatulenol, no comunes en otros estudios.

Peña Caiza, (2018), evaluó el efecto antialimentario y la mortalidad en huevos, larvas y adultos del gusano blanco de la papa utilizando aceite esencial de *S. molle*. La dilución al 8% mostró la mayor eficacia, con alta mortalidad en adultos y larvas, además de inhibir un 80% la eclosión larval.

Arias P et al., (2017), analizaron la actividad insecticida e insectistática del polvo y aceite esencial de frutos de *S. molle* sobre *Sitophilus zeamais*. El aceite esencial al 8% causó la mayor mortalidad (96.3%) e inhibió completamente la emergencia de adultos (F1 0%). Además, presentó efectos repelentes y una inhibición alimentaria del 71.2% a mayor concentración.

López de la Cruz & Caso Orihuela, (2015), investigaron el rendimiento y la composición química de aceites esenciales de *S. molle* (hojas y frutos) y *Eucalyptus*

archeri. El rendimiento del aceite de hojas de *S. molle* fue del 0.214%, y se identificaron taninos, alcaloides, flavonoides, esteroides y terpenos, con distintas proporciones entre hojas y frutos.

Villegas-Ramírez, (2017), evaluó la efectividad larvica de aceites esenciales de diversas plantas, incluido *S. molle*, contra *Musca doméstica*. El Aceite Esencial de *S. molle* mostró una CL₅₀ baja (1232 ppm), siendo altamente efectivo y seguro según estándares internacionales, posicionándolo como un insecticida botánico viable.

Torres Quispe & Castro Ccoscco, (2016), analizaron la actividad insecticida de A.E de *Schinus molle*, *Eucalyptus globulus* y *Cymbopogon citratus* contra adultos de *Pagiocerus frontalis* bajo condiciones de laboratorio. Se utilizaron concentraciones de 1%, 2%, 3% y 4% de los aceites esenciales, y se midió la mortalidad a los 24, 48 y 72 horas. Aunque todos los aceites mostraron eficacia, el AE de *C. citratus* CL₅₀ de 1.20 tuvo la mayor mortalidad, mientras que *S. molle* presentó el efecto más bajo.

Plaza & Ricalde, (2015), determinaron los parámetros físico-químicos del AE de *Schinus molle* L. con el objetivo de evaluar su calidad, aplicando métodos y técnicas reconocidas a nivel internacional. El aceite extraído de las hojas mostró un pH entre 4,489 y 5,315; densidad en un rango de 0,872 a 0,931 g/cm³; y un índice de refracción a 20 °C de 1,476 a 1,484. En cuanto a su solubilidad, fue totalmente miscible en aceite mineral y etanol (en concentraciones de 70%, 75%, 80%, 85%, 90% y 95%), mientras que en agua presentó una miscibilidad parcial a 20 °C. Al comparar estos resultados con los reportados en estudios similares realizados en Perú y Argentina, se observó una notable correspondencia en los parámetros físico-químicos del *schinus molle*.

Bendaoud et al., (2010), estudiaron las propiedades antioxidantes, antirradicalarias y anticancerígenas de AE de *S. molle* y *S. terebinthifolius*. Identificaron 57 y 62 compuestos químicos, como α -felandreno y β -pineno. El AE de *S. terebinthifolius*

tuvo mayor actividad antioxidante y anticancerígena contra células MCF-7 en comparación con *S. molle*. La composición química influye en las actividades biológicas.

2.3.2. Antecedentes de la investigación de *Tanacetum parthenium* L.

Lechkova-Borislava et al., (2024), analizaron la composición química del aceite esencial de *T. parthenium* de dos regiones búlgaras. Los aceites, extraídos por hidrodestilación, mostraron predominio de monoterpenos oxigenados, seguidos por hidrocarburos monoterpénicos. Las muestras variaron significativamente: en las montañas Ródope, los principales componentes fueron alcanfor (50,90%), canfeno (16,12%) y acetato de bornilo (6,05%), mientras que en los Balcanes centrales destacaron alcanfor (45,54%), acetato de crisantenilo trans (13,87%) y canfeno (13,03%).

Stojković et al., (2024), evaluaron los efectos farmacológicos del monoterpeno carveol, aislado del aceite esencial de *T. parthenium*, como tratamiento para nematodos resistentes a antihelmínticos. En *Caenorhabditis elegans* y *Ascaris suum*, el carveol mostró efectos nicotínicos y muscarínicos, causando parálisis y alterando contracciones inducidas por acetilcolina. En mamíferos, presentó efectos duales en el sistema neuromuscular, sugiriendo aplicaciones pre y postsinápticas según la concentración.

Végh et al., (2016), desarrollaron un método robusto de cromatografía de fluidos supercríticos de ultra-alto rendimiento (UHPSFC) para cuantificar alcanfor en el aceite esencial de *T. parthenium*. Validaron el método por su precisión, especificidad y robustez, analizando aceites esenciales de colecciones húngaras. Este enfoque proporciona una herramienta cuantitativa confiable para caracterizar los constituyentes del aceite volátil de la planta.

Sharopov et al., (2015), evaluaron el aceite esencial, extraído por hidrodestilación y analizado mediante GC-MS, presentó una composición dominada por alcanfor (69.7-

94.0%), canfeno (1.7-12.2%) y acetato de bornilo (4.2-8.7%). Mostró actividad antioxidante (CI_{50} de 4.82 mg/ml en DPPH y 0.96 mg/ml en ABTS) y moderada inhibición de peroxidación (37.1% con 1.125 mg/ml). En pruebas citotóxicas, presentó valores de CI_{50} de 158.6 μ g/ml (HeLa), 69.5 μ g/ml (CCRF-CEM) y 83.9 μ g/ml (CEM/ADR5000). También inhibió la 5-lipoxigenasa con un CI_{50} de 21.6 mg/ml, indicando una limitada actividad antiinflamatoria.

Izadi et al., (2013), analizaron el aceite esencial de brotes de *T. parthenium*, identificando 35 compuestos principales, entre ellos alcanfor (45%), acetato de crisantenilo (21.5%) y canfeno (9.6%). El aceite mostró fuerte actividad antifúngica y superior eficacia frente a bacterias grampositivas y hongos en comparación con vancomicina y anfotericina B.

De Pooter et al., (2011), evaluaron la fracción volátil de *T. parthenium*, destacando alcanfor (44%) y acetato de trans-crisantenilo (23%) como componentes principales. Además, identificaron variabilidad química en aceites esenciales de *T. vulgare*, clasificando tres tipos químicos dominados por β -tujona, acetato de crisantenilo trans y alcanfor. Un experimento menor reveló actividad repelente de mosquitos, aunque menos efectiva que una preparación comercial con dietiltoluidina.

Mohsenzadeh et al., (2011), examinaron el aceite esencial extraído en tres etapas de desarrollo, identificando 29 componentes, con el alcanfor (18.94%) como principal durante la floración. La actividad antibacteriana mostró una concentración inhibitoria mínima (CIM) entre 4 μ L/mL (*Staphylococcus subtilis*) y 38 μ L/mL (*Enterobacter aerogenes*). En células THP-1, el aceite no fue significativamente tóxico a concentraciones de 5-15% v/v.

Pavela et al., (2010) evaluaron extractos con CO_2 y aceite esencial de *T. parthenium* en larvas de *Spodoptera littoralis*. Los extractos ricos en terpenoides

mostraron mayor efectividad como antifeedantes e inhibidores del crecimiento, superando el aceite esencial.

Polatoglu et al., (2010), compararon aceites esenciales de dos localidades turcas, destacando diferencias en su composición. El aceite de Davutpaşa contenía alcanfor (49%), acetato de trans-crisantenilo (22.1%) y canfeno (9.4%), mientras que el de Savşat-Ardahan tenía alcanfor (60.8%) y canfeno (6.8%). El aceite de Davutpaşa mostró mayor actividad antioxidante y antibacteriana contra *B. subtilis* y *S. aureus* resistente a meticilina, mientras que el de Ardahan destacó contra *S. aureus*.

Mojab et al., (2007), analizaron las raíces y rizomas de *T. parthenium*, identificando 20 componentes principales (92% del aceite esencial). Los principales fueron alcanfor (30.2%), (Z)-acetato de crisantenilo (26.5%), α -farneseno (11.1%) y espatulenol (8.2%). Este aceite esencial tiene aplicaciones en la medicina tradicional iraní como digestivo.

Akpulat et al., (2005), estudiaron las partes aéreas de *T. argyrophyllum* y *T. parthenium*, obteniendo AE con rendimientos del 0.78% y 0.43% (v/w), respectivamente. Identificaron 22 componentes en *T. argyrophyllum*, con cis-tujona (69.9%) como principal, y 23 en *T. parthenium*, destacando alcanfor (56.9%) y canfeno (12.7%).

Hendriks et al., (1996), analizaron el aceite esencial de *T. parthenium* de Inglaterra y los Países Bajos, identificando alcanfor y acetato de crisantenilo como principales constituyentes. Durante el desarrollo de la planta, observaron un aumento en el porcentaje de alcanfor (28% a 48%) y una disminución del acetato de crisantenilo (30% a 22%). Destacaron la ausencia de monoterpenos tóxicos α - y β -tujona, lo que respalda el uso seguro de la planta como profiláctico contra la migraña.

2.4.Hipótesis.

Hipótesis general.

Los aceites esenciales de *Schinus molle* L. y *Tanacetum parthenium* L. contienen metabolitos secundarios ricos en monoterpenos, sesquiterpenos y fenilpropanos los cuales les confieren un efecto insecticida sobre *Pagiocerus frontalis*, depredador del maíz.

Hipótesis específicas.

1. Los aceites esenciales de *Schinus molle* L. y *Tanacetum parthenium* L. presentan un rendimiento superior al 1% mediante hidrodestilación con trampa de Clevenger.
2. Estos aceites esenciales cumplen con parámetros fisicoquímicos de calidad.
3. Mediante cromatografía de gases y espectrometría de masas, se identifican monoterpenos, sesquiterpenos y fenilpropanos con propiedades insecticidas, cuya composición varía según factores ambientales.
4. Los aceites esenciales de *Schinus molle* L. y *Tanacetum parthenium* L. presentan efecto insecticida sobre *Pagiocerus frontalis*.

2.5.Identificación de variables e indicadores.

Las variables e indicadores utilizados para evaluar el efecto insecticida de aceites esenciales de *Schinus molle* L. y *Tanacetum parthenium* L. sobre *Pagiocerus frontalis* L. (gorgojo de maíz) se detallan en la tabla 3 (anexo).

CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación: Descriptivo y Experimental.

La fase descriptiva, considera métodos, técnicas de laboratorio, para la determinación de parámetros fisicoquímicos, composición química de aceites esenciales de *Schinus molle* y *Tanacetum parthenium*.

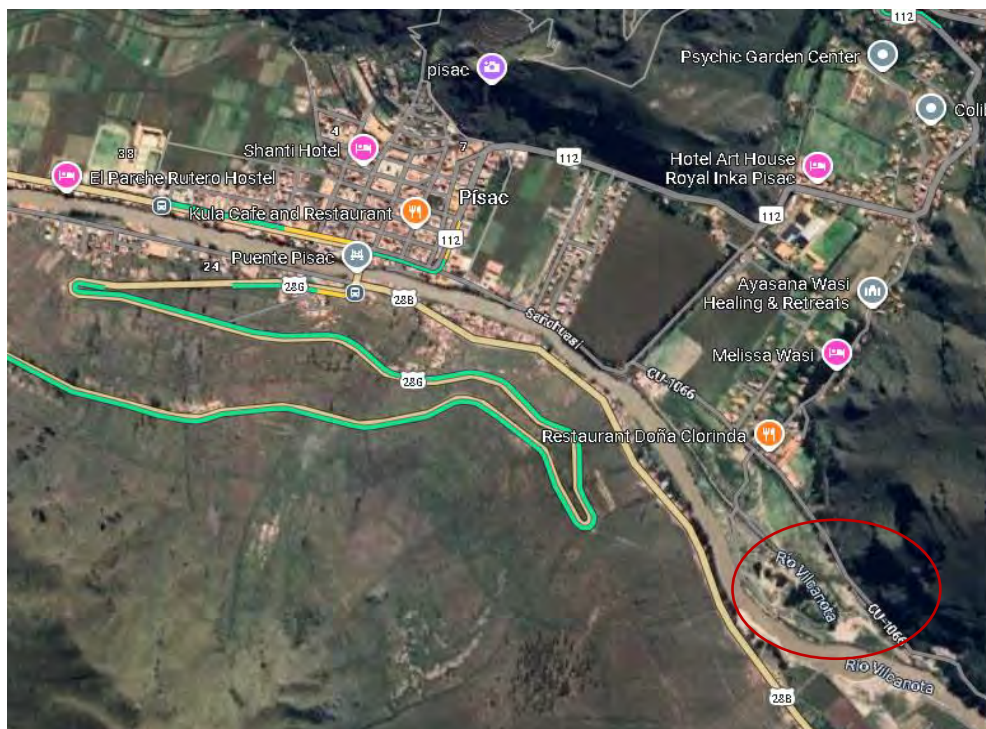
La fase experimental, establece una correlación causa-efecto entre las variables independientes y la variable dependiente.

3.2. Ubicación geográfica.

Distrito de Pisac – Provincia de Calca – Departamento de Cusco.

Figura 14

Mapa de ubicación del lugar de muestreo de S. molle en el distrito de Pisac, provincia de Calca, región Cusco.

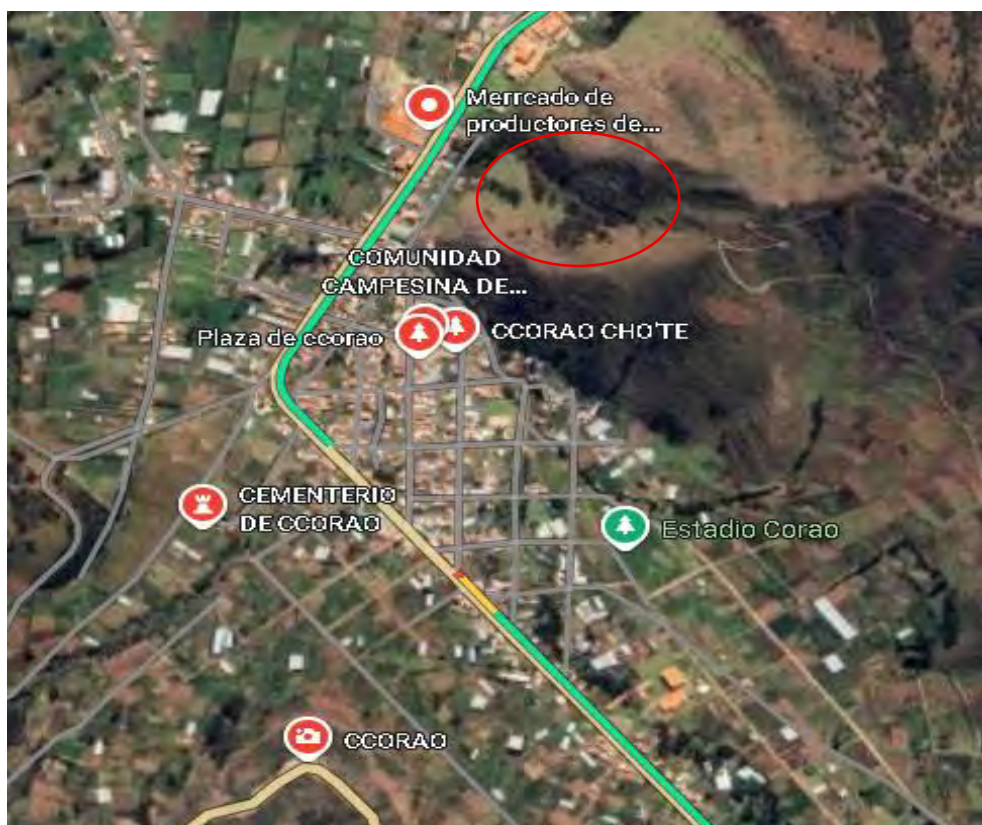


Fuente: Google maps

Distrito de San Sebastián – Provincia de Cusco – Departamento de Cusco

Figura 15

*Mapa de ubicación del lugar de muestreo de *T. parthenium* en el Centro Poblado de Ccorao, distrito de San Sebastián.*



Fuente: Google maps

3.3.Población.

Arboles de *Schinus molle* L. y plantas herbáceas de *Tanacetum parthenium* L.

3.4.Muestra.

Se recolectaron tallos tiernos, hojas y flores frescas de plantas sanas en etapa de floración, priorizando muestras maduras y fisiológicamente óptimas, para las dos especies.

3.5.Procedimiento del desarrollo de la investigación.

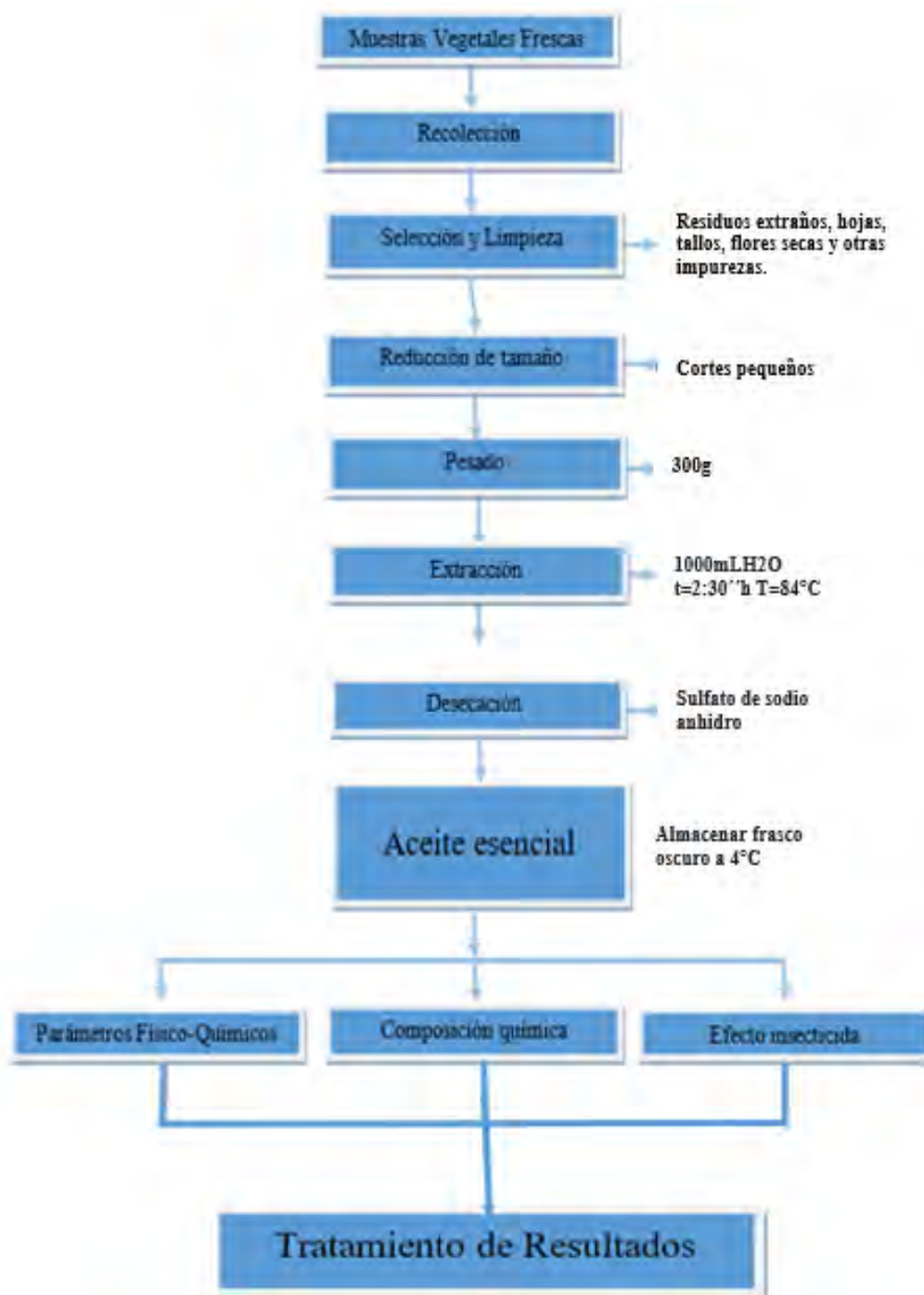
El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en diversas etapas secuenciales que permitieron cumplir los objetivos propuestos.

3.5.1. Diagrama de actividades.

A continuación, se presenta el diagrama de actividades Figura 16 que muestra de manera esquemática las principales fases y procedimientos desarrollados durante la investigación.

Figura 16

Protocolo de investigación.



Fuente: Propia

3.5.2. *Materiales y reactivos*

- **Materiales de vidrio:**

- Fiolas volumétricas 25 mL.
- Frascos de vidrio oscuros 10mL
- Micropipetas automáticas de 1, 2 μ L.
- Picnómetro de vidrio de 10 mL.
- Pipetas Pasteur 1 mL.

- **Reactivos:**

- Etanol absoluto
- Éter etílico. Hexano (Q.P)
- Sulfato de sodio anhidro (Q.P. Sigma)
- Tween 80.

- **Equipos:**

- Balanza analítica.
- Destilador de agua.
- Equipo de hidrodestilación con trampa de Clevenger.
- Equipo de cromatografía de gases (Modelo Agilent Technologies 6890N Network GC Sistema) acoplado a un espectrómetro de masas (Modelo Agilent Technologies 5973B Inter XL EI/CI MSD).
- Polarímetro Rudolpp Research Analytical Autopol I.
- Refractómetro Abbe.Refrigeradora.

- **Otros materiales:**

- Bolsas de plástico para colección de la muestra.
- Dispositivo móvil.
- Libreta de notas virtuales. Lupa.

- Lupa.
- Marcador (MULTIMARK)
- Papel filtro circular de 8 cm. de filtración rápida Whatman.
- Recipientes de polietileno (Táperes de plástico 8.5cm x 2 cm)
- Tijeras podadoras.

3.5.3. *Muestreo*

La recolección de *S. molle* se realizó en febrero, en las orillas del río Vilcanota, del distrito de Pisac, provincia de Calca, departamento del Cusco (13°25'16" S, 71°51'2" O, 2974 m.s.n.m.). Se seleccionaron las partes aéreas de árboles sanos de aproximadamente tres años (2 m de altura) utilizando un muestreo intencionado, priorizando especímenes en etapa de floración. (Rodríguez et al., 2012).

La recolección de *T. parthenium* también se realizó en febrero, en sectores apartados cercanos a riachuelos de la comunidad de Ccorao, distrito de San Sebastián, Cusco (13°28'41.5" S, 71°55'22" O, 3618 m.s.n.m.).

Las muestras recolectadas fueron transportadas envueltas en papel craf en bolsas oscuras de polietileno al Laboratorio de Bioquímica de la Facultad de Ciencias Químicas, Físicas y Matemáticas, evitando la exposición a la luz.

3.5.3.1. Extracción de aceites esenciales de *Schinus molle* y *Tanacetum parthenium*.

Se extrajo los aceites esenciales de *Schinus molle* L. y *Tanacetum parthenium* L. mediante el método de hidrodestilación por arrastre de vapor con Trampa de Clevenger Figura 17, de acuerdo con el procedimiento descrito y reportado por Pino (2015).

Con el siguiente procedimiento:

1. Para cada extracción, se pesaron 300 g de material vegetal fresco (hojas, tallos tiernos y flores en proporción representativa), sin impurezas, los cuales fueron

trozados y colocados en un balón de fondo redondo de una capacidad de 2 litros, previamente conectado al sistema de hidrodestilación

2. Se adicionaron 1000 mL de agua destilada, asegurando una adecuada inmersión del material vegetal.
3. El sistema fue armado con un refrigerante vertical de reflujo y una trampa de Clevenger, la cual permite la recolección continua del aceite esencial por diferencia de densidad.
4. La mezcla se sometió a hidrodestilación por arrastre de vapor de agua utilizando una trampa de Clevenger y el proceso duró 2 horas y 30 minutos, manteniendo una temperatura constante de 84°C. mediante el uso de una manta calefactora con control termostático.
5. Durante la destilación, los vapores del agua penetran los tejidos del material vegetal y el aceite esencial, se encuentran como una mezcla de vapor de agua y aceite esencial, los cuales fueron arrastrados del balón, hasta el refrigerante, donde son refrigerados, por enfriamiento, ambos se condensaron y separaron porque son inmiscibles y caen directamente a la trampa de Clevenger,
6. EL aceite esencial acumulado, se determinando el volumen en la escala graduada de la trampa de Clevenger; y luego el aceite esencial fue recolectado con una pipeta Pasteur, y transferido a viales ámbar herméticos y almacenado a 4 °C hasta su análisis posterior. Finalmente, el aceite esencial, extraído se deshidrato con sulfato de sodio anhidro para eliminar la humedad residual (3.1).

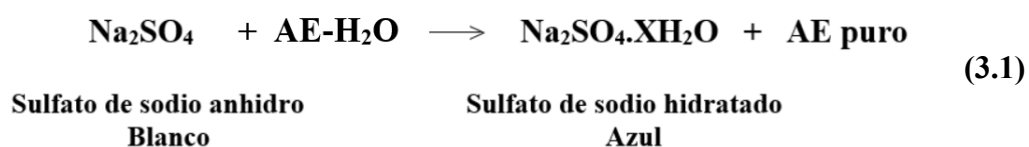
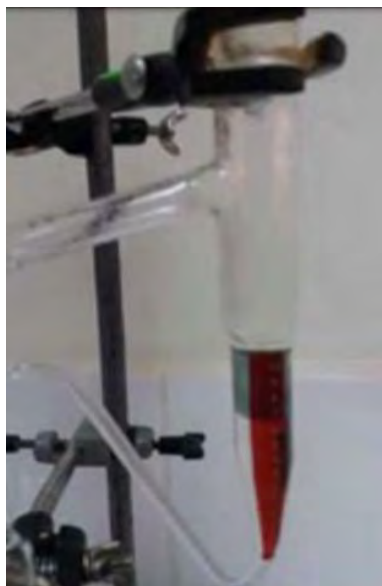


Figura 17*Trampa de Clevenger.*

La extracción del AE se realizó por triplicado y se calculó el % de extracción, en base al peso fresco de la muestra, mediante la Fórmula 3.2

$$\% \text{ Extracción de aceites esenciales} = \frac{V}{M} * 100 \quad (3.2)$$

Donde:

V = Volumen del aceite esencial (mL)

M = Peso del material vegetal fresco (g)

3.5.3.2. Evaluación de los parámetros fisicoquímicos.

Los parámetros fisicoquímicos evaluados fueron la densidad, rotación óptica, índice de refracción, de los aceites esenciales de *S. molle* y *T. parthenium*. Estos análisis se realizaron siguiendo normas estandarizadas INDECOPI, INACAL y CODEX alimentario, reportado por (Plaza & Ricalde, 2015)

❖ **Determinación de la densidad relativa.**

- Método: Picnómetro, unidad g/cm³ (ρ).
- Norma: INDECOPI 319.084
- Fundamento: El picnómetro es un dispositivo de medición con un volumen preestablecido. En este método establece una relación entre la masa y el volumen del aceite esencial al compararlo con la masa de un volumen equivalente de agua destilada a 20°C, utilizada como referencia.
- Procedimiento:
 1. Se determina el peso del picnómetro, se llena con agua destilada, asegurándose de evitar la formación de burbujas de aire.
 2. Se sumerge en un baño de agua a 20°C durante 30 minutos, controlando la temperatura. Después, se enrasa la rama capilar del picnómetro con agua destilada a la misma temperatura y se tapa. Luego, se extrae del baño, se limpia, se seca y se determina su peso.
 3. Posteriormente, se vacía el picnómetro, se lava con etanol, se seca y se llena con el aceite esencial y se repite el procedimiento anterior y finalmente pesar el picnómetro lleno con el aceite esencial.
 4. Para determinar la densidad, se pesa el picnómetro vacío y se anota el peso (P) utilizando una balanza analítica.
- Cálculo de la densidad (ρ) en gramos por mililitro, fue utilizando la Fórmula 3.3:

$$\rho = \frac{P^* - P}{V} \quad (3.3)$$

Donde:

P = Peso en gramos del picnómetro vacío.

P* = Peso en gramos del picnómetro lleno con aceite.

V = Volumen del aceite a 20°C

❖ **Determinación de la rotación óptica.**

- Método: Polarímetro.
- Norma: INDECOPI 319.076
- Fundamento: La rotación óptica o poder rotatorio, es la capacidad de una sustancia para desviar la luz polarizada, expresada en grados y considerada una propiedad única de cada aceite esencial. Se basa en la rotación del plano de polarización de un rayo de luz polarizada al atravesar una sustancia ópticamente activa. Esta rotación se describe mediante un ángulo α , que representa la diferencia entre los planos de polarización del haz incidente y el haz emergente, conocido como ángulo de rotación óptica. Este parámetro se evaluó mediante el uso de un polarímetro.
- Procedimiento:
 1. Se prepararon soluciones de aceite esencial al 1% en etanol absoluto.
 2. Se calibró el polarímetro utilizando etanol absoluto.
 3. Se llenó el tubo del polarímetro (1 dm de longitud y capacidad de 10 mL) con la solución de aceite esencial a 20°C.
 4. Se determinó la lectura de la rotación óptica en el polarímetro.

❖ **Determinación del índice de refracción.**

- Método: Refractómetro de Abbe.
- Norma: INDECOPI 319.081
- Fundamento: El I.R mide la capacidad de un medio, como un líquido o sólido transparente, para cambiar la dirección de propagación de la luz. Este índice se calcula como la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y su velocidad en el medio de interés, proporcionando información sobre las propiedades ópticas y

la composición del material. La determinación del I.R se basa en medir cómo un medio cambia la dirección de la luz que lo atraviesa. Esta medición se realiza utilizando técnicas de reflectometría con un refractómetro.

- Procedimiento:
 1. Se calibró el refractómetro ABBE con agua destilada, asegurando que la temperatura estuviera cercana a la de la medición.
 2. Se permitió la circulación de agua en el refractómetro para alcanzar la temperatura de 20°C.
 3. Se aplicó una gota de aceite esencial en los prismas del refractómetro.
 4. Se esperó a que la temperatura se estabilizara y se procedió a obtener la lectura del I.R usando el refractómetro de Abbe.

3.5.3.3.Determinación de composición química del aceite esencial de *S. molle* y *T.*

***Parthenium* por cromatografía de gases - espectrometría de masas.**

La composición de los compuestos volátiles presentes en los aceites esenciales de *S. molle* y *T. parthenium* se realizó utilizando el equipo de cromatografía de gases-espectrometría de masas (CG-MS), (Termo SCIENTIFIC, TRACE 1310, ISQ QD), en el Laboratorio de Fitoquímica de la Universidad Nacional de San Antonio abad del Cusco, con una columna capilar TG-5SILMS de diámetro interno 0.25 mm, 30 m de longitud. Los parámetros establecidos para el cromatógrafo de gases fueron:

- Temperatura del horno, se inició con una temperatura de 60 °C, con incremento gradual de 5 °C/min hasta temperatura final de 240 °C.
- Gas portador helio (99.999 % de pureza, INFRA®) con un flujo de 1 mL/min.
- Temperatura del inyector y detector 250 °C.
- Volumen de inyección 1 µL y una dilución de 1/1 en n-heptano.

Una vez, separada los componentes de los aceites esenciales en el cromatógrafo, inmediatamente se obtuvo los espectros de masas de cada uno de los componentes. Los parámetros establecidos en el equipo espectrometro de masas, fueron:

- Temperatura de la fuente 230°C
- Temperatura del cuádruplo 150°C
- Energía de ionización 70eV
- Rango de masas 40-400 m/z

El contenido porcentual de cada componente de los aceites esenciales. Se determino en los cromatogramas obtenidos, integrando el área bajo el pico, altura, ancho y **tiempo de retención** en comparación con la sumatoria del área total de los picos del cromatograma. Los componentes de los aceites esenciales en el perfil cromatográfico fueron identificados por comparación con la base de datos de la librería Flavor 2L NIST11.

3.5.3.4.Evaluación del efecto insecticida de aceites esenciales de *S. molle* y *T.*

***Parthenium* sobre *Pagiocerus frontalis*.**

❖ Muestreo de la especie biológica *Pagiocerus frontalis*.

Para obtener muestras de gorgojos de maíz (*Pagiocerus frontalis*), se realizó una reproducción de gorgojos in vitro, controlada en laboratorio. En un contenedor de plástico cubierto con organza para garantizar aireación, se almacenó 10 kg de maíz variedad blanco gigante del Cusco, como sustrato alimenticio para el insecto, sobre este, se colocó gorgojos de maíz infestado, proveniente de la Granja Kayra-Escuela Profesional de Agronomía de la Universidad Nacional de San Antonio abad del Cusco, que sirvió como fuente inicial. Los gorgojos se manipularon a las condiciones de laboratorio a $17 \pm 2^\circ\text{C}$ de temperatura y $63 \pm 5 \%$ de humedad relativa. Durante este proceso, el contenedor fue

removido cada cinco días para evitar organismos patógenos. Después de 30 días, se obtuvieron los gorgojos, que se seleccionó aleatoriamente, sin distinción de sexo para la prueba de evaluación del efecto insecticida.

❖ Evaluación del efecto insecticida

La evaluación del efecto insecticida de los aceites esenciales de *Schinus molle* L. y *Tanacetum parthenium* L. sobre *Pagiocerus frontalis*, se realizó mediante el método de impregnación en papel filtro, de acuerdo con lo reportado por (Taponjdjou et al., 2005) y adaptado por (Aragón Alencastre, 2016; Polatoglu et al., 2015). Este método permite evaluar la toxicidad por contacto directo y exposición prolongada en un sistema cerrado.

Para ello, se prepararon emulsiones de los aceites esenciales en agua destilada con Tween 80 al 0.2 %, estas soluciones se dejaron caer en toda la superficie de discos de papel filtro Whatman N° 1 de 8 cm de diámetro, sobre los cuales se aplicó 1.0 mL de cada emulsión hasta su completa impregnación, colocados en la base de recipientes de polietileno de 8.5 cm de diámetro y 2 cm de altura. Cada recipiente fue herméticamente cerrado con tapas perforadas y recubiertas con tela porosa para permitir la circulación del aire sin escape del compuesto volátil.

Se colocaron emulsión de aceite esencial de concentraciones diferentes para cada especie vegetal, debido a variaciones en su composición química y potencia insecticida: para *S. molle*, se ensayaron concentraciones de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 5.0 % v/v; para *T. parthenium*, se aplicaron concentraciones de 0.05, 0.10, 0.25, 0.30 y 0.40 % v/v. Seguidamente en cada tratamiento se introdujeron aleatoriamente 10 gorgojos de maíz (*Pagiocerus frontalis*), repitiéndose el ensayo tres veces por tratamiento.

Se incluyeron dos controles: un control negativo el blanco (papel impregnado con emulsión de Tween 80 al 0.2 % en agua destilada) y un control positivo el patrón con

el insecticida sintético Gastión, a la dosis recomendada por el fabricante. La evaluación de la mortalidad se realizó en diferentes tiempos de exposición (4, 12, 24 y 48 horas), considerando como insecto muerto a aquel que se encontraba de espaldas, inmóvil y sin respuesta al tacto.

El porcentaje de mortalidad se calculó comparando cada tratamiento con el control negativo. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis estadístico y se estimó la CL_{50} (concentración letal media), es decir, la concentración capaz de provocar la muerte del 50 % de los insectos expuestos. Este valor fue determinado mediante regresión probit, que permite ajustar los datos de mortalidad a un modelo logarítmico, incluso cuando la mortalidad observada no coincide exactamente con el 50 %.

3.6. Diseño experimental del efecto insecticida.

El diseño experimental que se empleó, fue post-prueba y grupo control, para evaluar el efecto insecticida de aceites esenciales de *S. molle* y *T. parthenium* sobre *Pagiocerus frontalis*. La estructura del diseño se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4

Diseño experimental del efecto insecticida de aceites esenciales de Schinus molle y Tanacetum parthenium sobre Pagiocerus frontalis.

Grupo	Tratamiento experimental	14 horas	12 horas	24 horas	48 horas
G1	X1	O1-1	O1-2	O1-3	O1-4
G2	X2	O2-1	O2-2	O2-3	O2-4
G3	X3	O3-1	O3-2	O3-3	O3-4
G4	X4	O4-1	O4-2	O4-3	O4-4
G5	X5	O5-1	O5-2	O5-3	O5-4
G6	X1'	O6-1	O6-2	O6-3	O6-4
G7	X2'	O7-1	O7-2	O7-3	O7-4
G8	X3'	O8-1	O8-2	O8-3	O8-4

G9	X4'	O9-1	O9-2	O9-3	O9-4
G10	X5'	O10-1	O10-2	O10-3	O10-4
G11	Blanco	O11-1	O11-2	O11-3	O11-4
G12	Patrón	O12-1	O12-2	O12-3	O12-4

Donde:

- G: Representa los grupos experimentales, cada uno compuesto por 10 insectos de *Pagiocerus frontalis*, asignados de manera aleatoria.
- X: Corresponde a los tratamientos aplicados, con aceite esencial de *S. molle* administrado a diferentes concentraciones
- X': Corresponde a los tratamientos aplicados, con aceite esencial de *T. parthenium*, emulsificados con Tween 80 al 0.2 % y administrados a diferentes concentraciones.
- O: Indica las observaciones realizadas a los insectos en intervalos de tiempo de 4, 12, 24 y 48 horas.
- Blanco: Hace referencia al control experimental, consistente en una solución de Tween 80 (polioxietileno sorbitano) al 0.2 %.
- Patrón: Se utilizó Fosfamina ó Gastión (insecticida sintético).

3.7. Técnicas de análisis e interpretación de la información.

El análisis estadístico del efecto insecticida de los aceites esenciales de *Schinus molle* y *Tanacetum parthenium* se realizó con el Programa de BioStat 2009 Profesional, aplicando el modelo Análisis Próbit según el Método de Finney [Distribución Lognormal] para determinar la Concentración Letal Media (CL₅₀), que mata al 50% de los insectos de *P. frontalis*. Este modelo log-lineal es ideal para datos de tipo dosis-respuesta y emplea estadística cuantitativa, adecuada para bioensayos, ya que evalúa el estímulo necesario para provocar una respuesta en un porcentaje definido de la población. La CL₅₀ es un parámetro clave en este análisis.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Del Porcentaje de extracción de los aceites esenciales.

Los resultados obtenidos de los porcentajes de extracción de los aceites esenciales de *Schinus molle* L. y *Tanacetum parthenium* L. permiten evaluar la eficiencia de extracción del aceite esencial obtenido por el método de hidrodestilación por arrastre de vapor con trampa de Clevenger, en términos de volumen en mililitros (ml), por unidad de peso en gramos (gr) con (n= 3) tres repeticiones y el promedio ($\bar{X}$) con su respectiva desviación estándar ($\pm D.S$) de muestras vegetales frescas, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5

*Rendimiento del porcentaje de extracción de los AE
de Schinus molle L. y Tanacetum parthenium L.*

Especie vegetales	% en p/v
	$\bar{x} \pm D.S$
<i>Tanacetum parthenium</i> L.	0.74 $\pm$ 0.7
<i>Schinus Molle</i> L.	0.83 $\pm$ 0.14

Nota: Obtenido del promedio de tres repeticiones

En la Tabla 5, se observa que el rendimiento de extracción de aceites esenciales expresado por promedio del porcentaje peso/volumen (% p/v) para *Schinus molle* es de **0.83%**, superior al de *Tanacetum parthenium*, que presenta un rendimiento de **0.74%**. Estos valores están dentro del rango esperado para especies aromáticas, lo cual respalda la eficiencia del proceso de extracción aplicado. Comparando estos resultados con la

literatura, (Juárez Roldan, 2020) reportaron un rango de rendimiento de aceites esenciales entre **0.35%** y **1.85%** en raíces y **0.10%** - **1.10%** en la parte aérea, lo que muestra que los rendimientos obtenidos en el presente trabajo para *S. molle* y *T. parthenium* se encuentran dentro de este intervalo. Asimismo, estudios previos corroboran la variabilidad en los rendimientos de extracción de aceites esenciales según las especies y métodos empleados. Aragón (2016) reportó un rendimiento de **0.68%** para *Eucalyptus globulus*, mientras que (Tomaylla Cruz, 2018) encontró un rendimiento de **0.73%** para *Mentha piperita*, valores que también son comparables con los obtenidos en este estudio. (Murrieta-Dionicio et al., 2023) obtuvieron un rendimiento para *S. molle*, de **0.6%** mediante destilación por arrastre de vapor, un valor inferior al alcanzado con la trampa de Clevenger en este trabajo. Por otro lado, López de la Cruz & Caso Orihuela, (2015) reportaron un rendimiento aún menor **0.214%** para *S. molle* utilizando el mismo método de arrastre de vapor.

En cuanto a *T. parthenium*, (Akpulat et al., 2005) documentaron un rendimiento de **0.43%**, también por arrastre de vapor, inferior al obtenido mediante la hidrodestilación con trampa de Clevenger. Así mismo, Pino (1996) señaló que el método de hidrodestilación con trampa de Clevenger tiende a producir mayores rendimientos de aceite esencial en comparación con otros métodos de extracción, debido a que esta destilación se realiza en un sistema cerrado.

4.2. De los parámetros físico-químicos de los aceites esenciales.

Los parámetros fisicoquímicos evaluados para los aceites esenciales de *S. molle* y *T. parthenium* fueron; los aspectos organolépticos, la densidad, rotación óptica e índice de refracción. Los valores obtenidos corresponden al promedio de tres repeticiones para cada parámetro, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6*Parámetros físico-químicos de AE de S. molle L. y T. parthenium L.*

Parámetros	<i>Schinus molle</i>	<i>Tanacetum parthenium</i>
Físico-químicos		
Aspecto físico	Líquido claro oleoso	Líquido claro oleoso
Color	Transparente	Amarillo pálido Transparente
Olor	Característico	Característico
Densidad (g/cm ³)	0.9059	0.9293
Rotación óptica (°)	1.4766	1.3904
Índice de refracción a 20°C	1.48	1.4008

Densidad (g/cm³).

Los resultados de la tabla 6, muestran la diferencia de densidades entre los aceites esenciales de *T. parthenium* (**0.9293 g/cm³**) y *S. molle* (**0.9059 g/cm³**) es mínima. Estos valores de densidad podrían estar relacionados a la presencia de compuestos volátiles pesados lo que coincide con observaciones realizadas por (De Pooter et al., 2011), quienes reportaron variaciones en la densidad de aceites esenciales según la composición química específica de cada especie. (Plaza & Ricalde, 2015) encontró una densidad en un rango de **0,872 a 0,931 g/cm³** para el *S. molle* de Bolivia. Además, según estudios de Pino (1996) sobre aceites esenciales de plantas aromáticas tropicales, los valores de la densidad están dentro del rango, de **0.85 g/cm³ y 1.00 g/cm³**.

Rotación óptica (°)

La rotación óptica obtenida para *S. molle* fue de **1.4766°**, mientras que para *T. parthenium* fue de **1.3904°**. La desviación óptica es un parámetro indicativo de la actividad óptica de los compuestos presentes en el aceite esencial, especialmente los terpenos. En estudios previos, (Martínez et al., 2015) reportaron valores de rotación óptica

entre **1.40° y 1.50°** para aceites esenciales ricos en monoterpenos, lo cual es consistente con los resultados obtenidos para *S. molle*. Esto sugiere una ligera mayor presencia de monoterpenos en *S. molle* en comparación con *T. parthenium*.

Índice de refracción a 20°C

El índice de refracción de *S. molle* a 20°C es de **1.48**, mientras que el de *T. parthenium* es **1.4008**. Este parámetro está relacionado con la pureza y la concentración de los componentes en los aceites esenciales (Juárez Roldan, 2020), en las investigaciones realizadas, sobre aceites esenciales de plantas medicinales, los índices de refracción oscilaron entre **1.45 y 1.50** para especies con alta concentración de monoterpenos (Cárdenas López, 2014). También Plaza & Ricalde, (2015) determinaron el índice de refracción a 20 °C para el *S. molle* de **1,476 a 1,484**. Por lo tanto, el valor de *S. molle* se encuentra en el rango superior, lo que sugiere una mayor concentración de estos compuestos en comparación con *T. parthenium*, que presenta un índice de refracción ligeramente más bajo. Estos resultados son consistentes con investigaciones previas que reportan variaciones en estos parámetros según la composición química de cada especie (Llanos Arapa, 2012; Onyegbula et al., 2019).

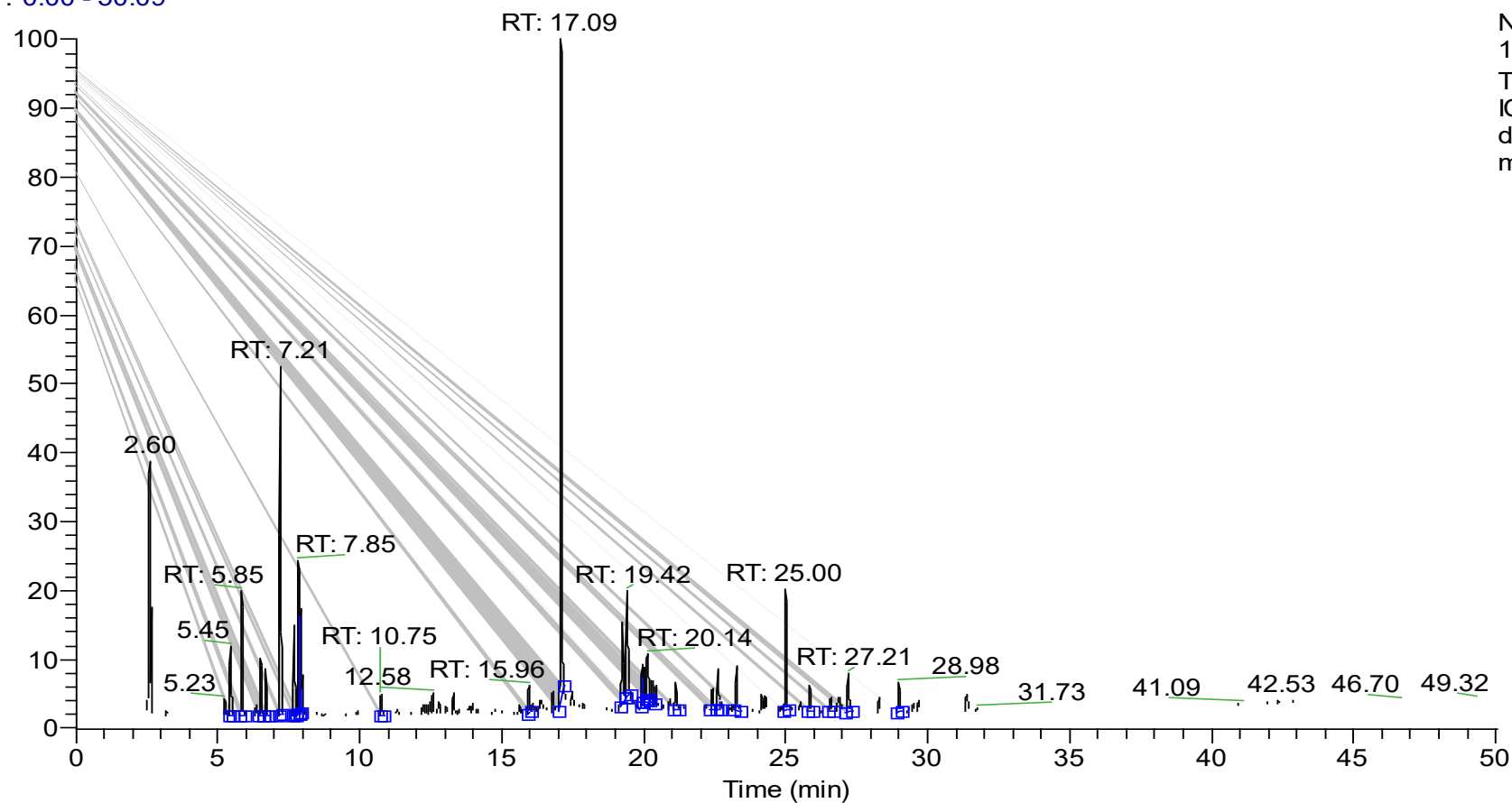
4.3.De la composición química de los aceites esenciales de *S. molle* L. y *T. parthenium* L.

Los perfiles cromatográficos por (GC-MS) muestran la composición química cualitativa y cuantitativa de AE de *S. molle* y *T. parthenium*, se presentan en las Figuras 18 y 20, donde los cálculos del porcentaje de abundancia, son calculados como se describe en materiales y métodos (**Capítulo III**), estos perfiles proporcionan un desglose detallado de los componentes identificados. Del aceite esencial de ***S. molle*** el perfil cromatográfico, se muestra en la figura 18.

Figura 18

Perfil Cromatográfico GC-MS de la Composición química de las partes aéreas del aceite esencial de Schinus molle L.

RT: 0.00 - 50.09



NL:
1.92E8
TIC MS
ICIS
data01_19
mollefar

Nota. La figura muestra la abundancia relativa frente tiempo de retención (min).

El cromatograma Figura 18, muestra 6 picos bien definidos, con sus respectivos tiempos de retención y porcentajes de abundancia, de un total de 26 picos donde 2 picos se encuentran en cantidades menores al 0.1%, posiblemente de monoterpenos, volátiles considerados no identificados. El pico prominente corresponde: **Cis-2,3-Pinanodiol**, un monoterpeno biciclo hidroxilado. Otros compuestos identificados fueron **α - felandreno**, **limoneno** hidrocarburos cíclicos con dobles enlaces aislados (electrones π disponibles) y el **α -canfeno**, **espatulanol** y **sabineno** se caracterizan por ser compuestos biciclicos con un doble enlace. El resultado de la composición química del aceite esencial de *S. molle*, son mostrados en la Tabla 7.

Tabla 7

Composición química del AE de S. molle. analizados por CG-MS.

Nº de Pico	Compuesto	RT	%
1	α - Pineno	5.45	2.86
2	α - Canfeno	5.85	5.19
3	β - Pineno	6.51	2.4
4	β - Mirceno	6.68	1.93
5	α - Felandreno	7.21	14.49
6	p- Cimenol	7.7	3.77
7	Limoneno	7.85	6.39
8	Sabineno	7.9	4.92
9	Ni	10.75	0.87
10	Acetato de bornilo	15.96	1.12
11	Cis-2,3-Pinanodiol	17.09	27.49

12	Trans-carveol	19.24	3.37
13	Cis-p-mentha-1(7),8-dien-2-ol	19.42	4.4
14	Dióxido de limoneno 4	19.96	1.61
15	3,6-dimetoxi-2-dietilbenzaldehído	20.01	1.4
16	Isopino-carveol	20.14	1.89
17	12-Metil- E, E-2,13-octdecadien-1-ol	20.29	0.9
18	Trans-p-Mentha-1(7), 8-dien-2-ol	21.13	1.14
19	Ni	22.42	1.14
20	γ – Elemeno	22.63	1.67
21	δ – Cadineno.	23.27	1.86
22	Espatulanol	25.00	5.01
23	Óxido de cariofileno	25.85	1.07
24	12,15-octadecadienoato de metilo	26.58	0.59
25	α - Cadinol	27.21	1.56
26	Óxido de edeno (II)	28.98	1.25
	% compuestos detectados		100
	Nº de picos detectados	26	
	Nº de compuestos identificados	24	
	Nº de compuestos no identificados	2	

Nota: RT= Tiempo de retención; % = porcentaje de abundancia relativa al área total, Nº de pico = Numero de picos detectados, ni = Compuesto no identificado por estar en menores proporciones al 0,1 % considerados como trazas.

Según los datos de la Tabla 7, se identificó **26 compuestos**, en el AE se *S. molle* destacando los que se encuentran en mayores concentraciones y como principales constituyentes: **cis-2,3-pinanodiol (27.49%)**, **α -felandreno (14.49%)**, **limoneno (6.39%)**, **α -canfeno (5.19%)**, **espatulanol (5.01%)** y **sabineno (4.92%)**; estos seis componentes mayoritarios, constituyen más del 50% de la composición total, pero también se considera la presencia de **p-cimeno (3.77%)**, **trans-carveol (3.37%)**, **α -pineno (2.86%)**, **δ -cadineno (1.86%)** y **β -mirceno (1.93%)**, para realizar la discusión de resultados en comparación con composición química de *Schinus molle* L. de diferentes países Tabla 8.

Tabla 8

Composición química del AE de S. molle L. de diferentes países.

Compuestos	Zamora, (2022) México	Apollo et al. (2018) Brasil	Bachheti et al. (2018) Etiopía	Hayouni et al., (2008) Túnez	Bendaoud et al., (2010) Túnez	Surco, (2024) Perú
α - Pineno	0.30	23.49	6.51	5.22	4.34	2.86
β - Pineno	-	6.09	0.09	15.68	4.96	2.4
α - Canfeno	-	-	0.04	-	-	5.19
β - Mirceno	28.73	0.83	4.03	-	-	1.93
α - Felandreno	18.85	-	10.4	35.86	46.52	14.49
p- Cimeno	-	0.25	6.7	5.43	2.49	3.77
Limoneno	37.77	9.02	18.23	-	-	6.39
Sabineno	-	11.36	0.24	-	-	4.92
Acetato de bornilo	-	-	-	-	-	1.12
Cis-2,3-Pinanodiol	-	-	-	-	-	27.49
Trans-carveol	0.24	-	-	-	-	3.37
Cis-p-mentha-1,8- dien-2-ol	-	-	-	-	-	4.4
Dióxido de limoneno	-	-	-	-	-	1.61

3,6-dimetoxi-2-dietilbenzaldehído	-	-	-	-	-	1.4
Isopino-carveol	-	-	-	-	-	1.89
12-Metil-E, E-2,13-octadecadien-1-ol	-	-	-	-	-	0.9
Trans-p-Mentha-1,8-dien - 2-ol	-	-	-	-	-	1.14
γ – Elemeno	-	-	0.48	-	-	1.67
δ – Cadineno.	7.67	-	3.54	-	-	1.86
Espatulanol	-	6.59	5.52	-	-	5.01
Óxido de cariofileno	0.21	0.25	0.66	-	-	1.07
12,15-octadecadienoato de metilo	-	-	-	-	-	0.59
α - Cadinol	4.86	-	0.35	-	-	1.56
Óxido de edeno (II)	-	-	-	-	-	1.25
Total, de componentes	12	33	22	5	8	26

De las tablas 7 y 8 los resultados encontrados en esta investigación evidencian una variación significativa en el perfil químico en comparación con estudios realizados en otras regiones geográficas. Por ejemplo, para la misma especie en México (Zamora Mendoza, 2022), con (12 compuestos identificados), reportó como principal componente el limoneno (37.77 %), el β -mirceno (28.73 %) y el α -felandreno (18.85 %). Estos hallazgos concuerdan con los componentes identificados en el presente trabajo, con una diferencia en % abundancia, el cual es mayor que en el presente estudio.

En Brasil (Duarte Jonathaline et al., 2018), el perfil cromatográfico del AE de *S. molle* fue más diverso (33 compuestos), con predominancia de α -pineno (23.49 %), sabineno (11.36 %), limoneno (9.02 %) y espatulenol (6.59 %), lo cual contrasta fuertemente con los

resultados del presente trabajo, donde el α -pineno solo alcanzó 2.86 %, sabineno estuvo presente en 4.92 %, el limoneno solo 6.39 % y espatulanol en 5.01%.

En Etiopía (Bachheti et al., 2018), los compuestos mayoritarios fueron limoneno (18.23 %) y α -felandreno (10.4 %), mientras que, en Túnez, (Hayouni et al., 2008) y (Bendaoud et al., 2010) reportaron un claro predominio del α -felandreno (35.86 % y 46.52 %, respectivamente), evidenciando una mayor similitud con los resultados obtenidos en la presente investigación en relación a este monoterpeno. También (Bachheti et al., 2018), en su trabajo de investigación para el aceite esencial del *S. molle* de Ethiopia reportaron, al cis-2,3-Pinanodiol (0.5%) con una concentración muy baja, en comparación con el identificado en el presente trabajo que para el cis-2,3-Pinanodiol estuvo presente en **27.49%** y además comparando con otros estudios realizados de las otras regiones geográficas, este compuesto no es reportado.

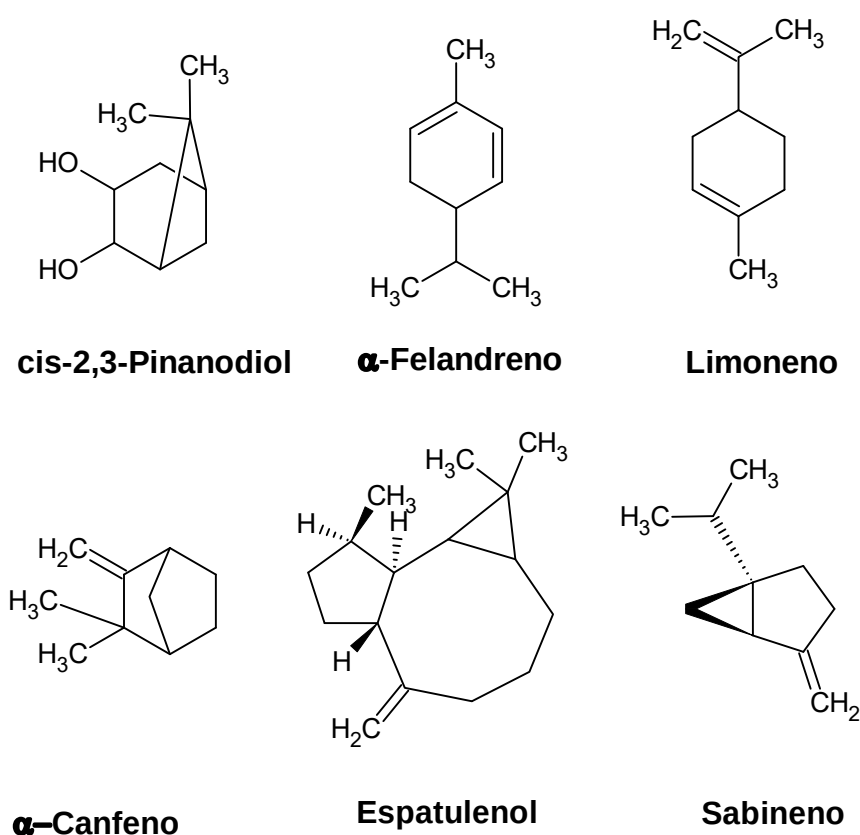
Estas diferencias en la composición pueden estar influenciadas por múltiples factores, como la altitud, clima, tipo de suelo, estado fenológico de la planta, método de extracción, condiciones de recolección e instrumento empleado (López et al., 2017). La menor proporción de limoneno y α -pineno en el aceite esencial del *S. molle* de la presente investigación, en comparación con otros estudios, podría estar relacionadas con las condiciones geográficas y climáticas locales particulares o diferencias en la madurez de la planta.

Es importante destacar la presencia de compuestos con actividad biológica reconocida, como el cis-2,3-Pinanodiol, δ -cadineno, óxido de cariofileno, α -cadinol y γ -elemeno, que podrían contribuir al efecto insecticida observado en los bioensayos contra *Pagiocerus frontalis*.

Además, la riqueza química observada en el presente trabajo con (26 compuestos identificados) es considerablemente superior a la reportada por (Hayouni et al., 2008) en Túnez (5 compuestos) y por (Bendaoud et al., 2010) (8 compuestos), lo que sugiere un perfil cromatográfico más complejo y potencialmente más activo en términos biológicos. La Figura 19 muestran las estructuras químicas de los 6 componentes mayoritarios del AE de *S. molle*.

Figura 19

Estructuras químicas de componentes mayoritarios del aceite esencial de Schinus molle L.

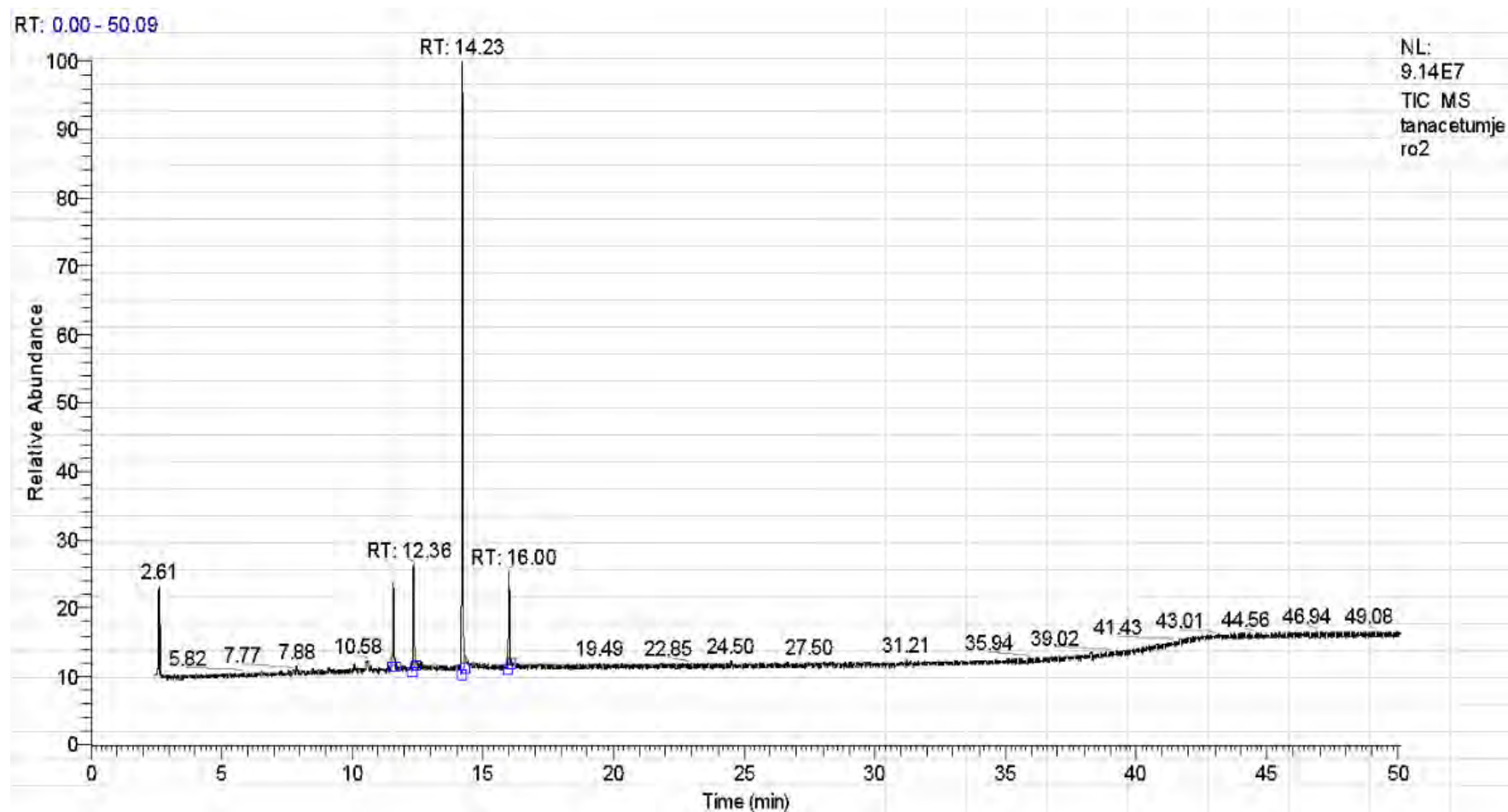


Nota: Estructuras elaboradas con el software ACD/ChemSketch (Freeware). Adaptado de Manual de química de aceites esenciales dō terra 2da edición editado por Dr. David K. Hill, D.C. (Hill, 2017).

Respecto al perfil cromatográfico de la composición química del aceite esencial partes aéreas de *Tanacetum parthenium L.* se presenta en la Figura 20, como se describe en materiales y métodos (**Capítulo III**) fueron calculados los porcentajes de abundancia, estos perfiles proporcionan un desglose detallado de los componentes identificados.

Figura 20

Perfil Cromatográfico GC-MS de la Composición química de las partes aéreas del aceite esencial de Tanacetum parthenium L.



Nota. La figura muestra la abundancia relativa frente tiempo de retención (min).

El cromatograma de la Figura 20, muestra 4 picos bien definidos, con sus respectivos tiempos de retención y porcentajes de abundancia, de un total de 15 picos donde 11 picos se encuentran en cantidades menores al 0.1%, posiblemente correspondientes a monoterpenos, sustancias muy volátiles en concentraciones de abundancia traza.

Destaca un pico prominente correspondiente al compuesto mayoritario: 2-ciclohexen-1-ol-2-metil-5-(1'-metiletenilo), conocido como **Carveol**, un monoterpeno oxigenado. Otros compuestos identificados fueron 1,7,7-trimetil-2-hidroxibiciclo [2.2.1] heptano conocido como **Borneol**, **acetato de isobornilo** y 1,7,7-trimetil-2-onabiciclo [2.2.1] heptano conocido como **Alcanfor**, que constituyen más del 99.61% de la composición total, como se observa en la Tabla 9.

Tabla 9

Composición química del AE de T. parthenium L. analizados por GC-MS.

N° de Pico	Compuesto	RT	%
1	Ni	5.82	< 0.1*
2	Ni	7.77	< 0.1
3	Ni	10.58	< 0.1
4	(Alcanfor) 1,7,7-trimetil-2-onabiciclo [2.2.1] heptano.	11.57	9.22
5	(Borneol) 1,7,7-trimetil-2-hidroxibiciclo [2.2.1] heptano.	12.36	11.48
6	(Carveol) 2-ciclohexen-1-ol-2-metil-5-(1' metiletenilo)	14.23	68.47
7	Iso bornil acetato	16	10.44
8	Ni	22.85	< 0.1
9	Ni	35.94	< 0.1

10	Ni	39.02	< 0.1
11	Ni	41.43	< 0.1
12	Ni	43.01	< 0.1
13	Ni	44.56	< 0.1
14	Ni	46.94	< 0.1
15	Ni	49.08	< 0.1
% abundancia de compuestos detectados			100
N° de picos detectados		15	
N° de compuestos identificados		4	
N° de compuestos no identificados		11	

Nota: RT=Tiempo de retención; %=porcentaje de abundancia relativo al área total, N°de pico=Numero de picos detectados, ni=Compuesto no identificado. Los compuestos presentes están sin sinónimos. No se reportan compuestos que están presentes en menores del <0,1* % por estar considerados como trazas.

Según los datos de la Tabla 9, se identificó **15 compuestos**, en el AE se *T. parthenium* destacando los que se encuentran en mayores concentraciones y como principales constituyentes: **carveol (68.47%)**, **borneol (11.68%)** y **acetato de isobornilo (10.64%)** y el **alcanfor (9.22%)**, para realizar la discusión de resultados en comparación con composición química de *Tanacetum parthenium* de diferentes países mostrados en la Tabla 10.

Tabla 10*Composición química del AE de T. parthenium L. de diferentes países.*

Compuestos	De Pooter et al., (2011) Bélgica	Lechkova et al., (2024) Bulgaria	Mojab et al., (2007) Irán	Sharopov et al., (2015) Tayikistán	Polatoglu et al., (2010) Turquía	Surco, Tesis (2025) Perú
2-ciclohexen-1-ol- 2-metil-5- (1'metiletenilo) (Carveol)	-	-	-	-	-	68.47
1,7,7-trimetil-2- hidroxi biciclo [2.2.1] heptano. (Borneol)	-	-	-	-	-	11.68
Acetato de Iso Bornilo	-	-	-	-	-	10.64
1,7,7-trimetil-2- onabiciclo [2.2.1] heptano. (Alcanfor)	44.0	48.22	30.2	56.9	54.9	9.22
Canfeno	-	14.58	-	12.2	8.1	-
Acetato de bornilo	-	6.05	-	8.7	-	-
Acetato de trans- crisantenilo	23	13.87	26.5	-	22.1	-
Espatulanol	-	-	8.2	-	-	-
α -Farneseno	-	-	11.1	-	-	-
Total, componentes	2	4	4	3	3	15

Al comparar estos resultados con los datos reportados en la literatura para la misma especie Tabla 10, se observan similitudes y diferencias. Aunque el **alcanfor (9.22%)**, es un componente común en todas estas investigaciones en altos porcentajes de abundancia como en **Bélgica (44%)**, **Bulgaria (48%)**, **Irán (30%)**, **Tayikistán (57%)** y **Turquía (55%)**, su concentración en nuestro caso es significativamente menor. Estas diferencias pueden atribuirse a factores como la quimiotipicidad del aceite esencial, que varía según la ubicación geográfica y el periodo de recolección. Es posible que la baja abundancia de alcanfor encontrada en esta

investigación esté relacionada con estas variaciones. Así mismo se puede observar que el **carveol, borneol y acetato de isobornilo** no son reportados en las investigaciones de estos países.

Mohsenzadeh et al., (2011) investigaron el *T. parthenium* en tres etapas de desarrollo y encontraron alcanfor (18.94%) como componente principal, durante la floración. De manera similar, Hendriks et al., (1996) analizaron la composición del aceite esencial de *T. parthenium*, de diversas procedencias y observaron que el porcentaje de alcanfor aumentaba durante el desarrollo de la planta, alcanzando un (48%) en la etapa de plena floración. Este estudio también destacó la ausencia de monoterpenos tóxicos como α - o β -tujona, lo cual es relevante para el uso del aceite en el tratamiento profiláctico de la migraña.

En cuanto a otros estudios, Izadi et al., (2013) identificaron 35 compuestos en el aceite esencial de brotes de *T. parthenium*, siendo el alcanfor (45%) el componente mayoritario. De igual manera, Akpulat et al. (2005) identificaron 23 compuestos de las partes aéreas de la planta, destacando el alcanfor (56.9%) y el canfeno (12.7%) como los más abundantes.

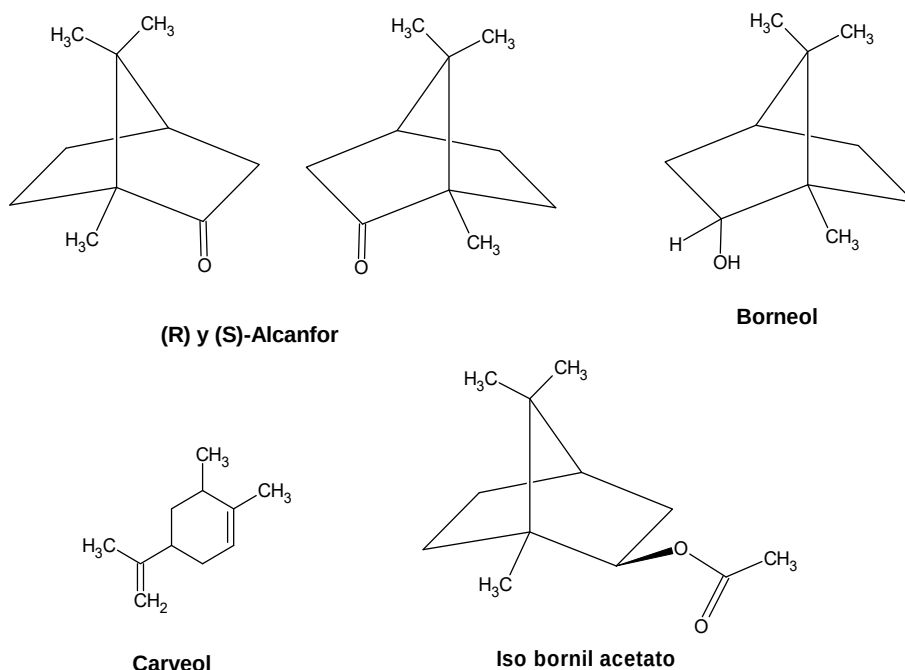
En la evaluación de su actividad contra células cancerígenas HeLa, en el AE de *T. parthenium*, Sharopov et al., (2015) de Tayikistán encontró el alcanfor en (48.22%), también reportaron al canfeno (12.2%) y el acetato de isobornilo (8.7%) como los principales componentes.

De igual manera Lechkova-Borislava et al., (2024) de Bulgaria reportaron al canfeno (14.58%) y el acetato de isobornilo (6.05%) y al acetato de crisantenilo (13.87%) como componentes mayoritarios. Sin embargo, en la presente investigación no se detectó el canfeno, pero sí acetato de isobornilo.

Las estructuras químicas de los cuatro componentes mayoritarios presentes en el aceite esencial del *T. parthenium* se muestran en la Figura 21.

Figura 21

Estructuras químicas de los componentes mayoritarios del aceite esencial



Nota: Estructuras elaboradas con el software ACD/ChemSketch (Freeware).
Adaptado de Manual de química de aceites esenciales dō terra 2da edición
editado por Dr. David K. Hill, D.C. (Hill, 2017)

4.4. Del efecto insecticida de aceites esenciales de *S. molle* y *T. parthenium* sobre *Pagiocerus frontalis*.

4.4.1. Efecto insecticida de aceite esencial de *Schinus molle*.

A continuación, se observa los resultados del efecto insecticida y la concentración letal media (CL₅₀), expresados en términos de mortalidad (N° de gorgojos muertos), el promedio ($\bar{X}$) y Desviación Estándar (D.S.), durante los tiempos de (4, 12, 24 y 48) horas de exposición, a las concentraciones de (0,5; 1; 1.5; 2 y 5) % V/V del A.E mostrados en la Tabla 11.

Tabla 11

Efecto insecticida y Concentración letal media del AE de *S. molle* sobre *P. frontalis*, a distintas concentraciones y tiempos de exposición con n=3.

Aceite esencial	Conc. % V/V	N° de gorgojos muertos				%
		4 Hr	12 Hr.	24 Hr.	48 Hr.	Mortalidad
		$\bar{X} \pm D. S$	$\bar{X} \pm D. S$	$\bar{X} \pm D. S$	$\bar{X} \pm D. S$	48 Hr
	0	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	0 %
<i>Schinus molle</i>	0.5	1.67 $\pm$ 0.58	3.33 $\pm$ 1.53	4.33 $\pm$ 0.58	5.33 $\pm$ 0.58	53.3 %
	1.0	4.67 $\pm$ 0.58	5.67 $\pm$ 0.58	7.33 $\pm$ 0.58	8 $\pm$ 0.00	80 %
	1.5	6.00 $\pm$ 1.00	7.33 $\pm$ 0.58	8.33 $\pm$ 0.58	8.67 $\pm$ 0.58	86.7 %
	2.0	7.33 $\pm$ 0.58	8.33 $\pm$ 0.58	9 $\pm$ 0	9.33 $\pm$ 0.58	93.3 %
	5.0	9.33 $\pm$ 0.58	10 $\pm$ 0	10 $\pm$ 0	10 $\pm$ 0	100 %
<i>CL₅₀</i>		1.4316	1.0504	0.7673	0.3622	

Donde:

- $n=3$: Resultado de tres repeticiones
- $\bar{X}$: Media, número promedio de gorgojos muertos.
- $\pm D.S$: Desviación Estándar.
- % V/V: concentración de aceite esencial de *Schinus molle*
- Hr.: Horas
- Control (0%): Solución de Tween 80 al 0.2 % sin aceites esenciales.

En la tabla 11 el aceite esencial de *S. molle* muestra un incremento gradual de mortalidad sobre *P. frontalis* (gorgojos de maíz), especialmente con las concentraciones de 1.5 %, 2 %, y 5 % (v/v), con porcentajes de mortalidad de 86.7 %, 93.3 %, y 100 %, alcanzando un efecto insecticida significativo y logrando una mortalidad del 100% a las 48 horas de exposición en concentraciones superiores al 1.5%.

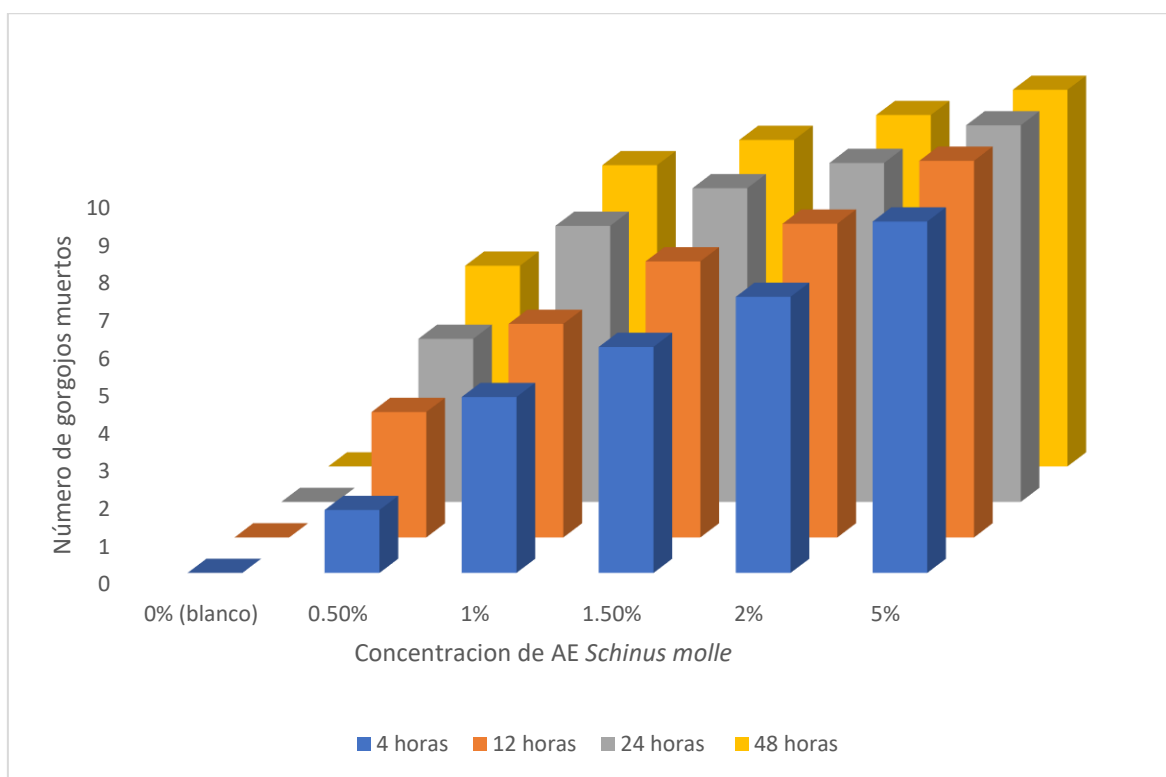
También en la tabla 11 indica que el AE de *Schinus molle* L. presenta actividad insecticida sobre *Pagiocerus frontalis*, con una CL_{50} de 1.43 % a las 4 horas de exposición,

1.05 % a las 12 horas, 0.77 % a las 24 horas y 0.3622 % a las 48 horas de exposición. Esto indica que la efectividad de toxicidad para el *P. frontalis* del AE de *S. molle* depende tanto de la concentración como del tiempo de exposición.

La Figura 22 gráfica de columnas agrupadas, facilita la comparación directa del efecto insecticida del aceite esencial de *S. molle* en cada concentración y tiempo de exposición.

Figura 22

Efecto insecticida del aceite esencial de Schinus molle sobre Pagiocerus frontalis a diferentes concentraciones y tiempos de tratamiento en columnas agrupadas.



Además, la Tabla 12 presenta los resultados descriptivos de las medias del porcentaje de mortalidad de *P. frontalis* causado por el AE de *S. molle*, obtenidos del Análisis Probit (Método Finney [Distribución Log normal]), donde las medias del porcentaje de mortalidad con mayor efecto fueron del 86,7%; 93.3% y 100 % y sus respectivos límites de confianza al 99.9 %, con límites inferiores y superiores muestran márgenes estrechos, lo que denota la confiabilidad en las determinaciones.

Tabla 12

Resultados del Análisis Probit para el efecto insecticida de S. molle en porcentaje de mortalidad, a las 48 horas de exposición a distintas concentraciones del AE n=3.

Aceite esencial	Conc. Del A. E (% V/V)	n	$\bar{X}$ Media Mortalidad (%)	$\pm$ D. S Desviación estándar	99.9% de intervalo de confianza para la media	
					Limite inferior	Limite superior
	0	3	0	0	0	0
<i>Schinus</i>	0.5	3	53.3	5.8	48.5	59.1
<i>Molle</i>	1	3	80	0	80	80
Linnaeus.	1.5	3	86.7	5.8	80.9	92.5
	2	3	93.3	5.8	87.5	99.1
	5	3	100	0	100	100

Nota: $\bar{X}$ = Promedio del porcentaje de gorgojos Muertos, $\pm$ D.S = desviación estándar, % V/V= concentración del A.E de S. molle. Obtenidos del Análisis Probit (Método Finney [Distribución Log normal]).

Este resultado puede contrastarse con los aceites esenciales de otras plantas aromáticas que se reconocen como una alternativa a los insecticidas sintéticos utilizados en granos alimenticios almacenados.

Estos efectos tóxicos del *S. molle* podrían atribuirse a componentes importantes como los terpenos: cis-2,3-pinanodiol (27.49%), α -felandreno (14.49%), limoneno (6.39%), α -canfeno (5.19%), espatulanol (5.01%) y sabineno (4.92%), Rozman et al., (2007), mencionan sobre la alta toxicidad del α -felandreno, el acetato de linalilo y el 1,8-cineol contra el gorgojo del arroz *Sitophilus oryzae* y *Rhyzopertha dominica*.

Murrieta-Dionicio et al., (2023), mencionan que el efecto insecticida del AE del *S. molle* podría atribuirse a los componentes mayoritarios del aceite esencial de *S. molle*, los cuales son monoterpenos hidrogenados como el α y β -felandreno, α y β -pineno, cafeno y

limoneno estos resultados tienen similitud a los identificados en el presente trabajo por los que se le puede atribuir el efecto insecticida.

El cis-2,3-pinanodiol, principal componente del AE de *S. molle* (27.49 %), ha demostrado propiedades insecticidas específicas, otros compuestos relacionados de los aceites esenciales, como los monoterpenos mayoritarios encontrados en esta investigación, han mostrado potencial insecticida (Almadiy et al., 2023). Estudios previos sugieren que estos compuestos pueden ser efectivos contra diversas plagas, debido a sus efectos neurotóxicos y repelentes en insectos, como indican (Adams, 2007; Pavela & Novák, 2024), quienes han reportado que los terpenos del AE de *S. molle* afectan a plagas por sus propiedades insecticidas y antitéricas.

Ayvaz et al., (2010) manifiestan que el efecto insecticida se deba al cis-2,3-pinanodiol y a los otros componentes, dependiente de la etapa de desarrollo del vegetal.

Así mismo, investigaciones han demostrado la efectividad de *S. molle* contra plagas de granos almacenados como *P. frontalis*, causando tanto mortalidad como inhibición en la alimentación de estos insectos (Andrew et al. 2016). Comparativamente, Belhoussaine et al., (2022) reportaron que el AE de *S. molle* mostró una mayor eficacia frente a *Sitophilus oryzae* en comparación con otros aceites esenciales. Además, Gad et al., (2021) observaron que este aceite demostró alta toxicidad contra huevos de *Tribolium confusum*, sugiriendo su potencial como fumigante en diferentes etapas del ciclo de vida de este insecto.

Al comparar la eficacia del AE de *S. molle* con otros aceites como el de *Tagetes filifolia*, Rodríguez Torres et al., (2021) encontraron que el aceite de *T. filifolia* tenía una CL₅₀ de 0.61 % para *P. frontalis* en 72 horas de exposición, mientras que el AE de *S. molle* en el presente trabajo, mostró una CL₅₀ de 0.3622 % en 48 horas, indicando una mayor capacidad insecticida en menor tiempo. Duarte Jonathaline et al., (2018), documentaron que el AE de las hojas de *S. molle* tiene efectos inmunotóxicos y puede activar el sistema

inmunológico, sugiriendo un espectro de efectos biológicos potenciales más allá de la actividad insecticida.

4.4.2. Efecto insecticida de aceites esenciales de *T. parthenium*.

En la Tabla 13, se observa los resultados del efecto insecticida del aceite esencial de *Tanacetum parthenium* L. sobre *Pagiocerus frontalis*.

Tabla 13

Efecto insecticida y concentración letal media del AE de T. parthenium sobre P. frontalis a distintas concentraciones y tiempos de exposición con n=3.

Aceite esencial	Conc. % V/V	Nº de gorgojos muertos				% Mortalidad 12 Hr.
		4 Hr	12 Hr.	24 Hr.	48 Hr.	
		$\bar{X} \pm D.S$	$\bar{X} \pm D.S$	$\bar{X} \pm D.S$	$\bar{X} \pm D.S$	
	0	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	0 %
<i>Tanacetum parthenium</i> Linnaeus.	0.05	1 $\pm$ 1	2.67 $\pm$ 2.08	4.67 $\pm$ 0.58	5.67 $\pm$ 1.16	26.7 %
	0.1	2.33 $\pm$ 1.53	5 $\pm$ 2	7 $\pm$ 1	8.33 $\pm$ 0.58	50 %
	0.3	6 $\pm$ 1	9 $\pm$ 0	9.33 $\pm$ 0.58	10 $\pm$ 0	90 %
	0.4	10 $\pm$ 0	10 $\pm$ 0	10 $\pm$ 0	10 $\pm$ 0	100 %
	0.5	10 $\pm$ 0	10 $\pm$ 0	10 $\pm$ 0	10 $\pm$ 0	100 %
CL ₅₀	(%V/V)	0.1049	0.0645	-----	-----	

Donde:

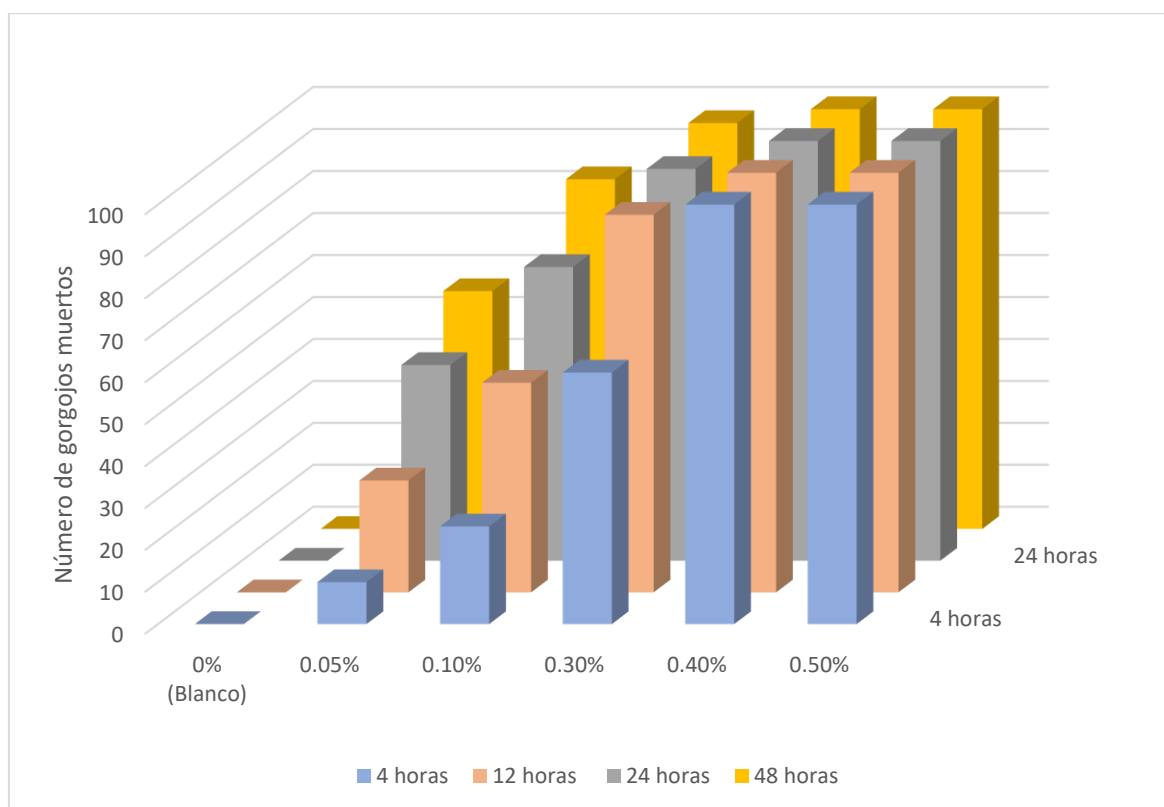
- $n=3$: Resultado de tres repeticiones
- $\bar{x}$: Media, número promedio de gorgojos muertos.
- $\pm D.S$: Desviación Estándar.
- % V/V: concentración de aceite esencial de *Tanacetum parthenium*,
- Hr.: Horas
- Control (0%): Solución de Tween 80 al 0.2 % sin aceites esenciales.

Las concentraciones, del AE de *T. parthenium* considerados para el efecto insecticida, son diferentes a las tomadas por el AE de *S. molle* debido a su alto efecto toxico. Como se puede observar el aceite esencial de *T. parthenium* muestra incomparable efecto insecticida, prácticamente un incremento gradual de mortalidad sobre *P. frontalis* a bajas

concentraciones desde 0.05 – 0.3% V/V; en los tiempos de exposición 4,12,24 y 48 Hr, logran el 100 % de mortalidad. Las concentraciones bajas, como el 0.05% y 0.1%, el efecto insecticida es limitado a lo largo del tiempo de exposición con una mortalidad de 56.7 % y 83.3 %. Así mismo el AE de *T. parthenium* presenta actividad insecticida sobre *Pagiocerus frontalis*, con una CL_{50} de 0.1049 % a las 4 horas y 0.0645 % a las 12 horas de exposición. A medida que aumenta el tiempo de exposición, el efecto insecticida se intensifica, alcanzando una mortalidad del 100 % en 48 horas con la concentración de 0.3 %. Esto indica la efectividad del AE de *T. parthenium* depende tanto de la concentración como del tiempo de la exposición. La mortalidad a 0.4 y 0.5% se manifiesta al 100%, a las 4Hr, de exposición. En la Figura 23 gráfica de columnas agrupadas, se observa un incremento en el efecto insecticida conforme aumenta la concentración del AE y el tiempo de exposición.

Figura 10

Efecto insecticida del aceite esencial de Tanacetum parthenium sobre P. frontalis a diferentes concentraciones y tiempos de tratamiento en columnas agrupadas.



Además, en la Tabla 14 se presenta los resultados descriptivos del porcentaje de mortalidad de *P. frontalis* causado por el A.E. de *T. parthenium*, obtenidos del Análisis Probit (Método Finney [Distribución Log normal]), donde el porcentaje de mortalidad con mayor efecto fueron del 100 % y sus respectivos límites de confianza al 99.9 %, donde se muestran límites inferiores y superiores para cada concentración utilizada.

Tabla 14

Resultados descriptivos del Análisis Probit para el efecto insecticida de T. parthenium en porcentaje de mortalidad, a las 48 horas de exposición a distintas concentraciones del AE; n=3.

Aceite Esencial.	Conc. del A. E. (%V/V)	n	$\bar{x}$ Media Mortalidad (%)	$\pm$ D. S Desviación Estándar	99.9% de intervalo confianza para la media	
					Limite inferior	Limite superior
	0	3	0	0	0	0
<i>Tanacetum parthenium Linnaeus.</i>	0.05	3	56.7	11.6	45.1	68.3
	0.1	3	83.3	5.8	77.5	89.1
	0.3	3	100	0	100	100
	0.4	3	100	0	100	100
	0.5	3	100	0	100	100

Nota: $\bar{x}$ = Promedio del porcentaje de gorgojos Muertos, $\pm$ D.S = desviación estándar, % V/V= concentración del A.E de *T. parthenium*. Obtenidos del Análisis Probit (Método Finney [Distribución Log normal]).

Los resultados de la tabla 14 permiten afirmar que el aceite esencial de *Tanacetum parthenium*, presenta 100% de efecto insecticida para los insectos de *Pagiocerus frontalis* (gorgojo de maíz); a la concentración de 0.3% de aceite esencial, a partir de las 48 horas de exposición. Además, muestra una correlación positiva del efecto insecticida con la concentración del aceite esencial y el tiempo de exposición. De los resultados se observa que los límites de confianza de correlación concentración-Probit muestran márgenes

estrechos, lo que denota la confiabilidad en las pruebas de efecto insecticida. Estos resultados son similares al efecto insecticida de los AE de otras plantas aromáticas que se reconocen como una alternativa a los insecticidas sintéticos para ser utilizados especialmente en granos alimenticios almacenados, Rodríguez Torres et al., (2021).

El efecto insecticida del aceite esencial de *T. parthenium* puede atribuirse a su principal componente químico, el 2-ciclohexen-1-ol-2-metil-5-(1'-metiletenilo), conocido como carveol, que representa el 68.47% de su composición. Dambolena et al., (2016) mencionan al carveol como terpenoide característico de aceites esenciales, un compuesto altamente tóxico con actividad insecticida y gran potencial para el control de plagas.

Stojković et al., (2024) en sus investigaciones recientes reportaron al carveol como un componente capaz de prevenir la carcinogénesis mamaria, por sus efectos sobre el sistema neuromuscular y además potencia las contracciones inducidas por acetilcolina. También se ha identificado su efecto inmunotóxico, antiparkinsoniano y repelente contra especies como *anopheles gambiae*, vector del paludismo africano (Castellanos Buitrago & Villa, 2022).

Pavela et al., (2010) y Espinoza Gonzales, (2021) reportaron que el aceite esencial de *T. parthenium* mostró una CL₅₀ de 0.05% contra larvas de *Spodoptera littoralis* a las 24 horas de exposición, atribuida principalmente al alcanfor y al acetato de trans-crisantenilo en su composición mientras que el AE de *T. parthenium* del presente trabajo mostró una CL₅₀ de 0.0645% en 12 horas de exposición, indicando una mayor capacidad insecticida y en menor tiempo. De igual forma, otras especies del género *Tanacetum* han sido reportadas con propiedades insecticidas:

Tanacetum abrotanifolium el aceite esencial presenta un 81.30 % de inhibición contra (gorgojo de trigo) *Sitophilus granarius* (Polatoglu et al., 2015).

Tanacetum balsamita el aceite esencial presentan una mortalidad de 75.2 % despues de 72 horas de exposicion contra (escarabajo de leguminosa) *Callosobruchus maculatus* (Attighi et al., 2013).

Tanacetum vulgare con una CL_{50} de 0.0743% a 12 horas exposicion contra *Pagiocerus frontalis* (Zuñiga Olaguibel, 2022).

Tanacetum vulgare mostro una CL_{50} de 2.79% a 24 horas de exposición contra (pulguillas de papa) *Epitrix spp.* (Tomaylla Cruz, 2018).

Tanacetum vulgare contra *Nauplios* de *Artemia salina* (Fuentes et al., 2010) y *Tanacetum vulgare* contra (larva de papa) *Premnotrypes latithorax* y *Epitrix spp.* (Solís Quispe et al., 2018).

Por otro lado, el aceite esencial de *Tagetes multiflora* contra *P. frontalis* presentó una CL_{50} mucho mayor 4.04% a 24 horas de exposición, evidenciando que se requiere una concentración considerablemente más alta para lograr un efecto comparable (Aragón Alencastre, 2016).

Esto subraya la superioridad del aceite esencial de *T. parthenium* como insecticida frente al *Tagetes multiflora*, incluso frente a *Tanacetum vulgare*.

En el presente trabajo al comparar las especies investigadas, los aceites esenciales de *T. parthenium* mostro mayor efecto insecticida sobre *P. frontalis* que el aceite esencial de *S. molle*, donde *T. parthenium* posee una (CL_{50} de 0.0645 a 12 horas) mientras que el A.E de *S. molle* mostró una (CL_{50} de 0.3622 % en 48 horas) y una (CL_{50} de 1.0504% en 12 horas) indicando que el *T. parthenium* presenta una mayor capacidad insecticida y en menor tiempo.

Pavela et al., (2010) señalaron que la actividad insecticida del aceite esencial de *T. parthenium* está fuertemente correlacionada con su contenido de terpenoides, especialmente el alcanfor y el acetato de crisantenilo. En nuestro caso, la composición rica en Carveol podría explicar el potencial insecticida de nuestro aceite esencial.

CONCLUSIONES

- La hidrodestilación con trampa de Clevenger permitió obtener aceites esenciales de las partes aéreas de muestras frescas, con rendimientos de 0.83 % para *S. molle* L. y 0.74 % para *T. parthenium* L.
- Los parámetros fisicoquímicos de ambos A.E fueron, para *S. molle* L. la Densidad (0.9059 g/cm³), Rotación óptica (1.4766°), Índice de refracción a 20°C 1.48, y en *T. parthenium* L. la Densidad (0.9293 g/cm³), Rotación óptica (1.3904°), Índice de refracción a 20°C 1.3308.
- Por análisis GC/MS, de los aceites esenciales, antes se identificó como componente mayoritario a los terpenos como: cis-2,3-pinanodiol (27.49%), α -felandreno (14.49%), limoneno (6.39%), α -canfeno (5.19%), espatulanol (5.01%) y sabineno (4.92%); en *S. molle* L. y al Carveol (68.47%), Borneol (11.68%), acetato de iso bornilo (10.64%) y Alcanfor (9.22%), en *T. parthenium* L.
- El aceite esencial de *Tanacetum parthenium* mostró efecto insecticida sobre *Pagiocerus frontalis* a una CL₅₀ de 0.0645 % (v/v); el de *Schinus molle* tuvo una CL₅₀ de 0.7673 % y 83.3 % (v/v) tras 12 horas de exposición. Destacando el potencial de *T. parthenium* para el control de plagas en maíz almacenado.

En conjunto, ambos aceites esenciales demostraron alta toxicidad letal contra *P. frontalis*, sugiriendo su posible incorporación en programas de manejo integrado de plagas en maíz almacenado como alternativa sostenible a los plaguicidas sintéticos.

Estos resultados resaltan el gran potencial de las plantas aromáticas regionales para el control de plagas agrícolas.

RECOMENDACIONES

- El destacado potencial insecticida del aceite esencial de *T. parthenium* para el control de plagas en maíz almacenado, permite recomendar investigaciones de aplicación a nivel de campo, para posibilitar su difusión en la sociedad.
- Dada la efectividad insecticida de los aceites esenciales estudiados, se sugiere realizar investigaciones en la protección de otras semillas andinas de importancia alimentaria.
- Para superar las limitaciones de volatilidad y estabilidad de los aceites esenciales, se sugiere investigar su encapsulación en nanopartículas poliméricas, con el objetivo de mejorar su biodisponibilidad, eficacia biológica y concentración letal media efectiva (CL₅₀).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelgaleil Samir A. M, Mohamed Magdy I. E, Shawir Mohamed S. and Abou Taleb Hamdy K. (2016). Chemical composition, insecticidal and biochemical effects of essential oils of different plant species from Northern Egypt on the rice weevil, *Sitophilus oryzae* L. Springer Link. *Journal of Pest Science*, vol. 89, pages 219.
<https://doi.org/10.1007/s10340-015-0665-z>
- Adams, Robert P. (2007). Identification of essential oil components by: Gas Chromatography mass spectrometric. 4th Edition. Allured Publ., Carol Stream, IL Baylor University, United States. Is out of print, but you can obtain a free pdf of it at www.juniperus.org
- Akputat Askin H, Tepe Bektas, Sokmen Atalay, Daferera Dimitra and Polissiou Moschos. (2005). Composition of the essential oils of *Tanacetum argyrophyllum* (C. Koch) Tvetz. var. *argyrophyllum* and *Tanacetum parthenium* L. Schultz Bip. (Asteraceae) from Turkey. *Biochemical Systematics and Ecology*. Vol. 33, Pages 511-516.
<https://doi.org/10.1016/j.bse.2004.10.006>
- Almadiy Abdulrhman A., Nenaah Gomah E., Albogami Bader Z., Shaver Dalia M. and Alasmari Saeed. (2023). *Cupressus sempervirens* Essential Oil, Nanoemulsion, and Major Terpenes as Sustainable Green Pesticides against the Rice Weevil. *Journal of Pesticide Science. Sustainability*, Vol.15(10), Pages: 8021.
<https://www.mdpi.com/2071-1050/15/10/8021>
- Álvarez Martínez, Jean Paul. (2020). Métodos de control para gorgojo de maíz del (*Pagiocerus frontalis*) en almacén. Tesis pre-grado Universidad Nacional del Centro - Perú.
http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6256/T010_47387151_t.pdf?sequence=1
- Alzahrani Saad M, Ebert Paul R. (2023). Pesticidal Toxicity of Phosphine and Its Interaction with Other Pest Control Treatments. A global perspective. *Annu. Rev. Entomol.* 2020, 65, 333–350 [PubMed]. PMID: 36975531. PMCID: PMC10047108
[DOI:10.3390/cimb45030161](https://doi.org/10.3390/cimb45030161)
- Andrade-Ochoa Sergio, Sánchez-Torres Luvia. E, Nevárez-Moorillón Guadalupe Virginia, Camacho Alejandro D. y Nogueda-Torres Benjamín. (2017). Aceites esenciales y sus componentes como una alternativa en el control de mosquitos vectores de enfermedades. *Biomédica*, vol. 37, núm.2

<https://www.redalyc.org/journal/843/84356911024/html/10.7705/biomedica.v34i2.3475>

Andrew Rene, Llerena Rosario y Quiroga Silvia. (2016). Control biológico del coleóptero del maíz *Pagiocerus sp.* con *Beauveria bassiana* en condiciones de laboratorio. *Revista de Agricultura, Nro. 56.*

<https://cifumss.agro.bo/rev-agric/pdf/rev56/rev56-3.pdf>

Anthos, (2011). La Flora Mesoamericana, una colaboración entre la Universidad Nacional Autónoma de México, el Jardín Botánico de Kew y el Jardín Botánico de Missouri.

<http://legacy.tropicos.org/Project/FM>

AOAC. Association of Analytical Chemist. (2000). Official methods of analysis of AOAC International. 17ed. Gaithersburg, USA, Assoc. of Analytical Communities 2000.

<https://search.worldcat.org/es/title/Official-methods-of-analysis-of-AOACInternational/oclc/796380460>

Apollo Duarte Jonathaline, de Bairros Zambrano Léa Augusta, Dias Quintana Luciane, Balhego Rocha Mariana, Gomes Schmitt Elizandra, Augusti Boligon Aline, Anraku de Campos Marli Matiko y Souza de Oliveira Luís Flávio. (2018). Evaluación inmunotoxicológica del aceite esencial de *Schinus molle L.* (Anacardiácea) en linfocitos y macrófagos. *Revista Hindawi: Evidence-Based Complementary and Alternative Medic*, vol.2018. Brazil. Article ID 6541583.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2018/6541583>

Aragón Alencastre, Luz Jaqueline. (2016). Aceites esenciales de *Eucalyptus globulus Labill* y *Tagetes multiflora kunth* y su efecto insecticida para *Pagiocerus frontalis*. *Tesis de Maestría, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco-Perú.*

<http://hdl.handle.net/20.500.12918/2849>

Arias P, Jocelyn., Silva A, Gonzalo., Figueroa C, Inés., Fischer G, Susana., Robles Bermúdez, Agustín., Rodríguez Maciel, J. Concepción. y Lagunes Tejeda, Angel. (2017). Actividad insecticida, repelente y antialimentaria del polvo y aceite esencial de frutos de *Schinus molle L.* para el control de *Sitophilus zeamais* (Motschulsky). *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences*, Vol. 33, N° (2), Pages: 93-104.

<https://revistaschilenas.uchile.cl/handle/2250/195163>

ATSDR, (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades). (2017). *ToxFAQs™ – N, N-diethyl-meta-toluamida (DEET).*

https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts185.html

Attighi, F., Khashaveh A. y Attighi R. (2013). Fumigant toxicity of essential oil from.

Tanacetum balsamita L. (Compositae) against adults and eggs of *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae). *Archives of Phytopathology and Plant Protection*. Volume 46, Pages 2080-2086, Department of Entomology, College of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

[https://www.scopus.com/fumigant toxicity;Tanacetum balsamita](https://www.scopus.com/fumigant%20toxicity;Tanacetum%20balsamita)

Ávalos García, A., y Pérez-Urria Carril, E. (2009). Metabolismo secundario de plantas.

Reduca (Biología), 2(3), 119-145

Ayvaz Abdurrahman, Sagdic Osman Karaborklu Salih y Ozturk Ismet (2010). Insecticidal Activity of the Essential Oils from Different Plants Against Three Stored-Product Insects. *Journal of Insect Science Vol.10 Article. 21*

<https://doi.org/10.1673/031.010.2101>

Bachheti RK, Archana Bachheti and Ramachandran Santhanam Satyan. (2018). Chemical Composition of the Essential Oil from *Schinus molle* L. (Peruvian pepper). *Der Pharma Chemica*, 2018, 10(10): 139-147. ISSN 0975-413X. Dawa, Etiopía.

www.derpharmachemica.com

Baser K. Husnu Can, & Buchbauer Gerhard. (2009). Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications. *CRC Press, 1st Edition, Pages 991*,

<https://doi.org/10.1201/9781420063165>.

Belhoussaine Oumayma, El Kourchi Chaimae, Harhar Hicham, Bouyahya Abdelhakim, El Yadini Adil, Fozia Fozia, Alotaibi Amal, Ullah Riaz. And Tabyaoui Mohamed. (2022). Chemical Composition, Antioxidant, Insecticidal Activity, and Comparative Analysis of Essential Oils of Leaves and Fruits of *Schinus molle* and *Schinus terebinthifolius*. *Evid Based Complement Alternat Med*. Vol.30.

<https://doi.org/10.1155/2022/4288890>

Bendaoud Houcine, Romdhane Mehrez, Souchard Jean Pierre, Cazaux Sylvie and Bouajila Jalloul (2010). Chemical Composition and Anticancer and Antioxidant Activities of *Schinus molle* L. and *Schinus terebinthifo* Raddi Berries Essential Oils. *Journal of food Science, A Publication of the Institute of Food Technologis*, Volume75, Issue6, Pages C466-C472.

<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01711.x>

Bielza Pablo, (2009). Fundamentos de resistencia a insecticidas. *Universidad de Cartagena. España*.

<https://irac-online.org/countries/spain/>

Bloomquist R. Jeffrey, (2002) Insecticides: Chemistries and Characteristics.

<http://ipmworld.umn.edu/chapters/bloomq.htm>

Bouayed Jaouad and Bohn Torsten, (2012). Nutrition, Well-Being and Health. Centre de Recherche Public-Gabriel Lippmann Luxembourg. Published by In Tech, Rijeka, Croatia. Copyright In Tech.

<https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=dbqZDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA155&dq=+Essential+Oils+and+Their+Uses.+&ots=mRiQPN64kI&sig=Wi9niXXELVRyXVtMVY5CfWv-NGg#v=onepage&q=Essential%20Oils%20and%20Their%20Uses.&f=false>

Butnariu, Mónica., and Sarac, Ioan. (2018). Essential Oils from Plants. *Journal of Biotechnology and Biomedical Science* 1(4):35-43.

https://www.researchgate.net/publication/329869686_Essential_Oils_from_Plants

Cárdenas López, E. M. (2014). Determinación de parámetros de operación para la destilación por arrastre con vapor de agua del aceite esencial de molle (*Schinus molle* Linneo) en el equipo modular de extracción de AE de la FIQM-UNSCH.

<http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1032>

Casado Villaverde Irene, (2018). Optimización de la extracción de aceites esenciales por destilación en corriente de vapor. *Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.*

https://oa.upm.es/49669/1/TFG_IRENE_CASADO_VILLVERDE.pdf

Castellanos Buitrago, Nicolás Stivenlcon and Villa Aída Luz. (2022). Heat capacity of some terpenes in the temperature range between (293.15 and 353.15) °K and at 85.1 kPa. *Academic Press Ltd - Elsevier Science Ltd; Journal of Chemical Thermodynamics; 179; Volumen 1-25 pagina 179. Medellin, Colombia.*

<https://doi.org/10.1016/j.jct.2022.106983>

Castro Ccoscco, Rosa Mercedes y Mejía Espinoza, Karol. (2011). Preferencia alimentaria de *Pagiocerus frontalis* en variedades de maíz en el Distrito de Coya – Provincia de Calca. *Seminario de Investigación. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Facultad de Ciencias Biológicas.*

https://www.avocadosource.com/international/peru_papers/CastroRosa2011.pdf

Correa-Salgado María de Lourdes, Herrera-Feijoo Robinson Jasmany, Ruiz-Sánchez Clara Isabel, Guamán-Rivera Santiago Alexander. (2024). Fundamentos de Bioquímica Vegetal. *Capítulo VI: Metabolismo secundario, Editorial Grupo AEA.*

<https://open.umn.edu/opentextbooks/textbooks/1641>

- Dambolena José S., Zunino María P., Herrera Jimena M., Pizzolitto Romina P., Areco Vanesa A. and Zygadlo Julio A. (2016). Terpenes: Natural Products for Controlling Insects of Importance to Human Health—A Structure-Activity Relationship Study. *Hindawi Publishing Corporation Psyche, Volume 2016, Article ID 4595823, 17 pages, Cordoba, Argentina.*
<http://dx.doi.org/10.1155/2016/4595823>
- De Dios Avila Ndahita.; Velasco C.R.; Cambero Campos Jhonathan.; Solorio A.B.; Domínguez Miranda Jesús Leonel y Estrada Virgen Mario Orlando. (2021). *Pagiocerus frontalis* (Fabricius) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) Associated with Avocado *Persea americana* Miller (Lauraceae) Fruit in Nayarit, Mexico. *Agricultural and Food Sciences, Biology. Florida Entomologist.*
[https://www.semanticscholar.org/paper/Pagiocerus-frontalis-\(Fabricius\)-\(Coleoptera-with-Avila-elasco/d85bf77ccd6df2afbbcbd43361ccebe82cc63422](https://www.semanticscholar.org/paper/Pagiocerus-frontalis-(Fabricius)-(Coleoptera-with-Avila-elasco/d85bf77ccd6df2afbbcbd43361ccebe82cc63422)
- De la cruz Silva Horacio (2007). Uso tradicional (medicina y biocida de las especies vegetales silvestres de la cuenca del río Chillón [tesis doctoral]. Universidad Nacional La Molina. Lima-Perú
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/4317/de-la-cruz-silva-horacio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- De Liñan, Carlos. (2015), VADEMECUM de productos fitosanitarios y nutricionales. Ed: Ediciones Agrotécnicas
<https://books.google.com.mx/books?id=Cmd9CgAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- De Pooter H. L., Vermeesch J and Schamp N. M. (2011). The essential oils of *Tanacetum vulgare* L. and *Tanacetum parthenium* (L.) Schultz-Bip. *Journal of Essential Oil Research, Volume 1(1): 9-13. Publ. online: 08 Dec 2011.*
<https://doi.org/10.1080/10412905.1989.9699438>
- Díaz Cecilia, Quesada Silvia, Brenes Oscar, Aguilar Gilda y Cicció José F. (2008). Chemical composition of *Schinus molle* essential oil and its cytotoxic activity on tumour cell lines. *Natural Product Letters, Volume 22, Pages 1521-1534.*
<https://doi.org/10.1080/14786410701848154>.
- Doleski Muhd, Paulo Steider; Ferreira Cuelho, Camila Helena; Calil Brondani, Juliana; Palermo Manfron, Melânia (2015). Chemical composition of the *Schinus molle* L. essential oil and their biological activities. *Revista Cubana de Farmacia (en inglés) 49 (1): 132-143. ISSN 1561-2988.*

- http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75152015000100013
- Donsì, F., Annunziata, M., Sessa, M., Ferrari, G., (2011). Nanoencapsulation of essential oils to enhance their antimicrobial activity in foods. *LWT-Food Science and Technology* 44, 1908–1914.
- Eidt-Wendt. J, (2010). Studies on the biology and ecology of *Pagiocerus frontalis* (Fabricius) (coleoptera: scolytidae) infesting stored maize in Ecuador. *Biology, Environmental Science*.
- [https://www.semanticscholar.org/paper/STUDIES-ON-THE-BIOLOGY-AND-ECOLOGY-OF-PAGIOCERUS-\(-EIDT-WENDT/c9b4fd3d36f8b22bbb82fdaedd6a06327e6d6a10](https://www.semanticscholar.org/paper/STUDIES-ON-THE-BIOLOGY-AND-ECOLOGY-OF-PAGIOCERUS-(-EIDT-WENDT/c9b4fd3d36f8b22bbb82fdaedd6a06327e6d6a10)
- Encarnación Villalta Karla Alexandra, (2012). Determinación de propiedades físico química del aceite esencial de poleo *Minthostachys mollis* (kunth) greseb en diferentes estados fenológicos y de tres lugares de la provincia de Loja mediante GC-MS Y GC-FID. *Tesis de Grado. Universidad Técnica Particular de Loja-Ecuador*.
- https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UTPL_1793b14de4eda559e43f089a201bddd3
- Espinoza Gonzales, Leonardo Antonio. (2021). Formulación bioinsecticida a partir de Santa maria (*Tanacetum parthenium* L.) para controlar el ataque del gorgojo de maiz (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) a granos almacenados. *Tesis de pre-grado. Universidad Politecnica Salesiana sede Cuenca-Ecuador*.
- <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20307/1/UPS-CT009147.pdf>
- European Commission. (2018). Neonicotinoids – current status in the EU. *Retrieved from* https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/approval-active-substances-safeners-and-synergists/renewal-approval/neonicotinoids_en
- FAO, (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2020). Toxicología de los plaguicidas para el control de plagas urbanas. *Plants Tour: The journey from molecule to field*.
- <https://www.syngenta.com/>
- Flores Espinoza, Janett J. (2013). Efecto del aceite esencial (*Schinus molle*) en tratamiento de gastritis inducida por keoprofeno en ratones de laboratorio – Huánuco. *Tesis de maestría. Universidad Nacional “Hermilio Valdizán” Huánuco-Perú*.
- <https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/3607/PCV%20Janett%20Jessica%20Flores%20Espinoza.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fuertes C. M.; Jurado B.; Gordillo G. C.; Negrón L. P.; Núñez E.; Esteban M.; & Távara

- V A. (2010). Estudio integral de plantas Biocidas del algodónero. *Ciencia E Investigación*, 13(1), 34–41.
<https://doi.org/10.15381/ci.v13i1.3186>
- Gad Hassan A, Hamza Ali F. and Abdelgaleil Samir A. M. (2021). Chemical composition and fumigant toxicity of essential oils from ten aromatic plants growing in Egypt against different stages of confused flour beetle, *Tribolium confusum* Jacquelin du Val. *International Journal of Tropical Insect Science*, Volume 42, pages 697–706
<https://doi.org/10.1007/s42690-021-00592-7>
- García Rafael y Pedrianes, J.R. (2020). Gorgojo barrenador *Pagiocerus frontalis* (Fabricius, 1801). *Revista de la Academia Canaria de Ciencias. Diario La Palma Ahora, Santa Cruz de La Palma*.
https://www.eldiario.es/canariasahora/lapalmaahora/hallan-palma-escarabajo-introducido-amenazar-agricultura_1_7220269.html
- García-Gonzalo, J. and Medina, M. (2019). "Métodos de extracción de aceites esenciales: Una revisión". *Journal of Essential Oil Research*, Vol.31, pag: 345-358.
https://scholar.google.com.pe/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=M%C3%A9todos+de+extracci%C3%B3n+de+aceites+esenciales%3A+Una+revisi%C3%B3n&btnG=
- García-Lara, S. y Bergvinson, D. J. (2007). Programa integral para reducir pérdidas post-cosecha en maíz. *Agricultura Técnica en México*, vol.33, N° 2, pp. 181.
<https://www.redalyc.org/pdf/608/60833208.pdf>
- Gleiser M. Raquel, María A, Zygadlo Julio A. (2011). Repellence of essential oils of aromatic plants growing in Argentina against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Parasitol. Res. Jan*;108(1):96-78.
<https://doi.org/10.1007/s00436-010-2042-4>.
- Goldstein David John and Coleman Robin Christine (2004). *Schinus Molle L.* (Anacardiace) Chicha, Production in the Central Andes. *Economic Botany (en inglés)* Vol.58 (4), Pag, 523-529. ISSN 0013-0001.
[https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2004\)058%5B0523:SMLACP%5D2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0013-0001(2004)058%5B0523:SMLACP%5D2.0.CO;2)
- Gómez D. Luis and Aguilera P. Alfonso (1982). BIOLOGY OF *Pagiocerus frontalis* (fab) (COLEÓPTERA: SCOLYTIDAE) IN THE NORTHERNMOST REGION OF CHILE. *IDESIA (Chile)*, Vol. 6.
<https://revistas.uta.cl/pdf/1218/cap7bi1.pdf>
- Grob Robert L. & Barry Eugene F. (2004). Modern Practice of Gas Chromatography. Copyright, 4ta. edition. John Wiley and Sons, Inc. Online ISBN:978047161147

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/0471651141>

Gross, M. L. (2004). High Performance Mass Spectrometry: Chemical Applications. *Wiley*.

[Doi:10.1002/16/9780470029749](https://doi.org/10.1002/16/9780470029749)

Guamán, et al., (2020). Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz

(*Zea mays* L.) utilizando cuatro híbridos. *Siembra*, vol.7, N°. 2, pp. 047-056

<https://doi.org/10.29166/siembra.v7i2.2196>

Gutiérrez María Mercedes, Stefanazzi Natalia, Werdin González Jorge Omar, Benzi

Verónica y Ferrero Adriana A. (2009). Actividad fumigante de aceites esenciales de *Schinus molle* (Anacardiaceae) y *Tagetes terniflora* (Asteraceae) sobre adultos de *Pediculus humanus capitis* (Insecta; Anoplura; Pediculidae). *Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, vol.8, núm. (3), pp. 176 – 179

https://www.researchgate.net/publication/41805008_Actividad_fumigante_de_aceites_esenciales_de_Schinus_molle_Anacardiaceae_y_Tagetes_terniflora_Asteraceae_sobre_adultos_de_Pediculus_humanus_capitis_Insecta_Anoplura_Pediculidae

Haines Duane E. & Mihailoff Gregory A. (2019). Principios de neurociencia. *Elsevier*.

Iberoamérica. 5ª Edición técnica en Medicina y Ciencias de la Salud. Español.

<https://elsevier.es/principios-de-neurociencia-9788491133421.htm>

Hamid Abdulmumeen A., Aiyelaagbe Olapeju O, and Usman Lamidi A. (2011). Essential oils: Its medicinal and pharmacological uses. *International Journal of Current Research*, Vol. 33, Issue, 2, pp.086-098

https://www.researchgate.net/publication/229041773_Essential_oils_Its_medicinal_and_pharmacological_uses

Hanan Alipi Ana María y Mondragón Pichardo Juana. (2006). Sistema Integrado de Información Taxonómica, de CONABIO, México.

<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/cucurbitaceae/cucumis-dipsaceus/fichas/ficha.htm>

Harborne, A.J. (1998). Phytochemical Methods. A Guide to Modern Techniques of Plant Analysis. Ed. N° 3, Pub. Springer Dordrecht Chapman y hall (Eds), Londres.

<https://link.springer.com/book/9780412572609>

Hayouni El Akrem Chraief Imed; Abedrabba Manaf Bouix Marielle; Leveau Jean-Yves and Mohammed Hammami Hamdi Moktar (2008). Tunisian *Salvia officinalis* L. and *Schinus molle* L. essential oils: Their chemical compositions and their preservative effects against *Salmonella* inoculated in minced beef meat. *International Journal of Food Microbiology*. Túnez Volume 125, Issue 3, Pages 242–251.

[Doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2008.04.005](https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.04.005)

Heldt, Hans-Walter and Piechulla, Birgit (2010). *Plant Biochemistry. Editorial Academic Academic Press, 4ª edición.*

<https://www.amazon.com/-/es/Hans-Walter-Heldt/dp/0123849861>.

Hendriks Henk F. J., Bos Rein, Woerdenbag and Herman J. (1996) The essential oil of *Tanacetum parthenium* (L.) Schultz-Bip. *Flavour and Fragrance Journal*, volume 11, pages:367–371, November /December.

[https://www.semanticscholar.org/paper/The-essential-oil-of-Tanacetum-parthenium-\(L.\)-Hendriks-Bos/011b492e25bddd4f816524a6404811e13bf09eb3](https://www.semanticscholar.org/paper/The-essential-oil-of-Tanacetum-parthenium-(L.)-Hendriks-Bos/011b492e25bddd4f816524a6404811e13bf09eb3)
<https://api.semanticscholar.org/>

Herman Ansah Richard, Ayepa Ellen, Shittu Saidi, Fometu Sandra Senyo and Wang Jun. (2019). Essential Oils and Their Applications -A Mini. *Review Article. Advances in Nutrition & Food Science*. 4: 1-13.

<https://www.opastpublishers.com/open-access-articles/essential-oils-and-their-applications-a-mini-review.pdf>

Hill, David C. K. (2017). *El Manual de Química de Aceites Esenciales* de do TERRA. 2da edición. *essential-oil-chemistry-handbook.pdf*.

<https://media.doterra.com/us/es/brochures/essential-oil-chemistry-handbook.pdf>

Hong-Zheng Zhao, Jiao-Yang Luo, Qiu-Tao Liu, Ze-Liang Lv, Shi-Hai Yang, Mei-Hua Yang. (2016). Study on essential oils of medicinal plants in insect repellent. *PubMed, Jan;41(1):28-34*.

<https://doi.org/10.4268/cjcmm20160106>.

Hübschmann, H. J. (2009). *Handbook of Spectroscopy. Vol. 1: Fundamentals and Techniques. Wiley-VCH*.

[Doi: 10.1002/9783527622791](https://doi.org/10.1002/9783527622791)

Iannacone José y Alvariño Lorena (2010). Toxicity of *Schinus molle* L. (Anacardiaceae) on four biological control agents of agriculture pest in Peru. *Acta zoológica mexicana* vol.26 no.3, 603–615.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372010000300007.

INIA, (2020). Instituto Nacional de Innovación Agraria –*Manual Técnico del Cultivo de Maíz Amarillo Duro. Lima, Perú*.

<http://repositorio.inia.gob.pe/handle/inia/1057>

- Inocente, O., Sumar, L., y Loaiza, S. A. (2006). Denominación de origen maíz blanco gigante Cusco (No. F70 I5). *Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación*.
<https://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScrip=inperupe.xis&me/thod=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=011477>.
- INTAGRI, (2007). Mecanismo de defensa de las plantas. Serie fitosanidad. N°86. Artículo técnico del INTAGRI.Mexico.p.9.
<https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/mecanismos-quimicos-de-defensa-en-las-plantas?p=registro>
- Iponga, D. M. (2008). Seed set of the invasive tree *Schinus molle* (Anacardiaceae) in semi-arid savanna, South Africa: The role of pollinators and selfing. *Journal of Arid Environments Volume 74, Pages 414-416*.
<https://doi.org/10.1146/j.jaridenv.2009.09.003>
- IRAC, (2023). Mezclas de Insecticidas y Manejo de la Resistencia – Orientación, Actualizada *Insecticide Resistance Action Commitee*.
<https://irac-online.org/documents/mezclas-de-insecticidas-y-manejo-de-la-resistencia-orientacion-actualizada/?ext=pdf>
- Isman Murray B. (2006). Botanical insecticides, deter rents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Rev. Entomol, Vol. 51:45-66*
<https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151146>.
- ISO 9235, (2022). UNE – International Organization for Standardization. Materias primas aromáticas naturales. *Vocabulario. CTN 84/SC 1 ACEITES ESENCIALES*.
<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/comites-tecnicos-de-normalizacion/comite/?c=CTN%2084/SC%201>
- Isshadiba Faikah Mustafa and Mohd Zobir Hussein. (2020). Synthesis and Technology of Nanoemulsion-Based Pesticide Formulation. *Nanomaterials (Basel). National Library of Medicine; Volume 10, Numero (8), page: 1608*
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7466655/>
- Izadi Zahra, Aghaalikhani1 Majid, Esna-Ashari Mahmood and Davoodi Poorandokht (2013) Determining Chemical Composition and Antimicrobial Activity of Feverfew (*Tanacetum parthenium* L.) Essential Oil on Some Microbial Strains. *Journal of Research in Medical Sciences. The Official Journal of Zahedan. University of Medical Sciences; Volume 15(6), pages 8-13, Tehran, Iran*.
<https://brieflands.com/articles/zjrms-92932>
- Juárez Roldan Jesús, (2020). Evaluación Histomorfométrica e Histoquímica del intestino

anterior de alevinos de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) suplementadas con aceites esenciales en el alimento. *Tesis para optar el grado de maestro en sanidad acuícola* Jesús Roldan Juárez Lima – Perú

https://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12866/8139/evaluacion_rol_danjuarez_jesus.pdf?sequence=1

Karjiban, Abedi. R., Basri, M., Abdul Rahman, M. B., & Salleh, A. B. (2012). Structural properties of nonionic Tween 80 micelle in water elucidated by molecular dynamics simulation. *APCBEE Procedia*, 3, 287–297.

<https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2012.06.084>

Klaassen Curtis D. and Watkins John B. (2017). Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons. *Editorial: McGraw-Hill Education, Edición: 8ª edición.*

<https://www.amazon.com/-/es/Curtis-Klaassen/dp/0071847081>

Lechkova-Borislava Benbassat Niko., Karcheva-Bahchevanska Diana., Ivanov-Kalin., Peychev Lyudmil., Peychev Zhivko., Dyankov Stanislav., Georgieva-Dimova Yoana., Kraev Krasimir and Ivanova Stanislava (2024). A Comparison between *Bulgarian Tanacetum parthenium* Essential Oil from Two Different Locations. *Moléculas de estudio comparativo. Vol.29 (9): Bulgaria. PMID: 38731460; PMCID: PMC11085318.*

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38731460/>

Lee Mike S. (2012). Mass Spectrometry Handbook. *Wiley. pages.1368, ISBN: 978-1-118-18072-3.*

<https://www.wiley.com/en-us/Mass+Spectrometry+Handbook-p-9781118180723>

Leicach, Silvia R. (2010). Aleopatía. Interacciones químicas en la comunicación y defensa de las plantas. *Editorial EUDEBA, Edición 2010, 202 páginas.*

<https://www.eudeba.com.ar/Papel/9789502314921/Aleopat%C3%ADa>

Llanos Arapa, Shepanie Karen, (2012). Extracción y caracterización del aceite esencial de molle (*Schinus molle* L.). *Tesis de pre grado en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.*

<https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/1463>

Long Christophe., Sauleau Pierre., David Bruno., Lavaud Catherine., Cassabois Valérie., Ausseil Frédéric. and Massiot Georges (2003). Bioactive flavonoids of *Tanacetum parthenium* revisited. *Phytochemistry Elsevier Volume 64, Issue 2, Pages 567-569*

[https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(03\)00208-5](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(03)00208-5)

López Belchi María Dolores, (2008). Toxicidad volátil de monoterpenos y mecanismos

bioquímicos en insectos plaga del arroz almacenado. *Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. Facultad de Química.*

<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/11037/LopezBelchi.pdf>

López de la Cruz, R. P., y Caso Orihuela, N. V. (2015). Rendimiento y composición química de aceites esenciales de *Eucalyptus archeri* y *Schinus molle* – Valle del Mantaro [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

<http://hdl.handle.net/20.500.12894/3508>

López, C., Vargas, M., & Martínez, R. (2017). Factores que influyen en la composición de aceites esenciales. *Revista Colombiana de Química*, 46(2), 56–67. Recuperado de

<http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/issue/archive>

Lososová Z., Axmanová I., Chytrý M., Midolo G., Abdulhak S., Karger D.N., Renaud J., Van Es J., Vittoz P. & Thuiller W. (2023). Seed dispersal distance classes and dispersal modes for the European flora. *Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. Missouri Bot. Gard.* 75: i–viii, 1–1181

<https://www.revistas.com/especie/tanacetum-parthenium>.

Lücker Joost, Bouwmeester Harro J. and Aharoni Asaph. (2007). Metabolic Engineering of Terpenoid Biosynthesis in Plants. *Applications of Plant Metabolic Engineering Chapter pp 219–236.*

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-6031-1_9

Mahecha-Jiménez Yudy S., Sierra-Quitian Andres G., Prieto-Rodriguez Juliet A. y Patiño - Ladino Oscar J. (2022). Insecticide potential of some essential oils from colombian plants for the control of stored products pest. *Revista Productos Naturales, XIV Congreso Colombiano de Fitoquímica*.5(2):74

<https://doi.org/10.3407/rpn.v5i2.6865>

MAPA, (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España). (2024). Guía sobre el uso sostenible de productos fitosanitarios. *Registro de productos fitosanitarios.*

<https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/sanidad-vegetal/productos-fitosanitarios/uso-sostenible-de-productos-fitosanitarios/>

Martinez Martinez Ricardo; Ortega Cerrilla María Esther; Herrera Haro José Guadalupe; Kawas Garza Jorge Ramsy; Zarate Ramos Juan y Robles Soriano Ramón. (2015). Uso de aceites esenciales en animales de granja. *Interciencia*, vol. 40, núm. 11, pp. 744-750 Asociación Interciencia Caracas, Venezuela.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33942541003>

- Martínez M, Alejandro. (2003). Aceites esenciales. *Facultad Química Farmacéutica Medellín: Universidad de Antioquia*.
www.medinformatica.com/OBSERVAMED/Descripciones/AceitesEsencialesUdeA_esencias2001b.pdf
- Meyers Robert A. and Wiley John, (2006). Gas Chromatography. In Encyclopedia of Analytical Chemistry. *WILEY-INTERSCIENCE, Inc. Publication, Hoboken, New Jersey*.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470027318>
- Midolo G., Herben T., Axmanová I., Marcenò C., Pätsch R., Bruelheide H., and Chytrý M. (2023). Disturbance indicator values for European plants. *Global Ecology and Biogeography*, 32, 24-34.
<https://doi.org/10.1111/GEB.13603>.
- Mills, J. R., and Ohlsson, T. (2018). "Hydrodistillation of Essential Oils: Principles and Applications". *Essential Oils: Extraction and Analysis*, 1(2), 25-40.
https://www.researchgate.net/publication/367332203_Recent_advances_in_the_extraction_methods_of_essential_oils_and_oleoresins_from_plant_materials_and_its_potential_applications_A_comprehensive_review
- MINAG, (2008). Ministerio de Agricultura. Maíz blanco gigante Cusco logra mayores fortalezas para ingresar a los mercados internacionales. Mayor productividad del Grano sagrado de los Incas se logra con la alianza estratégica entre el sector privado y público. *Preparado por Blgo. José Pozo Gonzáles, Jefe UD VI – INCAGRO*
<https://es.slideshare.net/slideshow/minag-bemsa-2012/23623437>
- MINAGRI, (2012). Ministerio de Agricultura y Riego *Sistema Integrado de Estadística Agraria*. Ministerio de Agricultura y Riego – MINAGRI.
<http://repositorio.minagri.gob.pe:80/jspui/handle/MINAGRI/233>.
- Mohsenzadeh F, Chehregani A and Amiri H. (2011). Chemical composition, antibacterial activity and cytotoxicity of essential oils of *Tanacetum parthenium* in different developmental stages. *Pharmaceutical Biology*, Vol. 49, N°9, Pág. 920-926.
<https://doi.org/10.3109/13880209.2011.556650>
- Mojab Faraz, Tabatabai Sayyed Abbas, Naghdi Badi Hasanali, Nickavar Bahman and Ghadyani Fahima, (2007) Essential Oil of the Root of *Tanacetum parthenium* (L.) Schulz. Bip. (Asteraceae) from Iran. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research* Vol.6, issue (4); pages: 291-293
<https://brieflands.com/articles/ijpr-128346>

Montiel R.N. (2019). AUTHORS INFO & AFFILIATIONS.

<https://www.w3.org/1999/xlink>

Murrieta-Dionicio Ulises, Medrano Hernández Jessica M, Guerra Ramírez Diana. y Valle Guadarrama Salvador. (2023). Composición de aceite esencial de hojas de *Schinus molle* L. afectada por el tiempo de extracción y escalamiento del proceso. *Revista Chapingo, Serie Ciencias forestales y del Ambiente, Volumen 29, Numero 2, paginas 25 – 40, Mexico, ISSN:200.*

<https://revistas.chapingo.mx/forestales/article/view/r.rchscfa.2022.04.027>

NCBI, (National Center for Biotechnology Information). (2021).

<https://www.mdi.nlm.nih.gov>

Nelson David L. y Cox Michael M. (2014). Lehninger: Principios de Bioquímica. 6ta edición. Editorial Omega. ISBN 9788428216036. Número de páginas

<https://www.libro-lehninger-principios-de-bioquimica-6-ed/9788428216036/2378556?srsId=AfmBOopcHxPHZM8jmBUJkcp1glXk8f5cBDxe2pc8ZGIItNC5A5mMZA5D>

Nicolaou KC, Chen Jason S, Edmonds David J, Estrada Anthony A. (2009). Recent advances in the chemistry and biology of naturally occurring antibiotics. *Angew Chem Int Ed Engl.* 48(4):660-719. PMID: 19130444; PMCID: PMC2730216.

[Doi:10.1002/anie.200801695](https://doi.org/10.1002/anie.200801695)

Onyegbula Akudo Francilia, Lawal Oluwasanmi Israel, Fashanu Titilope Abosede, Salawu Rukayat Adenike, Adebayo Odunayo Benedicta and Ayanda Ifedapo Solomon. (2019). Physicochemical Properties and Inhibitory effects of essential oils from selected local spices. *Innoware Journal of Agricultural Science, vol 7, issue 6, online - 2321-6832. Ilorin, Nigeria.*

[https://journals.innovareacademics.in > download](https://journals.innovareacademics.in/download)

Oscoco Huilca, O. (2019). Actividad insecticida y repelente del aceite esencial de los frutos de molle (*Schinus molle* L.) en gorgojos (*acanthoscelides obtectus*) de frijol (*phaseolus vulgaris* L.) en condición de almacenamiento.

http://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/742/T_0452.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Padin S., Ringuelet J. y Dal Bello G. (2000). Aceites esenciales para el control de insectos en granos almacenados. *Anales de SAIPA. Sociedad Argentina para la Investigación de Productos Aromáticos. IX Congreso Nacional de Recursos Naturales y Medicinales. XVI: 13-19.*

<http://www.herbotecnia.com.ar/c-biblio016-02.html>

Pavela Roman., Sajfrtová Marie., Sovová Helena. and Bárne Martint., (2010). The insecticidal activity of *Tanacetum parthenium* (L.) Schultz Bip. extracts obtained by supercritical fluid extraction and hydrodistillation. *Industrial Crops and Products* Volume 31, Issue 3, May, Pages 449-454.

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.01.003>

Pavela Roman and Novák Matěj (2024). Insecticidal Activity of Some Major Essential Oil Components against *Metopolophium dirhodum* and Its Predators. *Plants, Control de insectos ecológicos: el impacto potencial de los aceites esenciales vegetales* 13(13).

<https://doi.org/10.3390/plants13131863>

Pénoël Daniel, Franchomme Pierre. and Jollois Roger. (2001). L'AROMATHÉRAPIE. EXACTEMENT. *LIBRO Tous droits réservés pour tous pays. Editions Roger Jollois. ISBN: 2-87819-001-7*

<http://voila.mes.photo.free.fr/livre/plante%20medicinale/L'aromath%C3%A9rapie%20exactement.pdf>

Peña Caiza Jairo Medardo, (2018). Evaluación del efecto antialimentario y actividad insecticida del aceite esencial de molle (*Schinus molle* L.) frente al gusano blanco de la papa (*Premnotrypes vorax hustache*). *Tesis de pre-grado. Universidad Técnica de Ambato – Ecuador.*

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28759/1/Tesis-213%20%20Ingenier%c3%ada%20Agron%c3%b3mica%20-CD%20606.pdf>

Philco Guzmán, Xiomy Mitzy y Bravo Zamora, Ricardo Ulices (2019). Estudio comparativo de la actividad antibacteriana in vitro del aceite esencial del *Schinus molle* L. (molle) frente al gluconato de clorhexidina al 2% sobre cepas de *Enterococcus faecalis*. Cusco. *Tesis de Pre-Grado. Universidad Andina del Cusco-Perú.*

<https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/2390>

Pérez-Urria Carril, E., y Ávalos García, A., (2009). Metabolismo secundario de plantas. *Revista Reduca (Biología). Serie Fisiología Vegetal* 2(3): 119–145.

https://eprints.ucm.es/9603/1/Metabolismo_secundario_de_plantas.pdf
eprints.ucm.es

Pinedo Arevalo Harvey Pacifico. (2008). Efecto biocida de cuatro extractos de *paullinia clavigera schldl. Var. Bulluta* D.R. Simoson sobre tres artrópodos de Pucallpa [Tesis pre grado]. Universidad Nacional Agraria de la Selva.

<https://agronomia.unas.edu.pe/sites/default/files/AGR-549.pdf>

- Pino Alea Jorge Antonio, (2015). Aceites esenciales. Química, Bioquímica, Producción y Usos. *Editorial Universitario. ISBN (pdf):978-959-16-2556-4. Habana, Cuba.*
<https://es.slideshare.net/slideshow/aceites-esenciales-quimica-bioquimica-produccion-y-usosj-a-p-alea-pdf/183162065>
- Plaza Mirtha y Ricalde Mariela (2015). Establecer parámetros de control de calidad físico químicos del aceite esencial del *Schinus molle* L. obtenido por arrastre de vapor. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación.vol.11 No.12 Chuquisaca*
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-87872015000200005
- Polatoglu K, Demirci F, Demirci B, Gören N, Başer KH, (2010) Antibacterial activity and the variation of *Tanacetum parthenium* (L.) Schultz Bip. essential oils from Turkey, US. *National Library of Medicine National Institutes of Health, J Oleo Sci.*;59(4):177-84.
[Doi: 10.5650/jos.59.177](https://doi.org/10.5650/jos.59.177)
- Polatoglu K., Karakoc, TC., Yücel YY., Demirci B., Gören N. and Baser KC. (2015). Composition, insecticidal activity and other biological activities of *Tanacetum abrotanifolium* Druce. essential oil. *Revista Industrial Crops and Products. Vol. Pages 7-14*
[http://www.scopus.com/Tanacetum abrotanifolium Druce. Essential oil](http://www.scopus.com/Tanacetum%20abrotanifolium%20Druce.%20Essential%20oil)
- Quevedo Willis, (2013). Maíz Blanco Urubamba (Blanco Gigante Cusco). *Ministerio de agricultura instituto nacional de innovación agraria - INIA Serie Manual N° - 13.*
https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/87/3/Quevedo-Manual...maiz_blanco_Urubamba.pdf
- Ramírez-Albores, Jorge Enrique (2016). Predicción de la distribución geográfica y conservación de nicho de un árbol invasor en México. *Ecosistemas 25 (3): 160-163.*
<https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-3.22>
- Rauh, Virginia. A., Garfinkel, R., Perera, F. P., Andrews, H. F., Hoepner, L., Barr, D. B., Whitehead, R., Tang, D., & Whyatt, R. W. (2006). Impact of prenatal chlorpyrifos exposure on neurodevelopment in the first 3 years of life among inner-city children. *Pediatrics, 118*(6), e1845–e1859.
<https://doi.org/10.1542/peds.2006-0338>
- Regnault-Roger, C., Vincent, C., & Arnason, J. T. (2012). Essential oils in insect control: Low-risk products in a high-stakes world. *Annual Review of Entomology, 57*, 405–424.

<https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120710-100554>

Rodríguez López María Isabel (2017). Estudio de los parámetros fisicoquímicos de los complejos de timol, carvacrol y linalol en ciclodextrinas y evaluación del efecto de la complejación en su actividad antimicrobiana. *Universidad Católica de Murcia. ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO Programa de Doctorado en Nutrición y Seguridad Alimentaria. Tesis doctoral-España.*

<https://repositorio.ucam.edu/bitstream/handle/10952/2441/Tesis.pdf?sequence=1>

Rodriguez Torres Lelia María, Roque Huanca Bernardo y Solís Quispe Leoncio (2021). Actividad insecticida del aceite esencial de pampa anís (*tagetes filifolia lag.*) sobre el gorgojo del maíz (*Pagiocerus frontalis*). *Revista de Investigaciones Vol. 10 Núm. 3, páginas: 186-197. ISSN-e: 2077-8686, ISSN: 1997-4035. Puno*

<https://doi.org/10.26788/riepg.v10i3.2329>

Rosen, M. J., & Kunjappu, J. T. (2012). *Surfactants and Interfacial Phenomena. (4th ed.). John Wiley & Sons.*

<http://dx.doi.org/10.1002/9781118228920>

Rozman V, Kalinovic I, Korunic Z. (2007). Toxicity of naturally occurring compounds of Lamiaceae and Lauraceae to three stored-product insects. *Journal of Stored Products Research Vol.43 pages: 349-355*

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022474X06000725>

Rzedowski, G. C. y J. Rzedowski, (2001). *Flora fanerogámica del Valle de México. 2a ed. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México.*

https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/Flora_del_Valle_de_Mx1.pdf

Salvia-Trujillo, L., Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2015). Impact of microfluidization or thermal treatment on the physicochemical properties and stability of lipid-based emulsions containing essential oils. *Food Hydrocolloids, 43, 640–650.*

<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.10.045>

Santana de Oliveira Mozaniel, De Aguiar Andrade Eloisa Helena, Surguchov Andrei (2022). *Essential Oils - Advances in Extractions and Biological Applications. Part of the book series Biochemistry. eBook (PDF) ISBN978-1-80355-755-7.*

<https://www.intechopen.com/books/11332>

Shankar Shukla Shiv, Kumar Pandey Ravindra, Bina Gidwani Ravindra & Gunjan Kalyani.

(2021). Insight on Genotoxicity. CRC Press ,1st Edition, Copyright Routledge-IntechOpen - Open Science Open Minds.

<https://www.routledge.com/Insight-on-Genotoxicity/Shukla-Pandey-Gidwani-Kalyani/p/book/9780367473372>

Sharopov Farukh S., Setzer William N., Isupov Salomiddin J. Wink Michael (2015).

Composition and bioactivity of the essential oil of *Tanacetum parthenium* from a wild population growing in Tajikistan. American Journal of Essential Oil and Natural Products. *International Journalail*. Volume 2(4):32-34, Issue 4.

<https://www.essencejournal.com/vol2/issue4/pdf/2-4-9.1.pdf>

Silva-Aguayo, G. I., Kiger Melivilu, R., Hepp Gallo, R., y Tapia Vargas, M. (2005).

Control de *sitophilus zeamais* con polvos vegetales de tres especies del género *chenopodium*. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 40(10), 953–960.

<https://www.scielo.br/j/pab/a/Z7GxfdZxC6n4z4hXhPdcgdx/?lang=es>

Skoog. Douglas A., Holler. F. James y Crouch. Stanley R., (2008). Principios de Análisis Instrumental. *Copyrigh*, 7ª edición.

https://books.google.com/books/about/Principles_of_Instrumental_Analysis.html?id=D13EDQAAQBAJ books.google.com

SNIEG, (Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica). (2023)

<https://www.inegi.org.mx/inegi/acercade.html>

Solís Quispe, L., Pino Alea J.A., Solís Quispe J., Tomaylla Cruz C., Aragón Alencastre L.

(2018). Plantas y Aceites esenciales como insecticidas. Una alternativa de manejo ecológico. Primera edición. Impreso UNSAAC.ISBN:9786124236136.

Solís-Quispe Leoncio, Pino Jorge A., Falco Ana S., Tomaylla Cruz Ciro, Quispe Tonccochi

Erickson G., Solís Quispe Jorge Alberto., Aragón Alencastre Luz Jaqueline. & Solís-Quispe Anita. (2019). Composición química y actividades antibacterianas del aceite esencial de *Ageratina pentlandiana* (DC.) R.M. Rey y H. Rob. hojas cultivadas en los Andes peruanos. *Journal of Essential Oil Research*, Vol.31, Pages: 409-413.

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10412905.2019.1593891?scroll=top&needAccess=true>

Sparkman, O. D., Penton, Z. E., & Kitson, F. G. (2011). *Gas Chromatography and Mass Spectrometry: A Practical Guide* (2ª ed.). Academic Press.

https://books.google.com/books/about/Gas_Chromatography_and_Mass_Spectrometry.html?id=GDgoogUoOBUC Google Libros+2ResearchGate+2

- Sparling, D. W., & Fellers, G. M. (2007). Comparative toxicity of chlorpyrifos, diazinon, malathion and their oxon derivatives to larval *Rana boylii*. *Environmental Pollution*, 147(3), 535–539
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.10.036>
- Stojković Maja, Todorovi Zoran, Protic Dragana, Stevanovic Strahinja, Medic Dragana, Charvet Claude L., Courtot Elise, Marjanovic Djordje S., Nedeljković Trailović Jelena and Trailović Saša M. (2024). Pharmacological effects of monoterpene carveol on the neuromuscular system of nematodes and mammals. *Frontiers in Pharmacology, Volume 15, Belgrade, Serbia*.
<https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1326779>
- Tapondjou A.L., Adler C., Fontem D. A., Bouda H., & Reichmuth C. (2005). Bioactivities of thymol and essential oils of *Cupressus semepervirens* and *Eucaliptus saligana* against, *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Tribolium confusum* du Val. *Elsevier, Journal of Stored Product Research, Volume 41: 91-102. Dschang, Cameroon*.
<https://doi.org/10.1016/j.jspr.2004.01.004>
- Tichý Lubomír, Axmanová Irena, Dengler Jürgen, Guarino Riccardo, Jansen Florian, Midolo Gabriele, Chytrý Milan. (2023). Botanical names, Ellenberg-type indicator values for European vascular plant species. *Journal of Vegetation Science*, 34, e13168. *Brno, Czech Republic*
<https://doi.org/10.1111/jvs.13168>.
- Tisserand Robert y Young Rodney (2013). Essential Oil Safety: A Guide for Health Care Professionals. *Editorial Churchill Livingstone-Edición 2ª edición*.
<https://www.amazon.com/-/es/Robert-Tisserand/dp/0443062412>
- Tiuman Shioji Tatiana, Ueda-Nakamura Tânia, Garcia Cortez Diógenes Aparício, Prado Dias Filho Benedito, Morgado-Díaz José Andrés, de Souza Wanderley and Vataru Nakamura Celso (2005). Antileishmanial Activity of Parthenolide, a Sesquiterpene Lactone Isolated from *Tanacetum parthenium*. *Antimicrob Agents Chemother*; 49(1): 176–182. *Maringá, Paraná*.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC538891/>
- Tomaylla Cruz Ciro. (2018). Composición química y efecto insecticida de los aceites esenciales de *Tanacetum vulgare* linnaeus y *mentha piperita* var. vulgaris (ehrh) briq. sobre *epitrix* spp. *Tesis de Maestría. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco-Perú, Escuela De Post Grado*.

<http://hdl.handle.net/20.500.12918/2850>

Toro G. Haroldo, Chiappa, T. Elizabeth y Tobar M. Carmen (2003). Introducción a la Entomología. *En Biología de los insectos. Ediciones. Universitarias de Valparaíso, Chile. Cap.4: 115-128.*

<https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/17785>

Torres Quispe, Karina. y Castro Ccoscco, Rosa Mercedes. (2016). Actividad Insecticida de los aceites esenciales de *Eucalyptus globulus* labill, *Schinus molle* L. y *Cymbopogon citratus* (DC) STAPF sobre el barreandor del maíz: *Pagiocerus frontalis* (Coleoptera - Curculionidae) (Fabricius, 1801). *Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Perú.*

<http://hdl.handle.net/20.500.12918/2652>

Végh Krisztina, Riethmüller Eszter, Tóth Anita, Alberti Ágnes, Szabolcs Béni, Balla József and Kéry Ágnes. (2016). Convergence chromatographic determination of camphor in the essential oil of *Tanacetum parthenium* L. *Medicine Nacional, Biomed Chromatogr. Dec;30(12):2031-2037. Budapest, Hungary.*

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27324458/>

Verpoorte. R, Alfermann. A.W, Johnson. T.S. (2007). Applications of Plant Metabolic Engineering. *Book, Springer. The Netherlands*

<https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4020-6031-1>

Villegas-Ramírez, Heriberto Miguel. (2017). Actividad larvica de aceites esenciales para el control de *Musca doméstica* L. (Díptera, Muscidae). *Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Nuevo León-Mexico.*

http://www.fcb.uanl.mx/nw/images/stories/tesis/Heriberto_Miguel_Villegas_Ramirez.pdf

Wallace Hayes. A. "Principles and Methods of Toxicology" (2014). *Editorial: CRC Press, 5ª edición, pp: 1223-1264*

<https://www.amazon.es>

Ware W. George (1999). AN INTRODUCTION TO INSECTICIDES.(The Pesticide Book,) *Department of Entomology University of Arizona Tucson, Arizona. 3rd edition, Thomson Publications. Microsoft Word - AN INTRODUCTION TO INSECTICIDES.doc.*

<http://www.bio-nica.info/biblioteca/Ware2002IntroductionInsecticides.pdf>

Whitehorn, P. R., O'Connor, S., Wackers, F. L., & Goulson, D. (2012). Neonicotinoid

Pesticide Reduces Bumble Bee Colony Growth and Queen Production. *Science*, 336: 351-352.

<https://doi.org/10.1126/science.1215025> PubMed+2periodicos.capes.gov.br+2

Worwood Valerie Ann (2016). The Complete Book of Essential Oils and Aromatherapy. (25th Anniversary Edition). Editorial New World Library.

<https://www.amazon.com/-/es/Valerie-Ann-Worwood/dp/1577311396>

Xie Yongjian, Wang Kun, Huang Qiuying and Lei Chaoliang. (2014). Evaluation toxicity of monoterpenes to *S. termite*, *R. chinensis* Snyder. Elsevier, *Industrial Crops and Products*. *Industrial Crops and Products* vol.53, pag.163–166. Wuhan, China.

[Doi=10.1016/j.indcrop.2013.12.021](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.12.021)

Zamora Mendoza, Anahí Guadalupe (2022). Efecto de la nano encapsulación de los aceites esenciales de *Schinus molle* L. y *Thymus vulgaris* L. sobre la concentración letal 50 utilizando los modelos de hemólisis eritrocitaria inducida y *Artemia salina*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

<http://eprints.uanl.mx/23552/1/1080144522.pdf>

Zoubiri Safia y Baaliouamer Aoumeur. (2014). Potentiality of plants as source of insecticide principles. *Journal of Saudi Chemical Society* Volume 18, Pages 925-938. Bab-Ezzouar, Algiers, Algeria

<https://doi.org/10.1016/j.jscs.2011.11.015>

Zuñiga Olaguibel, Magnolia (2022). Composición química de los aceites esenciales de *Minthostachys spicata* (Benth) Epling, *Clinopodium bolivianum* (Benth) Kuntze, *Tanacetum vulgare* Linnaeus y *Mentha piperita* var. *Citrata* (Ehrh.) Briq y su efecto insecticida para *Pagiocerus frontalis*. Tesis de Maestría, Escuela de Posgrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco-Perú.

https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/6866/253T20221113_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia.

TITULO: COMPOSICIÓN QUÍMICA Y EFECTO INSECTICIDA DE ACEITES ESENCIALES, DE *Schinus molle* L Y *Tanacetum parthenium* L. CONTRA EL *Pagiocerus frontalis*.

Problema general	Objetivos generales	Hipótesis general	Variables descritas	Indicadores
¿Cuál es la composición química y el efecto insecticida de los aceites esenciales de <i>Schinus molle</i> y <i>Tanacetum parthenium</i> contra insectos adultos de <i>Pagiocerus frontalis</i>? ESPECÍFICOS 1.- ¿Cuál es el rendimiento de extracción de los aceites esenciales de las especies de <i>Schinus molle</i> y <i>Tanacetum parthenium</i>, por hidrodestilación con trampa de Clevenger? 2.- ¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos de los aceites esenciales de	Determinar la composición química y el efecto insecticida de los aceites esenciales de <i>Schinus molle</i> y <i>Tanacetum parthenium</i>, contra insectos adultos <i>Pagiocerus frontalis</i>. ESPECIFICOS 1.- Determinar el rendimiento de la extracción de aceites esenciales de <i>Schinus molle</i> y <i>Tanacetum parthenium</i> por hidrodestilación con trampa de Clevenger. 2.- Evaluar los parámetros fisicoquímicos de los aceites esenciales de <i>Schinus molle</i> y <i>Tanacetum parthenium</i> 3.- Determinar la composición química de los aceites	Los aceites esenciales de <i>Schinus molle</i> y <i>Tanacetum parthenium</i> en su composición presentan unas mezclas complejas monoterpenos, sesquiterpenos y compuestos fenólicos los cuales les otorgan un efecto insecticida contra <i>Pagiocerus frontalis</i>, insecto depredador del maíz. ESPECIFICOS 1.- Los aceites esenciales de <i>Schinus molle</i> y <i>Tanacetum parthenium</i> muestran un alto porcentaje de extracción mediante hidrodestilación.	Tiempo de valoración de la mortalidad. Evaluación del efecto insecticida de los aceites esenciales sobre INDEPENDIENTE Concentración de aceite esencial de <i>Schinus molle</i> Y <i>Tanacetum parthenium</i> Tiempo. DEPENDIENTE Efecto insecticida de los aceites esenciales. número de gorgojos muertos en un tiempo determinado.	Horas [Conc.] INDEPENDIENTE [Conc.] Horas DEPENDIENTE Mortalidad de los gorgojos de maíz. DL50 (Dosis letal media)

<i>Schinus molle</i> y <i>Tanacetum parthenium</i>? 3.- ¿Cuál es la composición química de los aceites esenciales de <i>Schinus molle</i> y <i>Tanacetum parthenium</i> determinados por Cromatografía de Gases - Espectrometría de Masas? 4.- ¿Cuál es el efecto insecticida de los aceites esenciales de <i>Schinus molle</i> y <i>Tanacetum parthenium</i> contra insectos adultos de <i>Pagiocerus frontalis</i>, por el método de impregnación en papel?	esenciales de <i>Schinus molle</i> y <i>Tanacetum parthenium</i> determinados por Cromatografía de Gases - Espectrometría de Masas. 4.- Evaluar el efecto insecticida de aceites esenciales de <i>Schinus molle</i> y <i>Tanacetum parthenium</i> diferentes concentraciones, contra insectos adultos de <i>Pagiocerus frontalis</i>, por el método de impregnación en papel.	2.- Mediante Cromatografía de Gases – Espectrometría de Masas, se identifican en mayor proporción de componentes fitoquímicos presentes en los aceites esenciales de <i>Schinus molle</i> y <i>Tanacetum parthenium</i>.		
--	---	---	--	--

Anexo 2: Instrumentos de recolección de información

➤ Tablas y figuras de resultados.

Tabla 15

Variables e indicadores del efecto insecticida de los aceites esenciales de Schinus molle L. y Tanacetum parthenium L. sobre Pagiocerus frontalis.

Definición	Variables	Indicadores
Variable dependiente	Efecto insecticida de Aceites esenciales de <i>S. molle</i> y <i>T. parthenium</i>	<i>Pagiocerus frontalis</i>
Evaluación del efecto insecticida de los aceites esenciales sobre <i>Pagiocerus frontalis</i> .	Número de gorgojos muertos en un determinado tiempo.	CL ₅₀ (Concentración letal media).
Variable independiente		
Composición del aceite esencial de <i>Schinus molle</i> y <i>Tanacetum parthenium</i>	Tiempo de retención y Porcentaje de abundancia de los componentes del aceite esencial de <i>S. molle</i> y <i>T. parthenium</i>	% de abundancia
Evaluación de [Conc.] de los A.E para medir el efecto insecticida.	Concentración del aceite esencial de <i>S. molle</i> L. y <i>T. parthenium</i> L.	% V/V
Variable interviniente	Tiempo de exposición al aceite esencial	Horas

Tabla 16

Rendimiento de extracción de los aceites esenciales de Schinus molle y Tanacetum parthenium expresados en (% p/v)

Especie	Rep.	Peso (g)	Volumen (ml)	Extracción % (P/V)	$\bar{x} \pm D.S$
<i>Tanacetum parthenium</i> L.	1	325	2.6	0.80	
	2	300	2.0	0.67	
	3	320	2.4	0.75	
					0.74 ± 0.7
<i>Schinus Molle</i> L.	1	532	4.6	0.98	
	2	355	4.0	0.71	
	3	380	4.4	0.93	
					0.83 ± 0.14

Nota: Rep = repeticiones, % (P/V) = porcentaje de peso a volumen, g = gramos, ml = mililitro, $\bar{X}$ = promedio.

Tabla 17*Componentes químicos del Tanacetum partheum L.*

	PEAK LIST						
	tanacetumjero2.raw						
	RT: 0.00 - 50.09						
	Number of detected peaks: 4						
Componentes químicos.	Apex RT	Start RT	End RT	Area	%Area	Height	%Height
Alcanfor	11.57	11.52	11.64	34833176	9.65	10970020	9.22
1,7,7-trimethyl-2-hydroxybicyclo [2.2.1]heptane	12.36	12.29	12.43	46693158	12.93	13896327	11.68
Carveol	14.23	14.15	14.31	2.4E+08	66.41	81482354	68.47
ISO BORNYL ACETATE	16	15.95	16.06	39763213	11.01	12662148	10.64

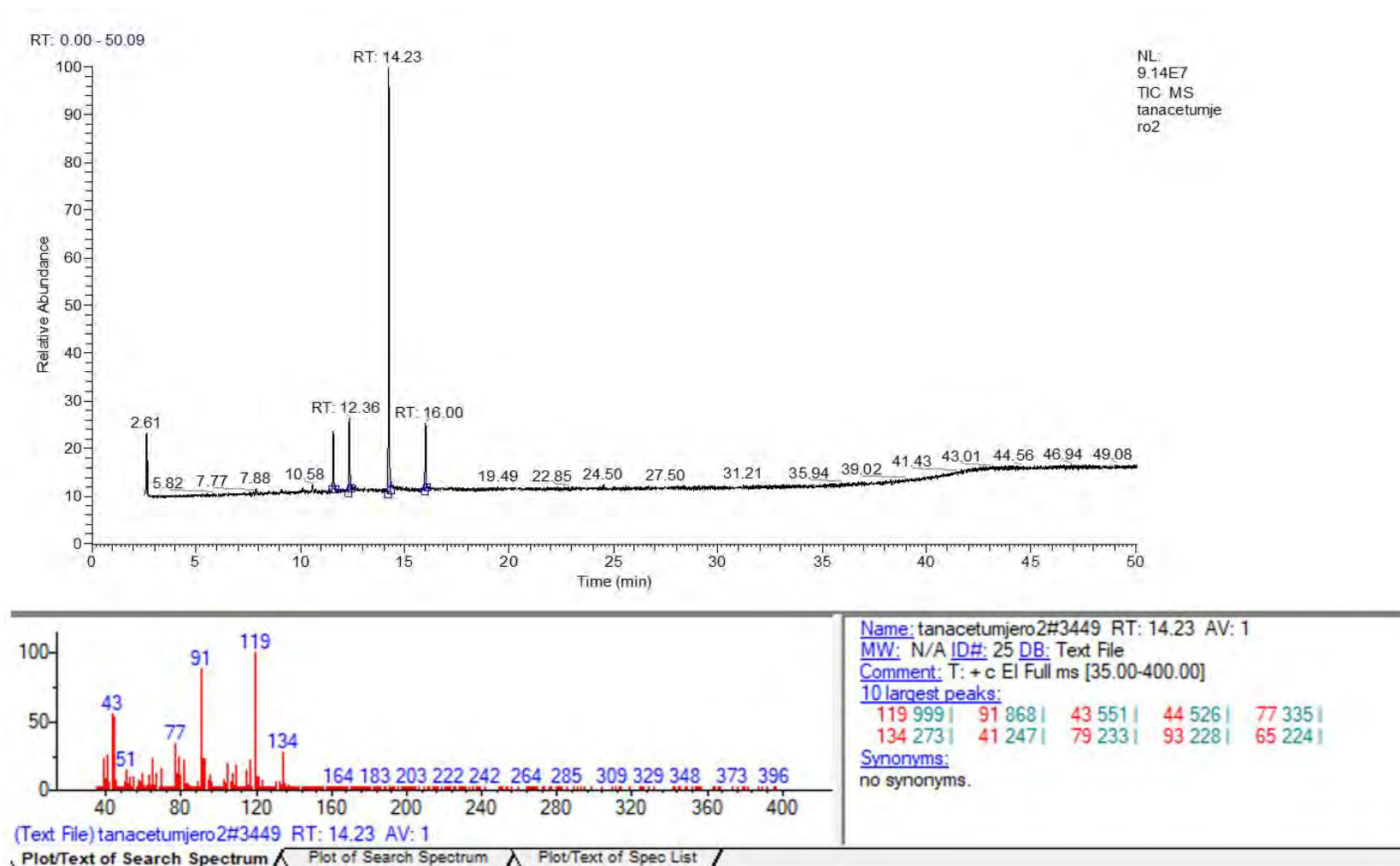
Figura 2411*Cromatograma del Tanacetum parthenium*

Figura 25

Cromatograma del componente mayoritario y espectro de masa del T. parthemium

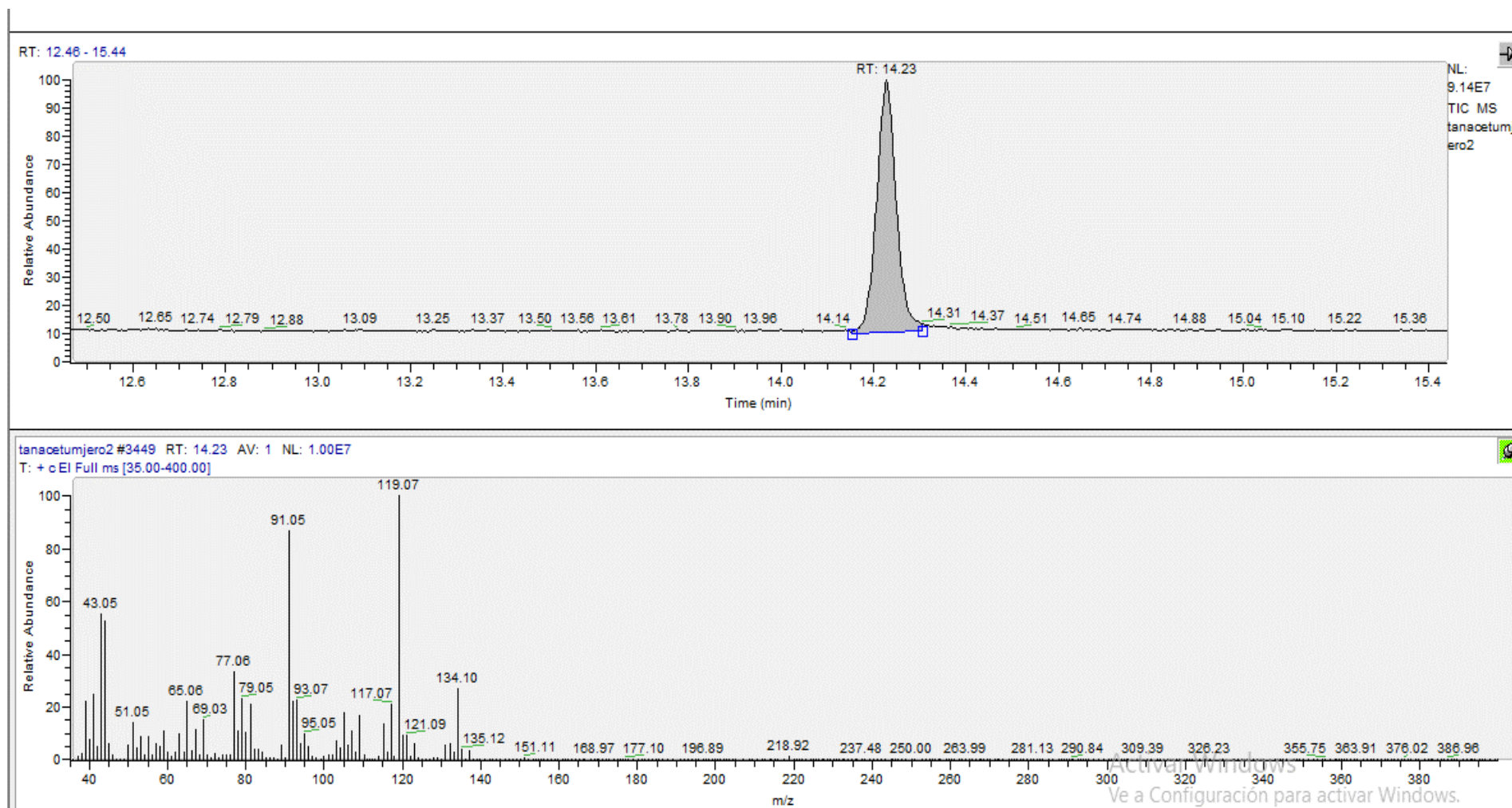


Figura 26

Espectro de masas de cis 2,3-Pinanodiol

data01_19mollefar #4292 RT: 17.09 AV: 1 NL: 1.81E7

T: + c EI Full ms [35.00-400.00]

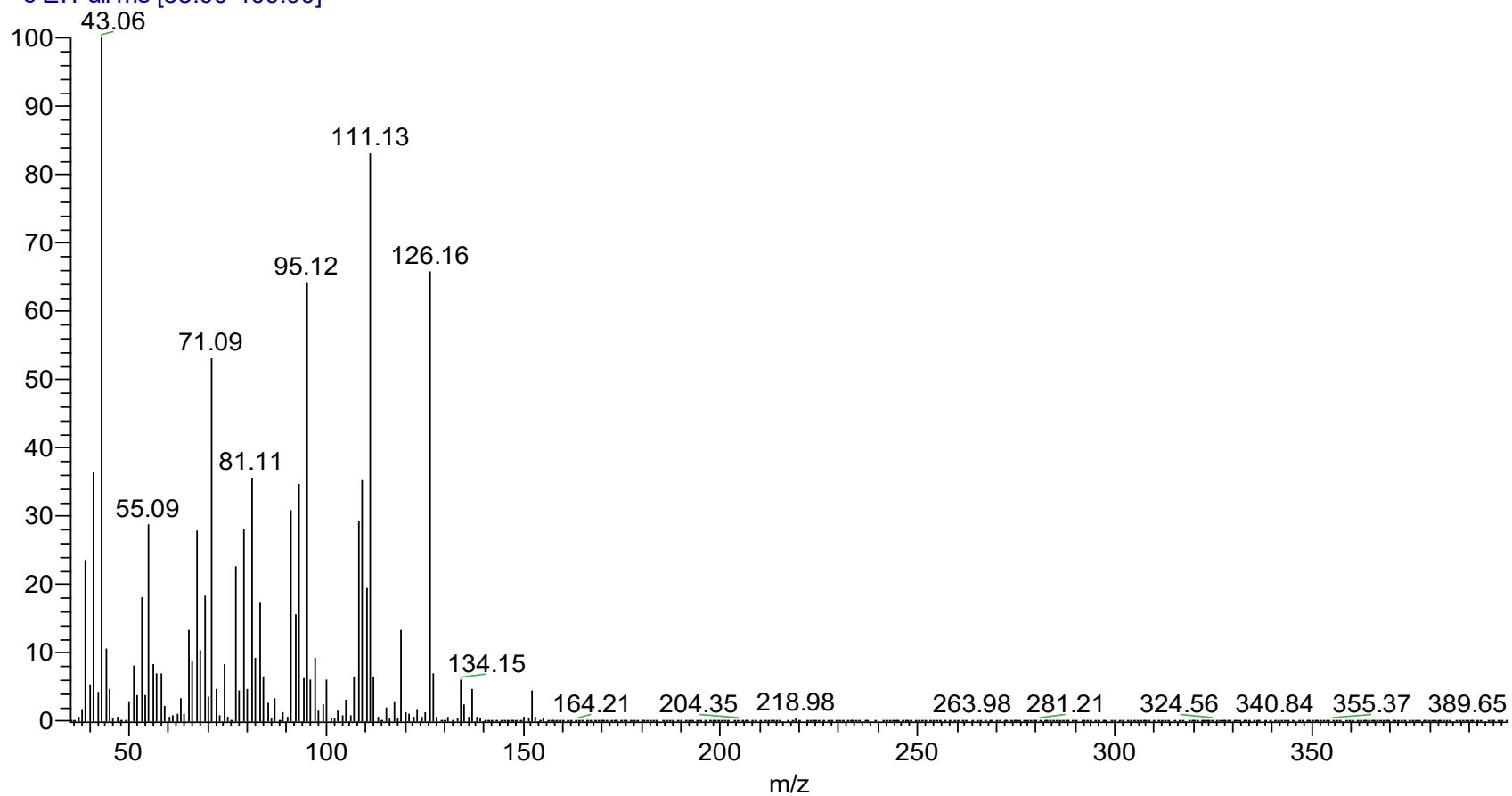


Figura 127

Espectro de masas de los picos más alto de los diez picos grandes del Schinus molle

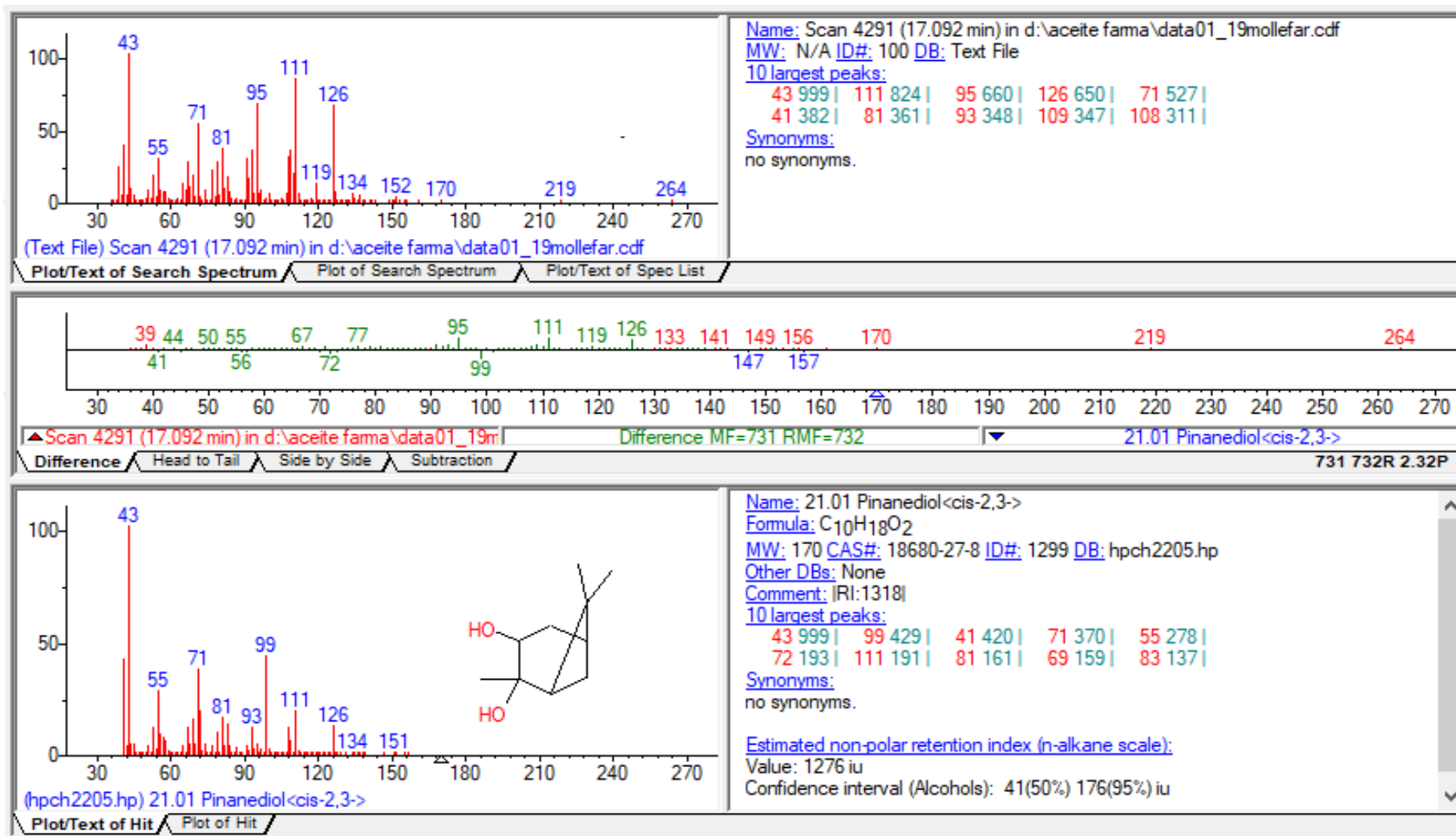
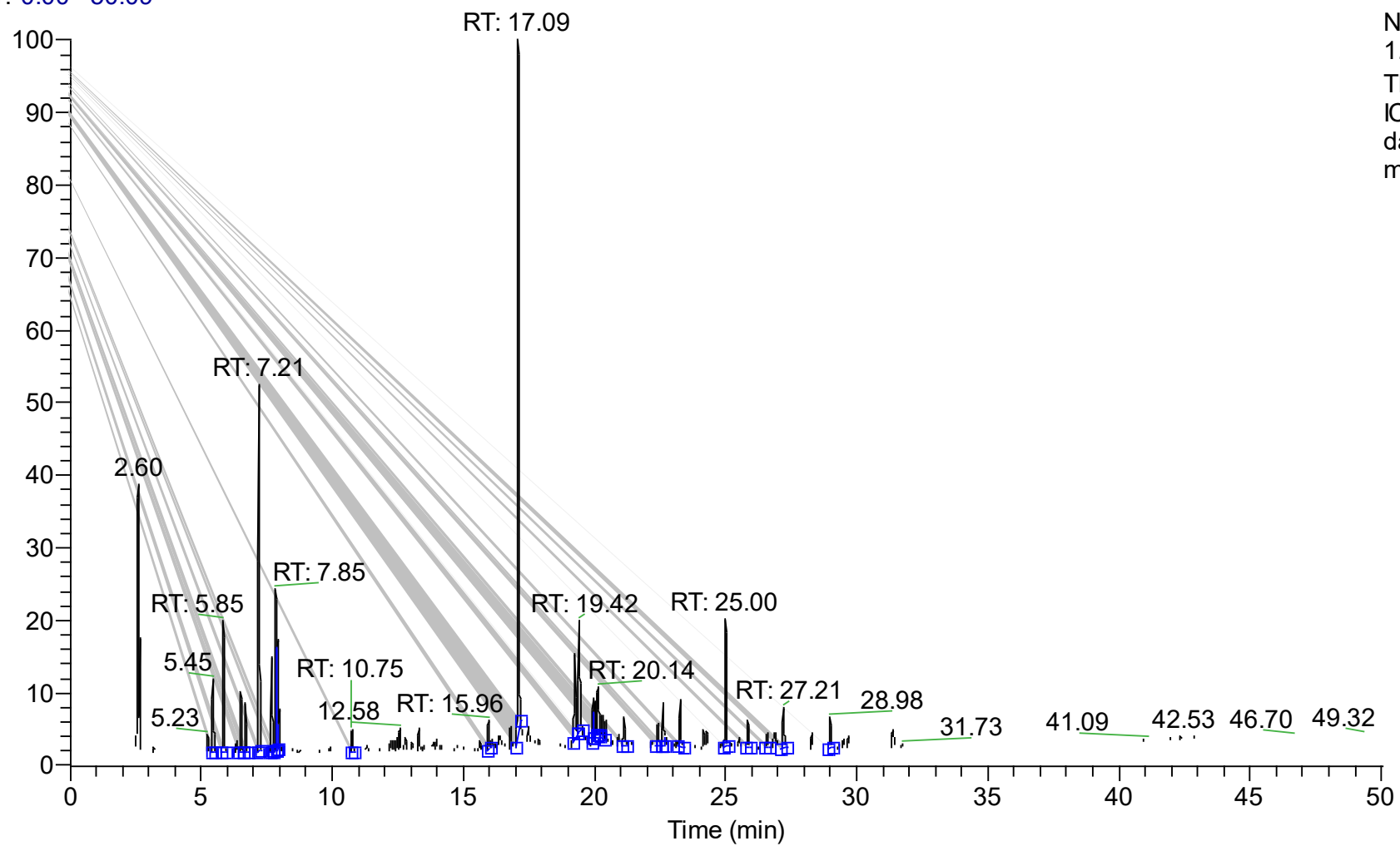


Figura 28

Cromatograma del aceite esencial de S. molle

RT: 0.00 - 50.09



NL:
1.92E8
TIC MS
ICIS
data01_19
mollefar

Tabla 17

Efecto insecticida del aceite esencial de Schinus molle L. sobre Pagiocerus frontalis a distintas concentraciones y tiempos de exposición.

Concentración del A.E. de <i>S. Molle</i>	Mo rtalidad de Insectos		±D.S	
	04 horas	12 Horas	24 horas	48 horas
	Rep.	Nº GM	Rep.	Nº GM
% V/V				
0%	A	0	A	0
	B	0	B	0
	C	0	C	0
D.S		0 ±0		0 ±0
$\bar{x}$		0		0
0.5%	A	1	A	2
	B	2	B	5
	C	2	C	3
D.S		0 ±0.577		0 ±1.528
$\bar{x}$		1.67		3.33
1.0%	A	4	A	5
	B	5	B	6
	C	5	C	6
D.S		0 ±0.577		0 ±0.577
$\bar{x}$		4.67		5.67
1.5%	A	5	A	7
	B	6	B	7

	C	7	C	8	C	9	C	9
D.S		0 ± 1		0 ± 0.577		0 ± 0.577		0 ± 0.577
$\bar{x}$		6		7.33		8.33		8.67
	A	7	A	8	A	9	A	9
2.0%	B	7	B	8	B	9	B	9
	C	8	C	9	C	9	C	10
D.S		0 ± 0.577		0 ± 0.577		0 ± 0		0 ± 0.577
$\bar{x}$		7.33		8.33		9		9.33
	A	9	A	10	A	10	A	10
5.0%	B	9	B	10	B	10	B	10
	C	10	C	10	C	10	C	10
D.S		0 ± 0.577		0 ± 0		0 ± 0		0 ± 0
$\bar{x}$		9.33		10		10		10

Figura 29.

Concentración letal media (CL₅₀), del efecto insecticida del A.E de Schinus molle L.± D.S para Pagiocerus frontalis, hasta 48 horas de exposición. Analisis Probit (Metodo Finney [Distribucion Lognormal]).

Análisis Probit (Método Finney [Distribución Lognormal])							
Log10[Dosis (Estímulo)]	Porcentaje Actual (%)	Probit (Y)	Peso (Z)	X'Z	X'X'Z	Y'Z	X'Y'Z
-0.301	0.7143	5.5641	4.0979	-1.6754	1.0922	24.3152	12.1576
0	0.8889	6.1545	2.4027	0	2.8377	17.6525	17.6525
0.1761	0.9688	7.5127	0.8701	1.2085	2.8658	8.7416	13.1124
0.301	0.9722	7.8845	0.4155	2.0816	4	6.9149	13.8299
Suma			7.7862	-0.9553	0.436	47.4014	0
Dosis (Estímulo)	Porcentaje Actual (%)	Porcentaje Probit (%)	N	R	E(R)	Diferencia	Chi cuadrado
-0.301	0.7143	0.6839	7	5	4.787	0.213	0.0095
0	0.8889	0.9341	9	8	8.4069	-0.4069	0.0197
0.1761	0.9688	0.9825	8	7.75	7.8601	-0.1101	0.0015
0.301	0.9722	0.9944	9	8.75	8.9495	-0.1995	0.0044
Chi cuadrado	0.0352	Grados de Libertad	2	nivel p	0.9826		
Percentil de Dosis (Estímulo)							
Percentil	Probit (Y)	Log10[Dosis (Estímulo)]	Error Estándar	Dosis (Estímulo)	Error Estándar		
1	2.6732	-1.1221	-16.0482	0.0755	-421.758,758,599,184.5		
5	3.3548	-0.9226	-12.8401	0.1195	-413.523,231,946.571		
10	3.7183	-0.8162	-11.1286	0.1527	-10.266,228.401.6101		
20	4.1585	-0.6873	-9.0546	0.2054	-116.466,069.7691		
25	4.3258	-0.6384	-8.2661	0.2299	-21.216,619.6921		
30	4.476	-0.5944	-7.5579	0.2544	-4.596,510.3977		
40	4.7471	-0.5151	-6.2785	0.3054	-289.984.6012		
50	5	-0.4411	-5.0826	0.3622	-21.904.6868		
60	5.2529	-0.367	-3.8829	0.4295	-1.639.8618		
70	5.524	-0.2877	-2.5866	0.5156	-99.5155		
75	5.6742	-0.2438	-1.8557	0.5705	-20.4564		
80	5.8415	-0.1948	-1.0009	0.6386	-3.1673		
90	6.2817	-0.0659	-0.7002	0.8591	-2.0684		
95	6.6452	0.0404	-2.5553	1.0976	-197.1268		
99	7.3268	0.2399	-5.7973	1.7374	-544.698.9083		

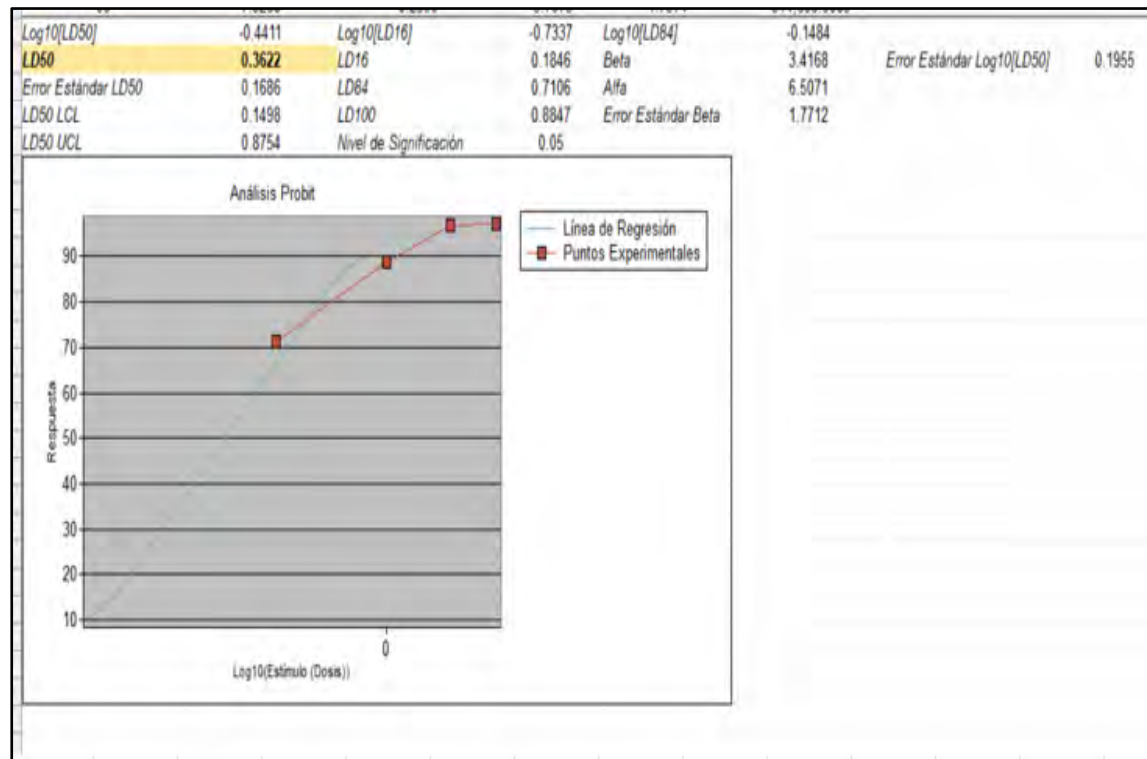


Tabla 19.

Efecto insecticida del aceite esencial de Tanacetum parthenium L. sobre Pagiocerus frontalis a distintas concentraciones y tiempos de exposición.

Concentracion del A.E de	Mortali		dad		de		insectos		± D.S
	04	horas	12	horas	24	horas	48	horas	
<i>T. parthenium</i> % V/V	Rep.	Nº GM	Rep.	Nº GM	Rep.	Nº GM	Rep.	Nº GM	
0%	A	0	A	0	A	0	A	0	
	B	0	B	0	B	0	B	0	
	C	0	C	0	C	0	C	0	
	D.S	0 ±0		0 ±0		0 ±0		0 ±0	
$\bar{x}$		0		0		0		0	
0.05%	A	2	A	5	A	5	A	7	
	B	0	B	1	B	4	B	5	
	C	1	C	2	C	5	C	5	
	D.S	0 ±1		0 ±2.082		0 ±0.577		0 ±1.155	
$\bar{x}$		1		2.67		4.67		5.67	
0.10%	A	4	A	7	A	8	A	9	
	B	1	B	3	B	7	B	8	
	C	2	C	5	C	6	C	8	
	D.S	0 ±1.528		0 ±2		0 ±1		0 ±0.577	
$\bar{x}$		2.33		5		7		8.33	
0.30%	A	6	A	9	A	9	A	10	
	B	5	B	9	B	9	B	10	

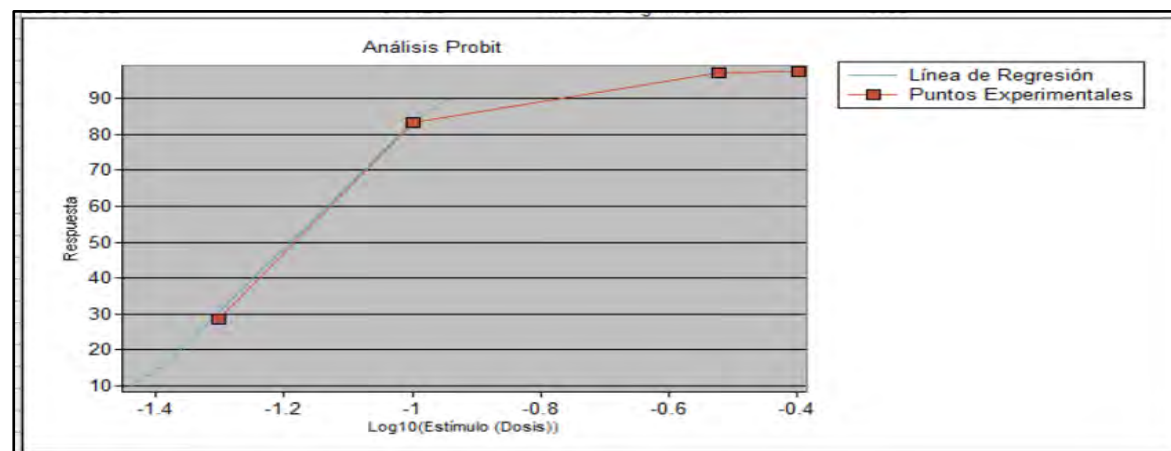
	C	7	C	9	C	10	C	10
D.S		0 ± 1		0 ± 0		0 ± 0.577		0 ± 0
$\bar{x}$		6		9		9.33		10
0.40%	A	10	A	10	A	10	A	10
	B	10	B	10	B	10	B	10
	C	10	C	10	C	10	C	10
D.S		0 ± 0		0 ± 0		0 ± 0		0 ± 0
$\bar{x}$		10		10		10		10
0.50%	A	10	A	10	A	10	A	10
	B	10	B	10	B	10	B	10
	C	10	C	10	C	10	C	10
D.S		0 ± 0		0 ± 0		0 ± 0		0 ± 0
$\bar{x}$		10		10		10		10

Figura 30.

Concentración letal media (CL_{50}), del efecto insecticida del A.E de *Tanacetum parthenium* L. $\pm$ D.S para *Pagiocerus frontalis*, hasta 48 horas de exposición. Analisis Probit (Metodo Finney [Distribucion Lognormal]).

Análisis Probit (Método Finney [Distribución Lognormal])							
Log10[Dosis (Estímulo)]	Porcentaje Actual (%)	Probit (Y)	Peso (Z)	X'Z	X'X'Z	Y'Z	X'Y'Z
-1.301	0.2857	4.4341	3.9555	-5.7693	0.0109	19.3734	0.9687
-1	0.8333	5.9674	2.6757	-5.9674	0.0357	21.2753	2.1275
-0.5229	0.9722	8.7035	0.0366	-3.6157	0.09	6.9149	2.0745
-0.3979	0.975	9.3078	0.0042	-2.7698	0.16	6.9604	2.7842
Suma			6.672	-7.8427	9.3817	33.8638	0
Dosis (Estímulo)	Porcentaje Actual (%)	Porcentaje Probit (%)	N	R	E(R)	Diferencia	Chi cuadrado
-1.301	0.2857	0.2842	7	2	1.9894	0.0106	0.0001
-1	0.8333	0.836	6	5	5.0159	-0.0159	0.0001
-0.5229	0.9722	0.9997	9	8.75	8.9973	-0.2473	0.0068
-0.3979	0.975	1	10	9.75	9.9998	-0.2498	0.0062
Chi cuadrado	0.0131	Grados de Libertad	2	nivel p	0.9934		

Percentil de Dosis (Estímulo)						
Percentil	Probit (Y)	Log10[Dosis (Estímulo)]	Error Estándar	Dosis (Estímulo)	Error Estándar	
1	2.6732	-1.6425	2.0796	0.0228	1.368	
5	3.3548	-1.51	1.4981	0.0309	0.486	
10	3.7183	-1.4393	1.1899	0.0364	0.2804	
20	4.1585	-1.3537	0.8213	0.0443	0.1434	
25	4.3258	-1.3212	0.6842	0.0477	0.1104	
30	4.476	-1.292	0.564	0.051	0.0866	
40	4.7471	-1.2393	0.3632	0.0576	0.054	
50	5	-1.1901	0.2372	0.0645	0.037	
60	5.2529	-1.141	0.2745	0.0723	0.0488	
70	5.524	-1.0883	0.4483	0.0816	0.1	
75	5.6742	-1.0591	0.5634	0.0873	0.1478	
80	5.8415	-1.0266	0.6974	0.0941	0.2249	
90	6.2817	-0.941	1.0627	0.1146	0.6568	
95	6.6452	-0.8703	1.3698	0.1348	1.5764	
99	7.3268	-0.7378	1.9505	0.1829	8.159	
Log10[LD50]	-1.1901	Log10[LD16]	-1.3845	Log10[LD84]	-0.9957	
LD50	0.0645	LD16	0.0413	Beta	5.144	Error Estándar Log10[LD50] 0.2372
Error Estándar LD50	0.037	LD84	0.101	Alfa	11.122	
LD50 LCL	0.0168	LD100	0.1192	Error Estándar Beta	2.4776	
LD50 UCL	0.1428	Nivel de Significación	0.05			



Anexo 3: Certificación de identificación taxonómicas.

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

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

La identificación taxonómica de la muestra recibida en el laboratorio, que siguiendo las claves taxonómicas y de acuerdo a las características que presenta la muestra se determinó lo siguiente:

Clase: Insecta

Orden: Coleoptera

Familia: Curculionidae

Género: *Pagiocerus frontalis* (Fabricius)

Se emite la presente, a solicitud del interesado.



Dr. Erick Yabar Landa