



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA**

**EVALUACIÓN DE ACEITES ESENCIALES DE TOMILLO (*Thymus vulgaris*) Y MENTA
(*Mentha x piperita*) EN EL CONTROL DE ÁCAROS ASOCIADOS AL CULTIVO DE
FRESA (*Fragaria × ananassa*) EN CONDICIONES *IN VITRO***

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA**

AUTOR: CRISTINA BRIGITTE BETANCOURT MEDIAVILLA

TUTOR: RAMIRO DANIEL ACURIO VÁSCONEZ

Quito-Ecuador

2026

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Cristina Brigitte Betancourt Mediavilla con documento de identificación N° 1725439630

; manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de

lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de

manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 23 de febrero del año 2026

Atentamente,



Cristina Brigitte Betancourt Mediavilla
1725439630

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Cristina Brigitte Betancourt Mediavilla con documento de identificación No.1725439630, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Trabajo experimental: “Evaluación de aceites esenciales de tomillo (*Thymus vulgaris*) y menta (*Mentha x piperita*) en el control de ácaros asociados al cultivo de fresa (*Fragaria × ananassa*) en condiciones *in vitro*”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera en Biotecnología, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 23 de febrero del año 2026

Atentamente,



Cristina Brigitte Betancourt Mediavilla
1725439630

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ramiro Daniel Acurio Vásquez con documento de identificación N° 1714819495, docente de la Universidad Politécnica Salesiana declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EVALUACIÓN DE ACEITES ESENCIALES DE TOMILLO (*Thymus vulgaris*) Y MENTA (*Mentha x piperita*) EN EL CONTROL DE ÁCAROS ASOCIADOS AL CULTIVO DE FRESA (*Fragaria × ananassa*) EN CONDICIONES *IN VITRO*, realizado por Cristina Brigitte Betancourt Mediavilla con documento de identificación N° 1725439630, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 23 de febrero del año 2026

Atentamente,



Ing. Ramiro Daniel Acurio Vásquez MSc.

1714819495

Dedicatoria

Este trabajo de titulación está dedicado a mis amados padres Lindy Mediavilla y Jaime Betancourt quienes me han brindado su apoyo y me han acompañado durante cada etapa de mi vida, motivándome y aconsejándome para hacer de mí una mejor persona. Gracias por su paciencia, amor y el valioso tiempo compartido, que han sido pilares fundamentales en este proceso. A mis hermanas, Estefanía Betancourt y Celena Betancourt, quienes, a pesar de la distancia siempre supieron estar presentes, brindándome su apoyo y amor incondicional, haciéndome sentir feliz y completamente amada. Por último, a mis queridos amigos de la Universidad y futuros colegas, quienes hicieron que la carrera sea más amena y supieron alegrar mis días.



Cristina Brigitte Betancourt Mediavilla

1725439630

Agradecimientos

En primer lugar, expreso mi agradecimiento a la Universidad Politécnica Salesiana, en especial a los Laboratorio de Ciencias de la Vida, por abrirme las puertas y brindarme las facilidades necesarias para la ejecución de mi trabajo experimental. De manera especial, agradezco a los profesionales técnicos e ingenieros del laboratorio, quienes aportaron con su conocimiento, orientación y apoyo durante el desarrollo de la investigación.

De igual manera, mi más sincero agradecimiento a mi tutor de tesis, Ing. Daniel Acurio MSc., por su paciencia, enseñanza, acompañamiento académico y el tiempo dedicado a la orientación de este trabajo de investigación. Asimismo, a los docentes de la carrera de Biotecnología de la Universidad Politécnica Salesiana, a quienes compartieron sus conocimientos con compromiso y vocación profesional, contribuyendo a mi formación académica.

Finalmente, agradezco a Dios, quien me permitió culminar este importante proceso académico. A mi familia, por su apoyo constante, orientación y motivación para alcanzar esta meta, y por enseñarme que el éxito se construye a través de la perseverancia y dedicación. Mi agradecimiento también se extiende a todos aquellos que, con su conocimiento, amistad y apoyo, contribuyeron a este importante logro personal y profesional, que marca el inicio de mi desarrollo como profesional en Biotecnología.



Cristina Brigitte Betancourt Mediavilla

1725439630

Resumen

El presente trabajo de titulación tuvo como propósito la evaluación del potencial acaricida de los aceites esenciales de tomillo (*Thymus vulgaris*) y menta (*Mentha x piperita*), de forma individual o combinada, como alternativa sostenible para el control de (*Tetranychus urticae*), ácaro fitófago de alta incidencia en el cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*) en condiciones *in vitro*. El manejo convencional de esta plaga se basa principalmente en el uso de acaricidas sintéticos. La problemática del manejo de *Tetranychus urticae* se debe a su alta capacidad de adaptación y resistencia a acaricidas sintéticos, así como en los impactos negativos derivados del uso intensivo de estos productos sobre el ambiente, la salud humana y organismos benéficos. Los aceites esenciales de menta y tomillo representan una opción sustentable debido a su composición rica en metabolitos secundarios con actividad biológica comprobada. La evaluación se desarrolló mediante bioensayos de contacto directo utilizando el método de discos foliares, que consistió en la exposición directa de ácaros adultos sobre discos de hojas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) previamente tratados con diferentes concentraciones 0%, 0,5% y 1% de los aceites esenciales, permitiendo simular de forma controlada la interacción plaga-superficie vegetal. El experimento se estructuró bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3x3, incluyendo el testigo y el control químico. La mortalidad se registró a las 24 y 48 horas posteriores a la aplicación, se corrigió mediante la fórmula de Abbott y se analizó estadísticamente mediante ANOVA y la prueba de comparación entre medias Tukey ($p < 0,05$). Los resultados evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, destacándose el aceite esencial de tomillo por alcanzar los mayores porcentajes de mortalidad tanto individual como en combinación con menta con valores comparables al control químico. Asimismo, se observaron alteraciones morfológicas visibles en los individuos tratados con los aceites esenciales como cambios en su coloración, pérdida de turgencia, deformaciones corporales lo que sugiere un mecanismo de acción asociado a la toxicidad fisiológica de los compuestos evaluados.

Palabras clave: Biopesticidas; actividad acaricida; mortalidad; bioensayos.

Abstract

The purpose of this degree research was to evaluate the acaricidal potential of thyme (*Thymus vulgaris*) and peppermint (*Mentha x piperita*) essential oils, applied individually or in combination, as a sustainable alternative for the control of *Tetranychus urticae*, a phytophagous mite with high incidence in strawberry (*Fragaria x ananassa*) crops under *in vitro* conditions. Conventional management of this pests relies mainly on the use of synthetic acaricides. The challenge in controlling *T. urticae* is associated with its high adaptive capacity of resistance to synthetic acaricides, as well as, the negative impacts derived from the intensive use of these products on the environment, human health and beneficial organisms. The evaluation was conducted through direct contact bioassays using the leaf-disc method, which adult mites to bean leaf disc (*Phaseolus vulgaris*) previously treated with different concentrations (0%, 0,5% y 1%) of essential oils, allowing controlled simulation of the pest-plant surface interaction. The experiment was arranged in s completely randomized designs with a 3x3 factorial structure, including negative control and chemical control. Mortality was recorded at 24 and 48 hours after application, corrected using Abbott's formula and statistically analyzed by ANOVA followed by Tukey's mean comparisons test ($p < 0,05$). The results showed the statistically significant differences among treatments, with thyme essential oil exhibiting the highest mortality rates, both individual or in combination with peppermint, reaching values comparable to the chemical control. Additionally, visible morphological alterations were observed in mites treated with essential oils, including changes in coloration, loss of turgidity, and body deformations, suggesting a mechanism of action associated with the physiological toxicity of the evaluated compounds.

Keywords: Biopesticides; acaricidal activity; mortality; bioassays.

Índice de contenidos

1	Introducción	1
2	Fundamentación teórica.....	4
2.1	Taxonomía de la fresa.....	4
2.2	Generalidades de <i>Fragaria x ananassa</i>	4
2.3	Principales plagas del cultivo de fresa	5
2.3.1	Los Trips (Thysanoptera: Thripidae)	5
2.3.2	Ácaros.....	6
2.3.3	Chinches	6
2.3.4	Mosca de la fruta	7
2.4	Generalidades de <i>Tetranychus urticae</i>	7
2.4.1	Morfología y distribución	7
2.4.2	Ciclo biológico de <i>Tetranychus urticae</i>	8
2.4.3	Resistencia y comportamiento adaptativo.....	9
2.5	Problemática fitosanitaria: infestación de ácaros	10
2.6	Control convencional del ácaro	11
2.7	Alternativas sostenibles	13
2.8	Aceites esenciales.....	14
2.9	Aceite esencial de menta (<i>Mentha x piperita</i>).....	15
2.10	Aceite esencial de tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>).....	16
2.11	Bioensayos	17
3	Materiales y métodos.....	19
3.1	Material biológico	19
3.2	Cría y mantenimiento de las colonias	20
3.3	Traslado al laboratorio.....	21
3.4	Método de discos.....	21
3.5	Preparación de tratamientos.....	24
3.5.1	Obtención de los aceites esenciales de menta (<i>Mentha x piperita</i>) y tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>) 24	
3.5.2	Formulación de los tratamientos	25
3.6	Aplicación de tratamientos y evaluación	25
3.7	Diseño experimental y análisis de datos	26
3.7.1	Tasa de mortalidad de ácaros	27
3.7.2	Concentración letal media (CL50).....	27
3.7.3	Alteraciones físicas y cambios morfológicos en los ácaros.....	27

4	Resultados y discusión	30
4.1	Comparación del control químico frente a los tratamientos botánicos.....	31
4.2	Comparación del efecto acaricida entre los aceites esenciales de menta y tomillo	34
4.3	Interacción entre los aceites esenciales de menta y tomillo: evidencia sinérgica	38
4.4	Concentración letal media (CL ₅₀)	40
4.5	Eficacia acaricida del aceite esencial de tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>)	43
4.6	Efecto del tiempo de exposición en la mortalidad de <i>Tetranychus urticae</i>	44
4.7	Alteraciones morfológicas inducidas por los aceites esenciales en <i>Tetranychus urticae</i>	45
5	Conclusiones y recomendaciones	48
5.1	Conclusiones	48
5.2	Recomendaciones	49
6	Bibliografía	50
7	Anexos	61

Índice de figuras

Figura 1 Ciclo de vida de la araña roja (<i>Tetranychus urticae</i>).	8
Figura 2 Semillas de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> , L). variedad cargabello	19
Figura 3 Planta de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> , L). en fase vegetativa	20
Figura 4 Identificación de <i>Tetranychus urticae</i> , bajo el lente 40X	22
Figura 5 Conformación de unidades experimentales y conteo de <i>Tetranychus urticae</i> bajo el lente 40X	23
Figura 6 Método de discos foliares aplicado en el bioensayo	24
Figura 7 Individuo vivo de <i>Tetranychus urticae</i>	47
Figura 8 Individuo muerto de <i>Tetranychus urticae</i>	47

Índice de tablas

Tabla 1 Clasificación taxonómica de la fresa	4
Tabla 2 Clasificación taxonómica del ácaro rojo.....	9
Tabla 3 Análisis de varianza de la mortalidad de <i>Tetranychus urticae</i> a las 24 horas (SC tipo III).	28
Tabla 4 Análisis de varianza de la mortalidad de <i>Tetranychus urticae</i> a las 48 horas (SC tipo III)	29
Tabla 5 Análisis de contrastes de la mortalidad de <i>Tetranychus urticae</i> a las 24 horas	30
Tabla 6 Análisis de contrastes de la mortalidad de <i>Tetranychus urticae</i> a las 48 horas	31
Tabla 7 Comparación de medias de mortalidad de <i>Tetranychus urticae</i> mediante la prueba de Tukey a las 24 horas.....	32
Tabla 8 Comparación de medias de mortalidad de <i>Tetranychus urticae</i> mediante la prueba de Tukey a las 48 horas.....	33
Tabla 9 Análisis de varianza de la mortalidad de <i>Tetranychus urticae</i> a las 24 horas: interacción entre aceites esenciales (SC tipo III).....	35
Tabla 10 Análisis de varianza de la mortalidad de <i>Tetranychus urticae</i> a las 48 horas: interacción entre aceites esenciales (SC tipo III).....	36
Tabla 11 Comparación de medias de mortalidad de <i>Tetranychus urticae</i> según la interacción menta x tomillo a las 24 horas mediante la prueba de Tukey.....	37
Tabla 12 Comparación de las medias de mortalidad de <i>Tetranychus urticae</i> según la interacción menta x tomillo a las 48 horas mediante la prueba Tukey.....	38
Tabla 13 Comparación de medias de mortalidad de <i>Tetranychus urticae</i> según la concentración de menta a las 24 horas mediante la prueba de Tukey	41
Tabla 14 Comparación de medias de mortalidad de <i>Tetranychus urticae</i> según la concentración de tomillo a las 24 horas mediante la prueba de Tukey	42
Tabla 15 Comparación de medias de la mortalidad de <i>Tetranychus urticae</i> según la concentración de menta a las 48 horas mediante la prueba de Tukey	42
Tabla 16 Comparación de medias de la mortalidad de <i>Tetranychus urticae</i> según la concentración de tomillo a las 48 horas mediante la prueba de Tukey.....	43

Índice de ecuaciones

Ecuación 1 Fórmula de la mortalidad corregida:27

Índice de anexos

Anexos 1 Compuestos obtenidos de la caracterización de tomillo mediante Análisis en GC/MS.	61
Anexos 2 Compuestos obtenidos de la caracterización de aceite esencial de menta, mediante Análisis en GC/MS.	62

1 Introducción

La fresa (*Fragaria x ananassa*) es un cultivo de interés a nivel mundial, en el Ecuador tiene un gran impacto socioeconómico, sobretodo en la región de la Sierra. En provincias como Pichincha y Tungurahua, se le atribuye como una actividad de alto valor económico, debido a que, genera ingresos a pequeños y medianos productores, incrementando su importancia como fuente de empleo en zonas rurales. Además, posee una alta rentabilidad en los mercados nacionales e internacionales, destacandose como producto de exportación hacia países como Estados Unidos, Holanda y España (Toapanta, 2021 ; Villacreces, 2023).

El cultivo de fresa es vulnerable ante varias plagas como ácaros, moscas, chinches e insectos, que causan daños y pérdidas parciales o totales en la planta. Razón por la cual, el rendimiento, la producción y la calidad del cultivo disminuyen. Entre las plagas más comunes se encuentra el ácaro rojo (*Tetranychus urticae*) el cual forma telarañas entre las hojas y provoca defoliación, desecación y muerte de la planta. Las condiciones ambientales como temperatura y humedad son factores asociados que incrementan la presencia y multiplicación de esta plaga (Acurio & Garcia, 2024).

El control de plagas más frecuente en este cultivo es el control químico o sintético. Sin embargo, el uso excesivo de pesticidas, acaricidas e insecticidas ha desencadenado varios efectos secundarios como resistencia de las plagas, toxicidad en la superficie del fruto, contaminación ambiental, daños en la salud humana y eliminación de enemigos naturales, disminuyendo así el valor comercial. No obstante, sigue siendo una medida de control justificable para evitar pérdidas económicas (Acurio & Garcia, 2024; Cortez & Romero, 2025).

Una alternativa sostenible es el control biológico mediante el uso de aceites esenciales de tomillo (*Thymus vulgaris*) y menta (*Mentha x piperita*). Estas sustancias naturales, aplicadas en

bajas concentraciones, por ejemplo 1%, presentan bajo riesgo para el ambiente y la salud humana. Su mecanismo de acción es más específico, es decir, no elimina enemigos naturales y disminuye significativamente el desarrollo de resistencia. Además, poseen baja toxicidad y no son bioacumulables (Pupiro, Pérez & Pino, 2018).

Los mecanismos de acción de los aceites esenciales se sustentan en la acción neurotóxica de varios compuestos sobre las especies objetivo. Los componentes de los aceites esenciales como terpenos, terpenoides y fenilpropanoides intervienen en la actividad de la enzima acetilcolinesterasa, la cual participa en un proceso neurológico que permite regular adecuadamente la señal nerviosa en la especie. Los aceites esenciales inhiben la actividad enzimática provocando la acumulación de acetilcolinesterasa en la sinapsis que resulta en la muerte de la especie objetivo (Popescu et al., 2024).

Los ácaros utilizados en el presente estudio provinieron de plantas de fresa que obtenidas de un vivero en el sector de Nayón, posteriormente masificados en plantas de frejol en fase vegetativa y transferidos al laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana, donde se realizaron los tratamientos correspondientes con el objetivo de evaluar el potencial acaricida de los aceites esenciales, considerando variables como el porcentaje de mortalidad, concentración letal media y alteraciones inducidas en su morfología.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el potencial acaricida de los aceites esenciales de tomillo (*Thymus vulgaris*) y menta (*Mentha x piperita*) en el control de ácaros (*Tetranychus urticae*) asociado al cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*). Para ello se determinó la eficacia de diferentes concentraciones de ambos aceites esenciales mediante bioensayos, análisis de la mortalidad y concentración letal media. Asimismo, se estudiaron los posibles mecanismos de

acción a través de observaciones microscópicas y morfológicas, con la finalidad de identificar alteraciones físicas inducidas de los ácaros tras la exposición de los compuestos naturales.

La hipótesis del trabajo es de característica causal, pues se evalúa si la aplicación de aceites esenciales de tomillo (*Thymus vulgaris*) y menta (*Mentha x piperita*), tiene un efecto acaricida significativo sobre *Tetranychus urticae*, en el cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*), considerando que las concentraciones combinadas, individuales, en dosis altas o bajas, pueden variar su eficacia.

2 Fundamentación teórica

2.1 Taxonomía de la fresa

La clasificación taxonómica de la fresa (*Fragaria x ananassa*) se presenta en la Tabla 1, donde se detallan los principales niveles jerárquicos que permiten su correcta identificación botánica.

Tabla 1 Clasificación taxonómica de la fresa

Clasificación taxonómica	
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnolopsida</i>
Subclase	<i>Rosidae</i>
Orden	<i>Rosales</i>
Familia	<i>Rosaceae</i>
Subfamilia	<i>Rosoideae</i>
Tribu	<i>Potentilleae</i>
Subtribu	<i>Fragariinae</i>
Género	<i>Fragaria L.</i>
Especie	<i>Fragaria x ananassa</i>

Nota: Adaptado de Toapanta, (2021)

Elaborado por: La autora, (2025)

2.2 Generalidades de *Fragaria x ananassa*

Fragaria x ananassa es una especie que pertenece a la familia Rosaceae, ampliamente reconocida por la producción de frutos de alto valor comercial y nutricional. Su importancia no solo radica en sus características organolépticas, sino también en su composición química, ya que, constituye una fuente relevante de vitaminas, fibra, azúcares, minerales y metabolitos secundarios con actividad biológica, entre los que destacan como compuestos fenólicos y flavonoides. Estos compuestos contribuyen a sus propiedades antioxidantes y su valor funcional dentro de la dieta humana (Villacreces, 2023).

A nivel fisiológico, la fresa requiere una adecuada disponibilidad de nitrógeno (N) y potasio (K), cuya disponibilidad contribuye a su calidad nutracéutica. El nitrógeno promueve el

crecimiento vegetativo de las plantas, permitiendo alcanzar altos rendimientos y participando en la síntesis de aminoácidos, proteínas y alcaloides, mientras que, el potasio incrementa la composición fenólica y actividad antioxidante del fruto, además de participar en procesos importantes como activación enzimática, la síntesis de proteínas y la fotosíntesis (Preciado et al., 2020).

La *Fragaria x ananassa*, es un híbrido de dos especies, *Fragaria chiloensis* y *Fragaria virginiana*. En la cual se ha llevado a cabo una investigación genética con objetivo de estudiar las características de importancia hortícola y la clonación de varios genes involucrados la maduración de la fruta. Asimismo, se han desarrollado sistemas de marcadores para el mapeo de enlaces genéticos asociados a características como neutralidad, fotoperiodo, calidad de la fruta (Villacreces, 2023).

2.3 Principales plagas del cultivo de fresa

El cultivo de fresas es altamente susceptible a diferentes plagas, entre ellas trips, ácaros, chinches y moscas, que pueden causar pérdidas económicas considerables al afectar la fisiología y apariencia del fruto (Zhou et al., 2023). La complejidad del manejo fitosanitario radica en que muchas de estas plagas presentan ciclos de vida acelerados y una elevada capacidad de dispersión. A continuación, se describen algunas de las principales plagas.

2.3.1 Los Trips (Thysanoptera: Thripidae)

Constituyen un complejo de especies de insectos que causan afecciones frecuentes en el cultivo de fresa. Estos alimentan de las hojas, frutos y flores, disminuyendo el rendimiento, la calidad de la planta. Los trips producen alteraciones físicas como bronceado, agrietamiento y lesiones en los frutos. Además, se caracterizan por transmitir tospovirus que desencadenan en enfermedades virales (Lahiri et al., 2022).

Aunque solo el 1% de las especies de trips son consideradas plagas de importancia económica, estas pueden ocasionar daños severos en el cultivo de fresa. Entre especies más comunes se

encuentran *Scirtothrips dorsali*, *Frankliniella intonsa* y *Thrips Pam.* De ellas, *Scirtothrips dorsali* la de mayor capacidad reproductiva y difícil manejo atribuido a su tamaño (1-2 mm), particularidad que les permite ocultarse en espacios reducidos de la planta, además de su rápida movilización (Kirk & Terry., 2023; Reitz et al. 2020).

2.3.2 Ácaros

Es una de las plagas más dañina de cultivos de fresa, algunos ejemplos son *Tetranychus urticae* Koch, *Tetranychus cinnabarinus* Boisduval, *Phytonemus pallidus* Banks y *Polyphagotarsonemus latus* Banks, siendo *T. urticae* el ácaro más persistente. *T. urticae* posee un cuerpo redondo y blando, tiene una longitud de 350 a 1000 μm , presentan dimorfismo sexual, que se observa en la morfología del extremo caudal, que en las hembras es de mayor tamaño cumpliendo un papel relevante en la reproducción y desarrollo de los huevos (Lahiri et al., 2022; Zhou et al., 2023).

P. pallidus es otro ácaro plaga frecuente en el cultivo de fresa, con un impacto del 22 al 100% en su rendimiento. Sus huevos son redondos y de superficie lisa, se depositan en los tricomas de las hojas o en el cáliz del fruto. Son ácaros microscópicos y su fuente de alimentación es el follaje joven, provocando deformaciones, reducción en el desarrollo de los peciolo, el tejido foliar se torna color marrón y la planta muere o no es apta para cosechar. Asimismo, los frutos reducen su tamaño y en algunos casos no se desarrollan (Vacacela et al., 2018).

2.3.3 Chinches

El chinche, *Lygus* (Hemiptera: Miridae), es una plaga económicamente importante, debido a que posee un amplio rango de cultivos hospedadores. Su daño se origina por la alimentación en los puntos de crecimiento activos de las plantas, como el meristemo apical, las yemas, los órganos reproductivos, las semillas y los frutos en formación. El chinche tiene piezas bucales llamadas estiletes que le permiten perforar y succionan las semillas de la fruta que se encuentra en desarrollo, provocando una malformación en la fruta (Holopainen & Hokkanen, 2024).

2.3.4 Mosca de la fruta

Drosophila es una plaga nativa del continente asiático que se ha expandido por Europa y América. Su mecanismo de acción es infestar los frutos de la fresa, colocando huevos en el interior del fruto. Es una plaga de importancia económica, puede causar grandes pérdidas del cultivo y ha desarrollado resistencia a los insecticidas y su control resulta complejo (Lahiri et al., 2022).

Los cultivos de fresas que están infestados por moscas drosófilas tienden a desarrollar infecciones secundarias que reducen la calidad de la fruta y derivan en la disminución del rendimiento. (Ganjisaffar et al., 2023).

2.4 Generalidades de *Tetranychus urticae*

Tetranychus urticae, es considerado uno de los ácaros fitófagos con mayor impacto económico a escala global, debido a su amplia gama de plantas hospedantes y a su elevada capacidad de adaptación a distintos sistemas agrícolas. En cultivos de fresa, esta especie puede generar infestaciones severas, afectando el desarrollo fisiológico de la planta al alimentarse principalmente del envés de las hojas, donde ocasiona daños celulares que reducen la capacidad fotosintética y comprometen el rendimiento productivo (Oliveira et al., 2020).

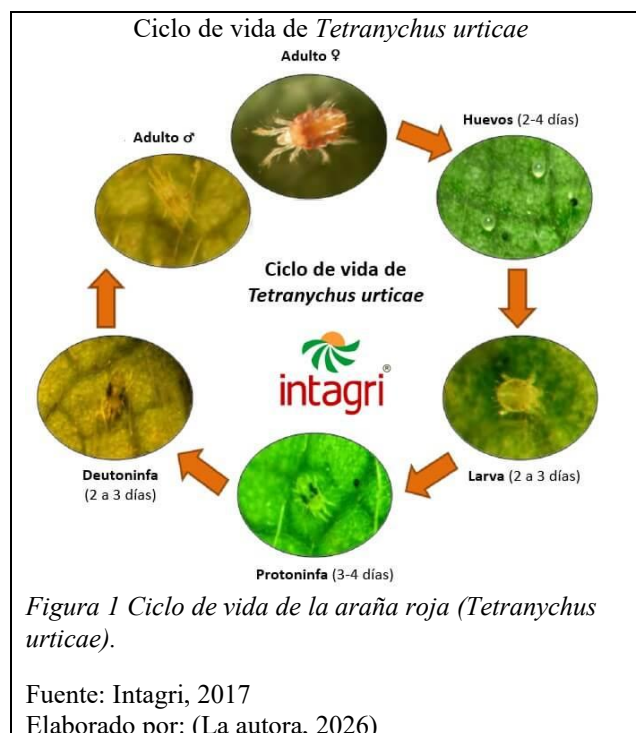
2.4.1 Morfología y distribución

El cuerpo *T. urticae* presenta dos manchas oscuras en su abdomen y recibe el nombre común de “ácaro rojo” debido a su coloración rojiza, anaranjada o amarilla. Pertenece a la familia *Tetranychidae*, la cual está compuesta por aproximadamente 4000 especies. Su distribución se ha documentado en diversas zonas climáticas de Europa, Asia y América. Aunque, su descripción original proviene de especímenes europeos, por lo que se le considera nativa de regiones templadas. Sin embargo, *T. urticae* también se adapta a climas subtropicales y es frecuente en ambientes (Jakubowska et al., 2022; Lahari et al., 2022).

2.4.2 Ciclo biológico de *Tetranychus urticae*

El ciclo biológico de *Tetranychus urticae*, se caracteriza por una elevada eficiencia reproductiva y una duración reducida, lo que favorece el rápido establecimiento de poblaciones densas en condiciones ambientales favorables. El desarrollo de la especie comprende una secuencia de estados que incluyen huevo, larva, protoninfa, deutoninfa y adulto, intercalados por fases de muda. Este ciclo se acelera significativamente bajo temperaturas elevadas y humedad relativa, factores que incrementan su capacidad de proliferación y dificultan su control en sistemas agrícolas (Toapanta, 2021).

Tetranychus urticae tiene entre cada una de las etapas un periodo de fase iniciativa, conocidos como protocrisis, deutocrisis y teliocrisis; en todas las etapas se efectúa el desprendimiento del exoesqueleto quitinoso, para incrementar su tamaño hasta el cumplimiento de su estadio adulto (Jakubowska et al., 2022; Toapanta, 2021). En la Figura 1 se presenta el ciclo de vida de la araña roja (*Tetranychus urticae*).



Se ha demostrado que *T. urticae* desarrolla resistencia y tolerancia rápidamente frente a los acaricidas. Este desarrollo acelerado no solo se debe a la exposición continua de estos compuestos químicos, sino también a particularidades biológicas que posee la especie, destacando su ciclo corto de vida, alta tasa de fecundidad, y reproducción arrenotoca (Piraneo et al., 2015).

2.4.3 Resistencia y comportamiento adaptativo

La morfología de *T. urticae* favorece al desarrollo de tolerancia ante acaricidas convencionales.

El ácaro rojo posee unas glándulas que se ubican en los palpos, los cuales producen redes de seda que sirven de refugio y reducen la exposición directa a los acaricidas, así como a factores ambientales adversos como, lluvia, viento y enemigos naturales. Estas redes de seda permiten determinar la presencia del ácaro y son portadoras de feromonas, facilitando también su migración (Piraneo et al., 2015; Jakubowska et al., 2022). En la Tabla 2 se presenta la clasificación taxonómica del ácaro rojo (*Tetranychus urticae*).

Tabla 2 Clasificación taxonómica del ácaro rojo

Clasificación taxonómica	
Dominio	<i>Eukaryota</i>
Reino	<i>Animalia</i>
Filo	<i>Arthropoda</i>
Clase	<i>Arachnida</i>
Orden	<i>Tombidiformes</i>
Superfamilia	<i>Tratranchoidea</i>
Familia	<i>Tetranychidae</i>
Género	<i>Tetranychus</i>
Especie	<i>urticae</i>

Fuente: CABI, (2021)

Elaborado por: La autora, (2025)

2.5 Problemática fitosanitaria: infestación de ácaros

El ácaro rojo (*Tetranychus urticae*) pertenece a la especie polífaga. Ésta plaga perjudica a más de 1100 especies y alrededor de 140 familias de plantas. Se estipula que puede llegar a afectar a un número superior de 150 especies de cultivos, es decir, no solo es una plaga significativa en el cultivo de fresa, también para cultivos importantes como manzano, rosal, algodón, entre otros (Sausa, et al., 2021).

Se estima que aproximadamente el 10% de plantas hospedantes de *T. urticae* representan cultivos de importancia económica mundial. Esta especie representa una amenaza significativa para la agricultura debido a su alta capacidad de adaptación, su intensa alimentación y su acelerada tasa de reproducción. Bajo condiciones favorables, las infestaciones pueden ocasionar pérdidas que oscilan entre el 50 al 80 % del rendimiento del cultivo, afectando tanto la calidad del producto como su valor comercial (Jakubowska et al., 2022).

La alimentación de los ácaros causa afecciones fisiológicas en la planta, ya que, reduce la tasa fotosintética neta debido a la destrucción de los cloroplastos. Los primeros síntomas visibles en la planta es el cambio progresivo de coloración de las hojas, que pasan de verde al amarillo, luego a un tono blanquecino y finalmente a un bronceado que indica la desecación del tejido foliar. Estas alteraciones comprometen al crecimiento vegetativo y en avanzados casos la muerte de la planta (Sausa, et al., 2021; Oliveira et al., 2020).

T. urticae posee una capacidad notable de supervivencia mediante la diapausa, un estado fisiológico de inactividad que se activa cuando las condiciones ambientales son desfavorables. Durante este periodo las hembras suspenden la alimentación y la oviposición, refugiándose en el suelo, la corteza de los árboles o entre hojas secas, especialmente en regiones de bajas temperaturas o de fotoperiodos reducidos (Jakubowska et al., 2022; Piraneo et al., 2015).

La estrategia diapausa les permite evadir periodos de aplicación de plaguicidas y persistir en el entorno. En consecuencia, *T. urticae* es considerado como el artrópodo más resistente a nivel

mundial, con un registro de resistencia a 94 ingredientes activos en insecticidas y acaricidas distintos, 468 casos documentados universalmente (Piraneo et al., 2015).

2.6 Control convencional del ácaro

El control de *T. urticae* se ha basado tradicionalmente en la ampliación de los acaricidas de origen sintético, debido a su efecto inmediato y a su amplio espectro de acción. No obstante, el uso intensivo y repetido de los compuestos ha favorecido la selección de poblaciones resistentes, reduciendo progresivamente su eficacia. Además, su aplicación indiscriminada ha sido asociada con efectos negativos sobre organismos benéficos, la salud humana y el ambiente, lo que ha motivado la búsqueda de estrategias de manejo más sostenibles (Oliveira et al., 2020).

El mecanismo de resistencia de estos artrópodos ante los pesticidas va evolucionando al pasar el tiempo. Se manifiesta en la evitación conductual, disminución de penetración cuticular, desintoxicación metabólica y la insensibilidad el sitio diana. La insensibilidad del sitio diana ha sido arduamente investigada y se debe a mutaciones en el gen acetilcolinesterasa (AChE) en cepas resistentes de *T. urticae* en compuestos organofosforados (Piraneo et al., 2015).

Con el fin de mantener las poblaciones del ácaro a niveles bajos, los productores aplican tratamientos químicos en intervalos de tres a cuatro días. No obstante, a pesar de la frecuencia de aplicación continúan reportándose daños significativos en los cultivos, lo que evidencia la pérdida progresiva de eficacia de los productos y la consolidación de la resistencia en *T. urticae* (Oliveira et al., 2020).

Ante esta problemática, el control químico debe ser implementado dentro de un enfoque de manejo integrado de plagas (MPI), que combine la aplicación racional de acaricidas con otras estrategias preventivas y biológicas. Las pulverizaciones deben realizarse únicamente cuando las poblaciones del ácaro superen el umbral de daño económico y, en caso de requerirse múltiples tratamientos, es fundamental alternar productos pertenecientes a diferentes grupos

químicos y con mecanismos de acción distintos, para reducir el riesgo de resistencia y prolongar la efectividad de los compuestos (Jakubowska et al., 2022).

Insecticidas y acaricidas químicos tradicionalmente utilizados como la abamectina o bifenzanato han disminuido su eficacia debido a mutaciones en *T. urticae*. La mutación de los genes del canal cloruro dependiente del glutamato tiene una correlación con la resistencia producida ante abamectina, asimismo, la mutación producida en el sitio de oxidación de quinol del citocromo b mitocondrial está relacionada a la resistencia al bifenazato (Piraneo et al., 2015).

Los acaricidas químicos más empleados incluyen abamectina, bifenzate, clofentenize, piretrinas, organofosforados, entre otros, cuyos mecanismos de acción varían desde la inhibición hasta la letalidad del ácaro. La abamectina, es una neurotoxina que interfiere en los impulsos nerviosos del ácaro, provocándole parálisis y posteriormente la muerte. Algunos acaricidas muestran actividad más específica actuando principalmente en los huevos, mientras que otros resultan ser más eficaces en estados larvales o ninfales (Jakubowska et al., 2022).

En un estudio de 230 plaguicidas evaluados por MPI, se identificaron principales afecciones asociadas a la exposición humana. Entre los efectos más comunes se encuentran irritación ocular, cutánea y del tracto respiratorio, así como alergias en la piel, toxicidad reproductiva, desarrollo sensibilización dérmica, disrupción endocrina y el potencial mutagénico. Los compuestos que se asocian a estas afecciones son fenoxicarb, pendimetalina, ziram, clorotalonil y gamma-cihalotrina, representando riesgo acumulativo para salud humana (Silva et al., 2022).

En los últimos años ha aumentado la preocupación por los efectos adversos asociados al uso desmedido de acaricidas. Por el impacto que llega a causar en la salud humana y en el medio ambiente. Razón por la cual, en algunos países como Brasil se han implementado regulaciones

gubernamentales con mayor restricción respecto a su uso y el incentivo a alternativas de control más sostenibles (Oliveira et al., 2020).

Se estima que el uso de pesticidas a nivel mundial alcanza los cuatro millones de toneladas anuales, con impactos al medio ambiente y la salud humana. Muchos de estos pesticidas son bioacumulables y en caso de ser consumidos ingresan a la cadena alimenticia siendo un riesgo para el consumidor. Presentan persistencia en el medio ambiente generando degradación en los suelos y contaminación (Silva et al., 2022).

2.7 Alternativas sostenibles

El control de ácaros en el cultivo de fresa representa un gran desafío, debido a su capacidad alta de reproducción y rápida resistencia frente a los acaricidas convencionales. Por ello, se han implementado estrategias de manejo integrado de plagas (MIP) como una alternativa sostenible. Este enfoque promueve la rotación de acaricidas y aplicación de prácticas preventivas que disminuyen la presión de plagas. Además, la monitorización periódica permite identificar niveles de daño mediante umbrales de infestación, facilitando la toma de decisiones basadas en datos antes de intervenir químicamente (Toapanta, 2021; Liburd & Martin, 2019).

Entre estas técnicas se destaca el uso de enemigos naturales, en particular los ácaros fitoseídos como *Phytoseiulus persimilis*, con alta capacidad depredadora sobre *T. urticae*. Este método consiste en la recolección y posteriormente la liberación de los ácaros benéficos en el cultivo de interés, con el fin de regular la población de la araña roja. Bajo condiciones favorables el control puede durar pocos días (Oliveira et al., 2020).

Asimismo, los extractos y aceites esenciales de plantas representan una opción viable de bajo impacto ambiental. Son capaces de reducir la densidad poblacional de los ácaros sin afectar a otros organismos no objetivo. Su eficacia se debe a la presencia de metabolitos secundarios en su composición como terpenos, alcaloides, flavonoides y poliacetilenos, que actúan de forma específica sobre las plagas y retrasan el desarrollo de resistencia. Estas características los

convierten en una herramienta prometedora para una agricultura sostenible y segura (Jakubowska et al., 2022; Toapanta, 2021).

Prácticas como el cultivo intercalado entre especies constituyen una estrategia eficaz para aprovechar interacciones beneficiosas entre las plantas. En este sentido, la siembra en hileras de ajo (*Allium sativum*) intercaladas con fresa (*Fragaria x ananassa*) reduce entre un 44% a 65 % las formas móviles de *T.urticae*, así como disminuye en proporciones similares el número de huevos. Este efecto se atribuye a la presencia de compuestos sulfurados principalmente, el disulfuro de dialilo, componente activo del aceite esencial del ajo, con reconocidas propiedades repelentes y acaricidas (Jakubowska et al., 2022).

2.8 Aceites esenciales

Los aceites esenciales corresponden a las mezclas complejas de compuestos volátiles de origen vegetal, caracterizadas por una elevada diversidad química y bajo peso molecular. Estos metabolitos secundarios son producidos por diferentes órganos de las plantas y presentan propiedades biológicas que han favorecido a su aplicación en sectores como la industria farmacéutica, cosmética y agrícola. Su actividad biológica está asociada a la presencia de terpenos, fenoles y otros compuestos que interactúan con sistemas fisiológicos clave de los organismos expuestos (López et al., 2024).

La composición química de los aceites esenciales puede variar dependiendo de los genotipos, distribución geográfica, niveles nutricionales, época de cosecha y métodos de extracción. Debido a la variabilidad de composiciones químicas se presentan diferentes bio-actividades y niveles de toxicidad, los cuales deben ser considerados, si se desea reemplazar los insecticidas sintéticos por aceites esenciales (Wu et al., 2017).

La extracción de aceites esenciales se realiza mediante diversos métodos como la destilación por arrastre de vapor, la extracción con solventes y la hidrodestilación, siendo esta la más común debido a su simplicidad y eficiencia. Este método consiste en recolectar hojas, frutos o

inflorescencias frescas, triturarlas manualmente y colocarlas en un matraz con agua destilada. Después de aproximadamente tres horas el vapor arrastra compuestos volátiles de las plantas, estos se condensan y se separan en una fase acuosa (hidrolato) y una fase oleosa (aceite esencial). Finalmente, el aceite esencial obtenido debe almacenarse en un frasco ámbar a una temperatura de 4 °C (Souza et al., 2022).

Las combinaciones binarias entre aceites esenciales pueden potenciar las propiedades biológicas de sus componentes. Esta sinergia es producida cuando los compuestos activos presentes en diferentes aceites actúan de forma complementaria, incrementando su eficacia en comparación al uso individual de un aceite esencial. Las propiedades destacadas son actividades antivirales, antifúngicas, antiparasitarias e insecticidas. Esta mezcla no solo amplía el espectro de acción, también reduce la dosis para cumplir un efecto biológico determinado. La combinación busca disminuir la toxicidad y los posibles impactos negativos en el medio ambiente (Esra et al., 2024).

Los aceites esenciales presentan ventajas significativas en el control de ácaros, destacándose su variabilidad en los mecanismos de acción, reduciendo la probabilidad de desarrollar resistencia. Además, su alta volatilidad les confiere una baja persistencia en el ambiente, minimizando la acumulación de residuos en los cultivos y evitando efectos negativos en organismos benéficos. Estos compuestos actúan mediante contacto residual penetrando las capas del tegumento del artrópodo. Su composición compleja, integrada por múltiples sustancias activas, permite actuar en distintos sitios biológicos generando efectos neurotóxicos que potencian su efectividad (Souza et al., 2022; Oliviera et al., 2021).

2.9 Aceite esencial de menta (*Mentha x piperita*)

La menta (*Mentha x piperita*) pertenece a la familia Lamiaceae, es un híbrido entre las especies de menta acuática (*Mentha aquatica*) y la hierbabuena (*Mentha spicata*). Especie originaria de regiones mediterráneas y distribuida en continentes como Asia, Europa, Australia y América.

Entre sus usos principales destacan su aplicación como agente saborizante, medicinal y cosmético (Hudz et al., 2023).

El aceite esencial de menta posee múltiples características biológicas. Entre las principales destacan las propiedades antioxidantes, antimicrobianas, anticancerígenas y antiinflamatorias. Lo que evidencia su potencial para desarrollo de productos naturales con fines terapéuticos, farmacéuticos y agrícolas. Las hojas de la menta constituyen la parte de la planta más utilizada, como en gastronomía, así como para aromatizar productos farmacéuticos, preparaciones orales y como saborizante en la industria de confitería (Esra et al., 2024; Souza et al., 2022).

Al aceite esencial de *Mentha x piperita* se le atribuye un efecto insecticida. Pruebas en la mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*) demuestran su eficacia. Los componentes más significativos de este aceite son la mentona, mentol, mentofurano, 1,8-cineol y el acetato de mentilo. Siendo el mentol el principal compuesto al que se le confiere el efecto insecticida (Esra et al., 2024; Shelepova et al., 2021).

2.10 Aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*)

El tomillo (*Thymus vulgaris*), es considerada una planta medicinal, debido a sus propiedades terapéuticas y sus beneficios para la salud. Se ha registrado que la especie es autóctona de Europa, África y Asia. Está compuesto por sustancias volátiles y se ha determinado que el alto nivel de contenido de terpenoides y derivados fenólicos extraídos de esta especie están asociados a sus propiedades biológicas (Alibeigi et al., 2025).

El aceite esencial de tomillo tiene gran potencial acaricida, asociado principalmente a su acción tóxica por contacto y por inhalación, así como a su capacidad de alterar procesos fisiológicos en los artrópodos. Su eficacia en el control de ácaros se debe a que sus componentes contribuyen a la toxicidad general y también a las interacciones sinérgicas de sustancias activas. El componente principal es el timol (34,6%), acompañado por p- cimeneo, terpieno, linalol y

carvacol, entre otros, Los cuales son responsables de las propiedades biológicas del aceite esencial (Wu et al., 2017).

El aceite esencial de tomillo se ha consolidado como una alternativa eficaz en el manejo de plagas por su amplia actividad biológica. En diversos estudios se ha observado que, además de su acción acaricida directa, puede potenciar la eficacia de pesticidas sintéticos mediante efectos sinérgicos entre sus componentes. Asimismo, presenta propiedades repelentes y antialimentarias frente a varias especies de insectos y garrapatas, reduciendo su presencia en los cultivos. Por ello, el aceite esencial de tomillo representa una alternativa sostenible en el manejo y control de plagas (Alibeigi et al., 2025; Valcárcel et al., 2021).

2.11 Bioensayos

Los bioensayos constituyen una metodología experimental fundamental para evaluar la respuesta de los organismos vivos frente a sustancias de origen natural o sintético. En estudios acaricidas, estos ensayos permiten cuantificar la mortalidad, estimar parámetros toxicológicos y registrar efectos subletales que influyen en la dinámica poblacional del organismo objetivo. Su aplicación en condiciones controladas facilita la comparación entre tratamientos y la validación de alternativas de control antes de su implementación en el campo (Warpechowki et al., 2025).

En un bioensayo de ácaros se lleva a cabo observaciones tanto de mortalidad como efectos subletales. En estos ensayos se calculan parámetros clave como la concentración letal media (CL_{50}) o el tiempo letal medio (TL_{50}), que indican la dosis o el tiempo requerido para provocar la muerte del 50% de la población tratada, además de registrar la mortalidad total en distintos intervalos. Asimismo, se evalúan los efectos subletales como alteraciones en el desarrollo, fecundidad, oviposición o comportamiento que permite anticipar las consecuencias de la dinámica poblacional (Musa et al., 2017; Basak et al., 2021).

La eliminación de marcas comerciales y nombres específicos permite garantizar la reproducibilidad y neutralidad científica del proceso. Se reportan únicamente las concentraciones de dosis activas y condiciones experimentales utilizadas. Los protocolos recomiendan escribir etapas de forma estandarizada como preparación de soluciones en concentraciones definidas, aplicación mediante métodos reconocidos como el método de discos y periodos de exposición controlados entre 24 a 48 horas según la toxicidad del compuesto (El-Wakei et al., 2022; Bostanian et al., 2023).

3 Materiales y métodos

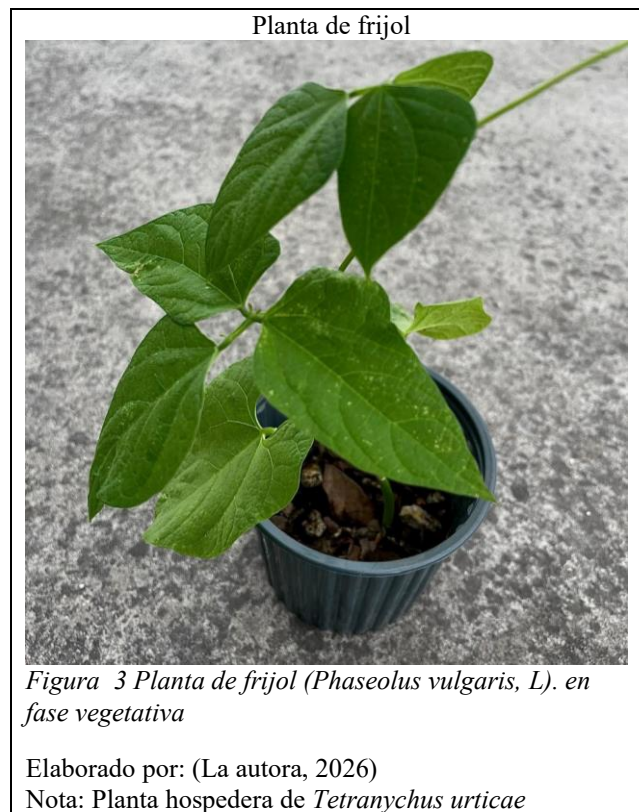
3.1 Material biológico

Este método inició con la siembra de plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*, L), variedad cargabello, semillas de coloración roja con pintas blancas. La siembra se realizó en 25 macetas plásticas individuales de capacidad de 1 L para obtención de 30 unidades experimentales (hojas de frijol), se utilizó como sustrato tierra abonada con materia orgánica descompuesta. Las plantas se mantuvieron en condiciones controladas hasta alcanzar la fase vegetativa, aproximadamente 14 días después de la siembra, cuando presentaban al menos 4 hojas verdaderas. La planta utilizada en este estudio corresponde a la variedad cargabello, cuyas semillas se muestran en la Figura 2.



El frijol se empleó como planta hospedera debido a su rápido crecimiento, fácil manejo y alta capacidad para sostener poblaciones de ácaros, lo que le convierte en una especie modelo eficiente para la multiplicación y mantenimiento de las colonias de *T. urticae*. Las plantas se mantuvieron bajo condiciones controladas de 25 ± 1 ° C, 65 ± 3 % de humedad relativa y

fotoperiodo de 12 horas luz, siguiendo la metodología descrita por Oliveira et al. (2021), con el fin de garantizar la reproducibilidad de los bioensayos. La planta hospedera en fase vegetativa empleada en el estudio se muestra en la Figura 3.



3.2 Cría y mantenimiento de las colonias

Posteriormente, se realizó la inoculación con ácaros procedentes de plantas de fresa (*Fragaria x ananassa*) naturalmente infestadas, con el objetivo de establecer colonias viables de *Tetranychus urticae* para su cría y masificación bajo condiciones controladas. La transferencia de los ácaros se efectuó mediante el contacto directo entre las plantas infestadas y las plantas hospedantes de frijol, colocándolas en proximidad para el desplazamiento natural de los individuos. Este procedimiento favoreció a su adaptación y reproducción, garantizando una fuente continua y homogénea de individuos para los bioensayos.

Una vez que las plantas presentaron alto nivel de infestación, definido como la presencia de más de 20 individuos móviles por hoja y daños visibles que afectaron al menos el 50% del

limbo foliar, se procedió a la recolección del material vegetal. Para este fin, se seleccionaron hojas con integridad estructural conservada, con un diámetro aproximado de 20 a 30 mm. Posteriormente, se colocaron cinco unidades en cada bolsa Ziploc de tamaño mediano (18x20 cm). En cada bolsa se añadieron dos pompones de algodón previamente humedecidos con agua, con el fin de mantener la humedad relativa y prevenir la desecación del material vegetal durante el traslado y manipulación.

3.3 Traslado al laboratorio

Las muestras del material vegetal seleccionado fueron ingresadas al Laboratorio de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana, campus Girón, donde se realizó el procedimiento experimental correspondiente al manejo y acondicionamiento del material biológico previo a los bioensayos. El protocolo aplicado correspondió al método de discos, el cual consistió en la preparación de hojas hospedantes, su disposición individual en condiciones controladas y la exposición directa de ácaros adultos sobre la superficie tratada, permitiendo evaluar la respuesta biológica frente a los tratamientos ensayados.

Este protocolo fue adaptado a partir de metodologías previamente descritas para la recolección, transporte, mantenimiento y evaluación de ácaros fitófagos en condiciones controladas de laboratorio, garantizando la estandarización del procedimiento y la reproducibilidad de los resultados, conforme a lo reportado por (Migeon & Dorkled, 2021; Skoracka et al., 2020).

3.4 Método de discos

La identificación de *T. urticae*, en las hojas previamente infestadas se realizó utilizando un esteromicroscopio Nikon (10x-40x), modelo C-LEDS, permitiendo observar con precisión los especímenes presentes. Bajo la ampliación 40x se identificó los individuos que correspondían morfológicamente a *T. urticae*, descartando ácaros pertenecientes a otras especies; proceso que se ilustra en la Figura 4. Adicionalmente, se eliminaron los estadios inmaduros (huevos, larvas

y ninfas) con el objetivo de estandarizar el procedimiento únicamente con adultos, ya que estos presentan una respuesta más homogénea frente a los tratamientos (Mansour et al., 2020).



Una vez verificada la presencia exclusiva de adultos vivos de *T.urticae* en cada hoja, se procedió a conformar las unidades experimentales. Cada hoja representó una unidad experimental, estandarizándose a un total de 20 ácaros adultos vivos por hoja, número que facilita la aplicación de la fórmula de mortalidad corregida propuesta por Abott, (1925). El proceso de conteo y conformación de los individuos se presenta en la Figura 5.

Conformación de unidades experimentales



Figura 5 Conformación de unidades experimentales y conteo de Tetranychus uticae bajo el lente 40X

Elaborado por: (La autora, 2026)

Nota: Se seleccionaron 20 ácaros adultos vivos por hoja, excluyendo larvas, huevos y ninfas.

Posteriormente, cada hoja infestada se colocó de manera individual en cajas Petri de vidrio previamente rotuladas (fecha y tratamiento), sobre un disco de papel filtro humedecido, para mantener una adecuada humedad relativa. Las muestras fueron refrigeradas de forma temporal (5–8 °C por 3–5 minutos) para reducir la movilidad de los ácaros y prevenir su escape hasta completar la preparación de los tratamientos, de acuerdo a lo descrito por (Wang et al., 2019). El esquema general del bioensayo, basado en la metodología de discos foliares, se presenta en la Figura 6.



3.5 Preparación de tratamientos

3.5.1 Obtención de los aceites esenciales de menta (*Mentha x piperita*) y tomillo (*Thymus vulgaris*)

La extracción de los aceites esenciales de menta (*Mentha x piperita*) y tomillo (*Thymus vulgaris*) fueron obtenidos previamente mediante destilación por arrastre de vapor en los Laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS), campus Girón, Quito. Seguidamente, caracterizados en el Laboratorio de Química Analítica de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), Loja- Ecuador, como parte de trabajo de titulación desarrollado por egresados de la carrera de Biotecnología (UPS) para la evaluación en el control de *Botrytis cinerea* en fresa (*Fragaria x ananassa*).

Las reservas de estos aceites, debidamente almacenadas fueron utilizadas para la ejecución del presente ensayo. Por esta razón, los resultados que corresponden a la extracción y caracterización no se incluyen en este trabajo, al no formar parte de su alcance experimental (véase Anexo 1 y Anexo 2).

3.5.2 Formulaci3n de los tratamientos

Una vez preparadas las unidades experimentales, se formul3 las soluciones de los tratamientos. Estas se elaboraron como emulsiones acuosas, utilizando agua destilada y Tween 80 al 0,1% (v/v) como agente surfactante y emulsionante. Esta combinaci3n permiti3 lograr una dispersi3n homog3nea del aceite en la fase acuosa, asegurando su adecuada solubilidad y estabilidad durante la aplicaci3n, contribuyendo a la eficacia biol3gica en las formulaciones sin alterar significativamente su toxicidad (Souza et al., 2022; Pavela et al., 2022).

Las emulsiones se prepararon en balones de aforo de 50 mL, agregando el volumen correspondiente de cada aceite esencial seg3n las concentraciones previamente establecidas (0, 0,5 y 1%) y Tween 80 al 0,1% (v/v). La mezcla se homogeniz3 manualmente mediante agitaci3n constante previo a su aplicaci3n. Para asegurar la precisi3n en su dosificaci3n, todos los vol3menes fueron medidos por micropipetas calibradas, marca DROPTTEK (100-100 ul). Este procedimiento permiti3 obtener emulsiones estables y reproducibles para el bioensayo de contacto directo sobre *T. urticae* (Pavela et al., 2022).

3.6 Aplicaci3n de tratamientos y evaluaci3n

La aplicaci3n de los tratamientos se realiz3 mediante una bomba de vaci3 de diafragma marca GasT, modelo DOA-P7004-AA manteniendo una distancia de 20 cm entre la boquilla y la superficie foliar, de acuerdo con la presi3n operativa del equipo (20-30 PSI). Cada hoja se roci3 de manera uniforme durante 20 segundos, asegurando una cobertura completa en el env3s de la hoja. Posteriormente, las hojas tratadas se dejaron reposar por un periodo m3nimo de 5 minutos para permitir el secado del residuo superficial (Garc3a et al., 2018).

Una vez secas, las hojas se colocaron nuevamente en las cajas Petri que conten3an el disco de papel filtro humedecido. Las cajas se sellaron con papel film para prevenir p3rdida de humedad y el escape de los 3caros y se incubaron en una c3mara clim3tica Savatec modelo S603, bajo

condiciones controladas de temperatura a 25 ± 1 °C, humedad relativa del 70 ± 10 % y fotoperiodo de 12:12 luz-oscuridad (Mansour et al., 2020).

Las evaluaciones de mortalidad, concentración letal media (CL_{50}) y las observaciones de posibles alteraciones morfológicas se realizaron a las 24 y 48 horas posteriores a la aplicación de los tratamientos. Las observaciones se efectuaron usando un esteromicroscopio Nikon bajo el lente 40x.

La mortalidad se determinó mediante conteo directo, empleando un pincel de cerdas muy finas (número cero), el cual se pasó suavemente sobre los ácaros con el fin de estimular su movimiento y confirmar su condición de vivos o muertos. Este procedimiento es ampliamente utilizado en bioensayos con ácaros y otros artrópodos de tamaños pequeños para evitar daños mecánicos y asegurar una evaluación confiable de la viabilidad (Pavela & Benelli, 2016; Isman, 2020). Los individuos que no presentaron movimiento fueron considerados muertos.

3.7 Diseño experimental y análisis de datos

El ensayo se desarrolló bajo un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 3x3, correspondientes a tres concentraciones de aceite esencial de tomillo y tres concentraciones de aceite esencial de menta (0%; 0,5%; 1 %). Se evaluó nueve tratamientos derivados de las combinaciones factoriales, más un control químico Avalon al 1.8% (abamectina) como acaricida químico de referencia, conformando así diez tratamientos en total. Cada tratamiento se repitió tres veces, totalizando treinta unidades experimentales.

Las variables del estudio se definieron conceptual y operacionalmente, con sus respectivas dimensiones e indicadores. Se realizaron a base de tres parámetros principales:

3.7.1 Tasa de mortalidad de ácaros

Es una variable cuantitativa que se determinó a partir del porcentaje de individuos muertos tras la aplicación de tratamientos. La eficacia acaricida se calculó mediante la mortalidad corregida, obtenida de la fórmula de Abbott (1925), que se ajusta a la mortalidad natural del control.

Ecuación 1

Ecuación 1 Fórmula de la mortalidad corregida:

$$\text{Mortalidad\%} = \frac{\text{número de ácaros muertos del tratamiento} - \text{número de ácaros muertos del control}}{\text{número de ácaros muertos del control}} \times 100$$

Esta corrección es ampliamente utilizada en ensayos toxicológicos con artrópodos para evitar la sobrestimación del efecto del tratamiento.

3.7.2 Concentración letal media (CL50)

La toxicidad de cada aceite esencial se estimó mediante el cálculo de la concentración letal media (CL₅₀), definida como la concentración necesaria para causar el 50 % de probabilidad de la muerte en la población expuesta. La CL₅₀ se estimó mediante análisis estadísticos, siguiendo los procedimientos descritos por Finney (1971) y ampliamente utilizados en estudios acaricidas y bioinsecticidas modernos (Pavela & Benelli, 2016).

3.7.3 Alteraciones físicas y cambios morfológicos en los ácaros

Esta variable cuantitativa se evaluó mediante observación microscópica con el objetivo de identificar las alteraciones morfológicas inducidas por los tratamientos evaluados en *T. urticae*. Se registraron daños visibles asociados a la exposición a los aceites esenciales, tales como deformaciones en el exoesqueleto, cambios de coloración corporal, lesiones, pérdida de turgencia e hinchazón. Estos indicadores permitieron inferir mecanismos de acción relacionados con la toxicidad fisiológica de los aceites esenciales sobre el organismo tratado (Regnault-Roger et al., 2016).

Finalmente, con el fin de determinar la concentración de aceite esencial y el tratamiento con mayor actividad acaricida, los datos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA).

Las diferencias significativas entre medias se evaluaron utilizando la prueba de comparación de Tukey, considerando un nivel de significancia del 95 % ($p < 0,05$). El análisis estadístico se realizó utilizando el programa estadístico Infostat (2020), y se consideró como variable dependiente la mortalidad ocasionada por los tratamientos.

El análisis de varianza de la mortalidad de *Tetranychus urticae* a las 24 horas se presenta en la Tabla 3, donde se evalúa el efecto de los tratamientos y los bloques sobre la variable respuesta.

Tabla 3 Análisis de varianza de la mortalidad de Tetranychus urticae a las 24 horas (SC tipo III).

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamientos	9
Bloques	4
Error	36
Total	49

Elaborado por: (La autora, 2025).

Nota: p-valor = $<0,05$ indica diferencias significativas.

En la tabla 3 se detalla el análisis de varianza con suma de cuadrados tipo III a las 24 horas. Los resultados demuestran que el efecto de los tratamientos fue estadísticamente significativo $p < 0,0001$, mientras que el factor bloques no presentó significancia estadística $p < 0,4300$. El estadístico F, para los tratamientos fue F 19,84, lo que indica la existencia de diferencias significativas entre las medias, evidenciando que al menos uno de los tratamientos difiere del resto. En contraste, el valor de los bloques fue F 0,98, confirmando la ausencia de diferencias significativas asociadas al factor.

El análisis de varianza de la mortalidad de *Tetranychus urticae* a las 24 horas se presenta en la Tabla 4, donde se evalúa el efecto de los tratamientos y los bloques sobre la variable respuesta.

Tabla 4 Análisis de varianza de la mortalidad de *Tetranychus urticae* a las 48 horas (SC tipo III)

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamientos	9
Bloques	4
Error	36
Total	49

Elaborado por: (La autora, 2025)

La tabla 4 presenta el análisis de varianza de la mortalidad de *Tetranychus urticae* a las 48 horas. Los resultados evidencian diferencias altamente significativas entre los tratamientos $p < 0,0001$, mientras que el efecto de bloque no fue significativo $p = 0,0899$ y el valor F de los tratamientos $F = 20,06$ demuestra la varianza dentro de los grupos, la cual no fue significativa para bloques con un valor $F = 2,19$. Esto indica que la mortalidad estuvo influenciada principalmente por los tratamientos aplicados y no por la variabilidad experimental.

4 Resultados y discusión

Los resultados obtenidos se presentan a partir del análisis estadístico realizado con el programa Infostat y se detallan en las correspondientes tablas estadísticas.

El análisis de contrastes de la mortalidad de *Tetranychus urticae* a las 24 horas se presenta en la Tabla 5, donde se evalúan comparaciones específicas entre el testigo, el control químico y los tratamientos aplicados con aceites esenciales.

Tabla 5 Análisis de contrastes de la mortalidad de Tetranychus urticae a las 24 horas

Contrastes	Grados de libertad
Testigo comparado con los tratamientos	1
Control químico comparado con los tratamientos	1
Total	2

Elaborado por: (La autora, 2025).

La tabla 5 presenta el análisis de contrastes de la mortalidad a las 24 horas. Se observó que los tratamientos con aceites esenciales difirieron significativamente del testigo con un valor $p < 0,0001$, mientras que el control químico comparado a los tratamientos botánicos mostró diferencias significativas menores frente al contraste del testigo y los tratamientos con un valor $p < 0,0339$. De igual manera con el valor F, donde la comparación con el testigo evidencia diferencia de media estadísticamente significativa F 118,58, mientras que la comparación con el control químico puede representar que al menos una media es diferente F 4,86.

El análisis de contrastes de la mortalidad de *Tetranychus urticae* a las 48 horas se presenta en la Tabla 6, donde se evalúan comparaciones específicas entre el testigo, el control químico y los tratamientos aplicados con aceites esenciales.

Tabla 6 Análisis de contrastes de la mortalidad de *Tetranychus urticae* a las 48 horas

Contrastes	Grados de libertad
Testigo comparado con los tratamientos	1
Control químico comparado con los tratamientos	1
Total	2

Elaborado por: (La autora, 2025).

En la tabla 6 se observa que, a las 48 horas, los tratamientos con aceites esenciales presentaron diferencias significativas frente al testigo con un $p < 0,0001$ y un valor F 137,30 evidenciando la diferencia estadística significativa entre las medias. El contraste con el control químico no mostró diferencias significativas con un $p < 0,1318$ y un valor F 2,38, lo que sugiere una eficacia comparable de los tratamientos botánicos.

4.1 Comparación del control químico frente a los tratamientos botánicos

Los resultados de este estudio han demostrado que los tratamientos de aceites esenciales de menta y tomillo, alcanzaron niveles de mortalidad de *T. urticae* comparables a los observados con el control químico, especialmente a las 48 horas de evaluación. Esta similitud en la eficacia acaricida sugiere que los tratamientos botánicos evaluados poseen un potencial real como alternativa del uso de acaricidas sintéticos en el manejo de ese ácaro fitófago.

La eficacia del control químico se asocia a su acción rápida y específica sobre blancos fisiológicos definidos, como canales iónicos, cadena respiratoria mitocondrial o la transmisión nerviosa. No obstante, diversos estudios recientes han evidenciado que el uso de intensivo y prolongado de acaricidas sintéticos ha favorecido al desarrollo acelerado de resistencia de

poblaciones de *T. urticae*, reduciendo progresivamente su efectividad en campo (Van Leewuene et al., 2016; Sparks et al., 2020).

A diferencia del control químico los aceites esenciales actúan a través de múltiples mecanismos simultáneos, incluyendo alteraciones en la permeabilidad de la cutícula, disrupción del sistema nervioso y afectación del metabolismo energético. Esta multiplicidad de blancos reduce la probabilidad de que los ácaros desarrollen resistencia de manera rápida, lo que ha destacada como una de las principales ventajas de los biopesticidas de origen vegetal (Rattan, 2017; Isman & Grieneisen, 2018).

Las diferencias entre las medias de mortalidad de *Tetranychus urticae* a las 24 horas fueron determinadas mediante la prueba de comparación múltiple Tukey ($p < 0,05$) con el fin de identificar la respuesta diferencial de los tratamientos evaluados. Los resultados de esta comparación se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7 Comparación de medias de mortalidad de Tetranychus urticae mediante la prueba de Tukey a las 24 horas

Tratamientos	Composición	Media \pm d.e.
T9	M 1% y T 1%	98 \pm 4,47 a
T3	M 0% y T 1%	97 \pm 4,47 a
T6	M 0,5% y T 1%	97 \pm 6,71 a
T8	M 1% y T 0,5%	94 \pm 10,84 a
T2	M 0% y T 0,5%	86 \pm 7,42 ab
T5	M 0,5% y T 0,5%	85 \pm 16,20 ab
T7	M 1% y T 0%	69 \pm 17,82 cd
T10	Control químico	67 \pm 5,70 cd
T4	M 0,5% y T 0%	59 \pm 10,84 c
T1	Testigo	26 \pm 18,51 d

Elaborado por: (La autora, 2025)

Nota: M = menta; T = tomillo. Medias seguidas por letras distintas difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

En la tabla 7 se muestra la comparación de medias de la variable mortalidad a las 24 horas. Los tratamientos que incluyeron tomillo, especialmente a concentraciones medias y altas, alcanzaron los mayores porcentajes de mortalidad, diferenciándose claramente del testigo y destacándose frente a los tratamientos con menta únicamente.

Las diferencias entre las medias de mortalidad de *Tetranychus urticae* a las 48 horas fueron determinadas mediante la prueba de comparación múltiple Tukey ($p < 0,05$) con el fin de identificar la respuesta diferencial de los tratamientos evaluados. Los resultados de esta comparación se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8 Comparación de medias de mortalidad de Tetranychus urticae mediante la prueba de Tukey a las 48 horas

Tratamientos	Composición	Media \pm d.e.
T9	M 1% y T 1%	100 \pm 0,00 a
T3	M 0% y T 1%	99 \pm 2,24 a
T8	M 1% y T 0,5%	98 \pm 4,47 ab
T6	M 0,5% y T 1%	97 \pm 6,71 ab
T5	M 0,5% y T 0,5%	92 \pm 12,55 abc
T2	M 0% y T 0,5%	90 \pm 9,35 abc
T7	M 1% y T 0%	79 \pm 17,82 bc
T10	Control Químico	79 \pm 8,22 bc
T4	M 0,5% y T 0%	74 \pm 8,22 c
T1	Testigo	41 \pm 11,94 d

Elaborado por: (La autora, 2025)

Nota: M = menta; T = tomillo. Medias seguidas por letras distintas difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

En la tabla 8 se muestra la comparación de medias mediante la prueba de Tukey a las 48 horas. Se observó que los tratamientos que incluyeron tomillo, especialmente a concentraciones altas, alcanzaron las mayores tasas de mortalidad, superando el resto de tratamientos y evidenciando

un efecto persistente en el tiempo. El control químico mostro un efecto intermedio, similar a algunos tratamientos botánicos.

En los resultados se evidencia que no existió diferencias estadísticamente significativas en la mortalidad de *Tetranychus urticae* entre los distintos bloques experimentales tanto a las 24 como 48 horas según la prueba de Tukey ($p < 0,05$). En la Tabla 7 a las 24 horas las medias de mortalidad oscilaron entre 73% y 83% mientras en la Tabla 8 a las 48 horas las medias de mortalidad variaron entre 78% y 89%, manteniéndose todas dentro del mismo grupo estadístico. Estos datos confirmaron la homogeneidad de las condiciones experimentales durante el desarrollo del bioensayo, indicando que no hubo variabilidad entre bloques lo que respalda la validez y confiabilidad de los datos obtenidos.

4.2 Comparación del efecto acaricida entre los aceites esenciales de menta y tomillo

Los resultados del presente estudio evidencian las diferencias marcadas en la eficacia acaricida entre los aceites esenciales de menta y tomillo frente a *Tetranychus urticae*. Aunque ambos aceites mostraron un incremento de la mortalidad con el aumento de la concentración y el tiempo de exposición, el tomillo presentó consistentemente mayores porcentajes de mortalidad en comparación a menta, tanto a las 24 como a las 48 horas. Estos hallazgos indican que, bajo las condiciones experimentales evaluadas el tomillo posee una mayor potencia biológica frente al ácaro objetivo.

La menor eficacia relativa del aceite esencial de menta puede explicarse por su composición química, caracterizada por monoterpenos oxigenados como el mentol y la mentona. Si bien estos compuestos han demostrado actividad acaricida, diversos estudios señalan que su acción es de carácter moderado, frecuentemente asociada a efectos subletales como repelencia, alteraciones de comportamiento alimenticio o reducción de la fecundidad, más que una acción

inmediata (Koul et al., 2016; Tak & Isman, 2017). Este patrón concuerda con los resultados observados, donde menta generó mortalidades inferiores en comparación al tomillo.

En contraste, investigaciones recientes han demostrado que los aceites esenciales ricos en compuestos fenólicos presentan una mayor afinidad por los sistemas neurológicos y respiratorios de los ácaros, lo que se traduce en una toxicidad más elevada. En este sentido, Mossa (2016) y Haddi et al. (2017) señalan que los monoterpenos fenólicos muestran una mayor capacidad de atravesar la cutícula y provocar alteraciones fisiológicas irreversibles, lo que explica la superioridad de tomillo frente a la menta observada en los bioensayos.

De igual manera, estudios comparativos han reportado que *Mentha x piperita* presenta una eficacia significativamente menor frente a *T. urticae*, en comparación a otros aceites esenciales de mayor contenido fenólico, reforzando el patrón observado en la investigación (Faraone et al., 2018).

Adicionalmente, la mayor volatilidad de los compuestos presentes en la menta podría contribuir a una menor persistencia del efecto acaricida, reduciendo el tiempo de contacto efectivo con el organismo objetivo. Investigaciones recientes destacan que los aceites esenciales con menor volatilidad relativa mantienen su actividad biológica durante periodos más prolongados, lo que resulta clave para bioensayos de mortalidad dependientes del tiempo (Pavela, 2018). Este efecto concuerda con los resultados de este estudio, donde tomillo tuvo más elevada la mortalidad a las 48 horas, mientras que menta mostró un efecto más limitado.

El análisis de varianza de la mortalidad de *Tetranychus urticae* a las 24 horas considerando la interacción entre los aceites de menta y tomillo se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9 Análisis de varianza de la mortalidad de Tetranychus urticae a las 24 horas: interacción entre aceites esenciales (SC tipo III)

Fuente de variación	Grados de libertad
Menta	2

Tomillo	2
Bloques	4
Menta*Tomillo	4
Error	32
Total	44

Elaborado por: (La autora, 2025)

En la tabla 9 se observa que el factor tomillo presentó un efecto altamente significativo con un $p < 0,0001$ y un valor elevado del estadístico F 62,79, lo que evidencia su marcada influencia en la respuesta observada, mientras que, el factor menta mostró un efecto estadísticamente significativo $p 0,0014$, aunque un valor F menor 8,08., indicando una contribución menos pronunciada que la del tomillo.

La interacción menta x tomillo resultó estadísticamente significativa $p 0,0021$ y F 5,31; sin embargo, su magnitud fue inferior al efecto principal del tomillo, lo que sugiere que el potencial acaricida observado se le atribuye principalmente a este aceite esencial. Por otra parte, el factor bloque no se presentó diferencias estadísticamente significativa $p 0,3560$ y F 1,14, lo que indica la estabilidad del ensayo.

El análisis de varianza de la mortalidad de *Tetranychus urticae* a las 48 horas considerando la interacción entre los aceites de menta y tomillo se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10 Análisis de varianza de la mortalidad de Tetranychus urticae a las 48 horas: interacción entre aceites esenciales (SC tipo III)

Fuente de variación	Grados de libertad
Menta	2
Tomillo	2
Bloques	4
Menta x Tomillo	4
Error	32
Total	44

Elaborado por: (La autora, 2025)

En la tabla 10 los resultados del análisis de varianza indicaron que el factor tomillo mantuvo un efecto altamente significativo sobre la mortalidad de *T. urticae* $p < 0,0001$ y un valor estadístico $F = 58,33$ a las 48 horas, superando el efecto de la menta que, aunque presentó un efecto estadísticamente significativo $p = 0,0002$ y un valor $F = 11,33$, indica una contribución secundaria en comparación al tomillo.

La interacción entre ambos aceites resultó estadísticamente significativa $p = 0,0003$ y $F = 7,35$; sin embargo, su magnitud fue inferior a la del efecto principal del tomillo, lo que sugiere que el efecto acaricida observado a las 48 horas se atribuye principalmente a este aceite esencial, manteniéndose un efecto combinado sostenido en el tiempo. Por otra parte, el factor bloques no presentó diferencias significativas $p = 0,1471$ y $F = 1,83$.

La comparación de medias de mortalidad de *Tetranychus urticae* a las 24 horas, considerando la interacción entre los aceites esenciales de menta y tomillo, se realizó mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$). Los resultados de esta interacción se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11 Comparación de medias de mortalidad de Tetranychus urticae según la interacción menta x tomillo a las 24 horas mediante la prueba de Tukey

Menta (%)	Tomillo (%)	Media \pm d.e
1,00	1,00	98 \pm 4,47 a
0,00	1,00	97 \pm 4,47 a
0,50	1,00	97 \pm 6,71 a
1,00	0,50	94 \pm 10,84 a
0,00	0,50	86 \pm 7,42 ab
0,50	0,50	85 \pm 16,20 ab
1,00	0,00	69 \pm 17,82 bc
0,50	0,00	59 \pm 10,84 c
0,00	0,00	26 \pm 18,51 d

Elaborado por: (La autora, 2025)

Nota: Medias seguidas por letras distintas difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

La tabla 11 resume la comparación de la mortalidad considerando la interacción entre menta y tomillo a las 24 horas. Los resultados muestran que las combinaciones con mayores concentraciones de tomillo, alcanzaron los mayores porcentajes de mortalidad, destacando el papel dominante del tomillo en el efecto observado.

La comparación de medias de mortalidad de *Tetranychus urticae* a las 48 horas, considerando la interacción entre los aceites esenciales de menta y tomillo, se realizó mediante la prueba Tukey ($p < 0,05$). Los resultados de esta interacción se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12 Comparación de las medias de mortalidad de Tetranychus urticae según la interacción menta x tomillo a las 48 horas mediante la prueba Tukey

Menta (%)	Tomillo (%)	Media \pm d.e.
1,00	1,00	100 \pm 0,00 a
0,00	1,00	99 \pm 2,24 a
1,00	0,50	98 \pm 4,47 ab
0,50	1,00	97 \pm 6,71 ab
0,50	0,50	92 \pm 12,55 abc
0,00	0,50	90 \pm 9,350 abc
1,00	0,00	79 \pm 17,82 bc
0,50	0,00	74 \pm 8,22 c
0,00	0,00	41 \pm 11,94 d

Elaborado por: (La autora, 2025)

Nota: Medias seguidas por letras distintas difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

La tabla 12 muestra que las combinaciones con mayores concentraciones de tomillo, solas o en combinación con la menta, alcanzaron mayores tasas de mortalidad a las 48 horas, consolidando al tomillo como el principal agente responsable del efecto observado.

4.3 Interacción entre los aceites esenciales de menta y tomillo: evidencia sinérgica

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidencian que la interacción entre los aceites esenciales de menta y tomillo influyó significativamente en la mortalidad de *T. urticae*, tanto a las 24 como a las 48 horas de evaluación. Si bien el aceite esencial de tomillo fue identificado como el principal del efecto acaricida, la combinación con menta le permitió potenciar la respuesta biológica en determinadas concentraciones, lo que sugiere un efecto sinérgico entre ambos aceites esenciales.

La sinergia observada puede darse por la acción complementaria de los compuestos bioactivos presentes en cada aceite. Estudios recientes revelan que la combinación de metabolitos secundarios con diferentes modos de acción puede facilitar la penetración cuticular, aumentar la biodisponibilidad de compuestos tóxicos y ampliar las alteraciones fisiológicas en los artrópodos (Hummelbrunner & Isman, 2021). Es decir, los monoterpenos oxigenados presentes en la menta actúa como agentes facilitadores, incrementan la permeabilidad de la cutícula del ácaro y favorece la acción de compuestos fenólicos del tomillo.

Diversas investigaciones han documentado que las mezclas de aceites esenciales presentan mayor eficacia biológica en comparación con el uso del aceite individual, debido a interacciones sinérgicas entre sus componentes. Estudios realizados por Pavela & Maggi (2017) y López et al. (2019) señalan que la combinación de aceites esenciales puede intensificar la toxicidad frente a ácaros fitófagos mediante la acción simultánea sobre múltiples blancos fisiológicos, como el sistema nervioso, la respiración celular y el metabolismo energético.

El análisis de medias permite establecer que la sinergia observada no reemplaza el efecto individual del tomillo, sino que lo complementa. Esto es consistente con lo reportado por estudios recientes que advierten que, en mezclas botánicas, uno de los componentes suele ejercer un efecto dominante, mientras que los demás actúan como moduladores de la toxicidad (Gross et al., 2017). En el presente trabajo el tomillo mantuvo su predominancia, mientras que

la menta contribuyó a potenciar el efecto en determinadas combinaciones y tiempos de exposición.

Desde una perspectiva aplicada, la interacción positiva entre tomillo y menta adquiere relevancia en el diseño de estrategias de manejo integrado para *T. urticae*, ya que el uso de mezclas sinérgicas podría permitir la reducción de dosis necesarias del componente principal disminuyendo costos y posibles efectos adversos sobre organismos no objetivo. Asimismo, el empleo de combinaciones botánicas puede contribuir a retrasar el desarrollo de resistencia en poblaciones de ácaros, un aspecto ampliamente señalado como crítico en el control de plagas agrícolas (Sparks et al., 2020).

4.4 Concentración letal media (CL₅₀)

En el presente estudio no fue posible estimar la concentración letal media (CL₅₀), para los tratamientos evaluados con aceites esenciales de menta (*Mentha x piperita*) y tomillo (*Thymus vulgaris*), debido a que las concentraciones ensayadas produjeron niveles de mortalidad elevados, superiores al 50% tanto a las 24 como 48 horas de exposición. Los tratamientos que incluyeron aceite esencial de tomillo, especialmente en concentraciones medias y altas, alcanzaron porcentajes de mortalidad entre 94% y 100%, generando una respuesta biológica cercana al efecto máximo. Esta situación impide la construcción dosis-respuesta adecuada para el cálculo estadístico de (CL₅₀).

Diversos estudios han señalado que cuando las concentraciones evaluadas se ubican en el rango alto, se produce la saturación del efecto tóxico, lo que dificulta o imposibilita la determinación de parámetros letales medios, ya que no se observa una gradación progresiva de la mortalidad (Roberson et al., 2017). En este contexto, la ausencia de CL₅₀ no debe interpretarse como una limitación metodológica, sino como un indicativo de alta potencia acaricida de los aceites

esenciales evaluados, destacando el tomillo, dado a su perfil químico compuesto por compuestos fenólicos antes mencionados.

Investigaciones recientes que reportan resultados similares, donde los aceites esenciales ricos en monoterpenos fenólicos provocan mortalidades superiores al 90% incluso a bajas concentraciones. Como se puede observar en las tablas 13 y 14 donde las medias de mortalidad registradas tanto a las 24 como 48 horas son prominentes. Lo que impide la estimación de CL_{50} dentro del rango experimental (Isman et al., 2017; Pavela & Benelli, 2018).

Adicionalmente, la respuesta temporal observada, con un incremento o mantenimiento de la mortalidad a las 48 horas, sugiere un efecto residual de los aceites esenciales, lo cual coincide con los reportes que indican que ciertos compuestos terpénicos afectan a procesos fisiológicos clave como la respiración y estímulo nervioso, generando efectos acumulativos en el tiempo (Ribiera et al., 2016; Tak et al., 2016). Esta persistencia del efecto también contribuye a la dificultad de identificar punto medio de respuesta letal.

La comparación de medias de mortalidad de *Tetranychus urticae* a las 24 horas, en función de la concentración del aceite esencial de menta, se realizó mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Los resultados del análisis se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13 Comparación de medias de mortalidad de Tetranychus urticae según la concentración de menta a las 24 horas mediante la prueba de Tukey

Concentración de menta (%)	Medias
0,00	69,67 b
0,50	80,33 ab
1,00	87,00 a

Elaborado por: (La autora, 2025)

Nota: Medias seguidas por letras distintas difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

La tabla 13 muestra que el incremento en la concentración de menta generó un aumento progresivo de la mortalidad; sin embargo, su efecto fue inferior al observado para el tomillo en el mismo periodo.

La comparación de medias de mortalidad de *Tetranychus urticae* a las 24 horas, en función de la concentración del aceite esencial de tomillo, se realizó mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Los resultados del análisis se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14 Comparación de medias de mortalidad de Tetranychus urticae según la concentración de tomillo a las 24 horas mediante la prueba de Tukey

Concentración de tomillo (%)	Medias
0,00	51,33 b
0,50	88,33 a
1,00	97,33 a

Elaborado por: (La autora, 2025)

Nota: Medias seguidas por letras distintas difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

La tabla 14 muestra que a partir de la concentración media del tomillo se generó el alcance esperado para la mortalidad; además, su efecto fue superior al observado para la menta en el mismo periodo.

La comparación de medias de mortalidad de *Tetranychus urticae* a las 48 horas, en función de la concentración del aceite esencial de menta, se realizó mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Los resultados del análisis se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15 Comparación de medias de la mortalidad de Tetranychus urticae según la concentración de menta a las 48 horas mediante la prueba de Tukey

Concentración de menta (%)	Media (%)
0,00	76,67 a
0,50	87,67 a

1,00	92,33 a
------	---------

Elaborado por: (La autora, 2025)

Nota: Medias seguidas por letras distintas difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

La tabla 15 muestra que el aumento en la concentración de menta incrementó la mortalidad a las 48 horas; no obstante, su efecto continuó siendo menor en comparación al tomillo.

La comparación de medias de mortalidad de *Tetranychus urticae* a las 48 horas, en función de la concentración del aceite esencial de tomillo, se realizó mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Los resultados del análisis se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16 Comparación de medias de la mortalidad de Tetranychus urticae según la concentración de tomillo a las 48 horas mediante la prueba de Tukey

Concentración de tomillo (%)	Media (%)
0,00	64,67 b
0,50	93,33 a
1,00	98,67 a

Elaborado por: (La autora, 2025)

Nota: Medias seguidas por letras distintas difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

En la tabla 16 se evidencia que el tomillo fue el aceite esencial con mayor efecto acaricida, ya que incluso a concentraciones medias alcanzó elevados porcentajes de mortalidad, diferenciándose claramente del resto de tratamientos.

4.5 Eficacia acaricida del aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*)

Los resultados obtenidos en el presente estudio demuestran que el aceite esencial de tomillo presentó una actividad acaricida significativamente superior frente a *Tetranychus urticae* en comparación al aceite esencial de menta, tanto a las 24 horas como a las 48 horas. Este efecto

se incrementó con el aumento de la concentración y se mantuvo en el tiempo, lo que evidencia una respuesta dosis-dependiente y una acción persistente. El tomillo se consolidó como el principal agente responsable de la mortalidad observada de los ácaros evaluados.

La alta eficacia del aceite esencial de tomillo se asocia principalmente a su perfil químico, caracterizado por un alto contenido de compuestos fenólicos, principalmente el timol y carvacol. Estos metabolitos secundarios se han reportado como los responsables de la inhibición de acetilcolinesterasa, la alteración de la integridad de las membranas celulares y la interferencia en los sistemas neurológicos de los ácaros provocando desbalances fisiológicos que conducen a la muerte del organismo (Pavela & Benelli, 2016; Benelli et al., 2018).

Diversos estudios respaldan los hallazgos del presente trabajo. Pavela et al., (2019) reportaron que el aceite esencial de *Thymus vulgaris* genera mortalidades superiores al 90 % en bioensayos de laboratorio contra artrópodos plaga, incluso a concentraciones moderadas. De manera similar, Abd- El Ghany et al., (2020) documentaron la alta toxicidad de tomillo frente a *T. urticae*, contribuyendo este efecto a la acción combinada de sus componentes fenólicos.

Asimismo, recientes investigaciones señalan que el aceite esencial de tomillo debido a su alto contenido de timol mantiene su eficacia biológica frente a poblaciones resistentes a acaricidas sintéticos, lo que refuerza su potencial como una alternativa sostenible posicionándolo como un candidato prioritario para el control de *T. urticae* dentro de programas de manejo integrado de plagas (Isman et al., 2022).

4.6 Efecto del tiempo de exposición en la mortalidad de *Tetranychus urticae*

Los resultados del presente estudio evidencian que el tiempo de exposición tuvo una influencia determinante en la mortalidad de *T. urticae*, observándose un incremento significativo de la mortalidad a las 48 horas en comparación con las 24 horas para la mayoría de tratamientos evaluados. Este comportamiento indica que la acción acaricida de los aceites esenciales no es

inmediata en todos los casos, si no que depende de un periodo de exposición suficiente para que los compuestos bioactivos ejerzan su efecto fisiológico completo sobre el organismo.

El aumento progresivo de la mortalidad con el tiempo ha sido ampliamente documentado en estudios que evalúan aceites esenciales frente a ácaros fitófagos. Investigaciones recientes señalan que estos compuestos actúan principalmente por contacto e inhalación, penetrando gradualmente a través de la cutícula y el sistema respiratorio del ácaro, lo que explica la mayor mortalidad observada en tiempos prolongados (Stavarakaki et al., 2018; Campolo et al., 2018).

De igual forma, el efecto dependiente del tiempo puede estar relacionado con la acumulación progresiva de compuestos lipofílicos en los tejidos del ácaro, lo que conduce a alteraciones metabólicas y neurológicas irreversibles. Según Miresmailli y Isman (2018), muchos monoterpenos y fenoles presentes en los aceites esenciales requieren un tiempo prolongado para alcanzar concentraciones letales para el organismo objetivo, especialmente en organismos con cutículas resistentes como *T. urticae*.

Por otra parte, la persistencia del efecto acaricida a las 48 horas, particularmente en los tratamientos incluyeron aceite esencial de tomillo, sugiere que ciertos compuestos presentan una mayor estabilidad y menor volatilidad relativa, lo que prolonga su actividad biológica. Estudios recientes han indicado que los aceites esenciales con alto contenido de compuestos fenólicos tienden a mostrar una acción más duradera en comparación con aquellos dominados por monoterpenos altamente volátiles, lo que resulta clave en bioensayos donde el tiempo de exposición es un factor crítico (Wagan et al., 2020; Benelli & Pavela, 2021).

4.7 Alteraciones morfológicas inducidas por los aceites esenciales en *Tetranychus urticae*

Las alteraciones morfológicas observadas en *Tetranychus urticae* tras la aplicación de aceites esenciales contribuye a un indicador adicional de un efecto biológico ejercido por estos tratamientos. Los cambios registrados, tales como la modificación progresiva de la coloración

corporal, así como el colapso aparente del cuerpo, sugieren la presencia de daños fisiológicos severos. Estas manifestaciones fueron consistentes tanto a las 24 como a las 48 horas de evaluación, lo que evidencia un efecto acumulativo dependiente de del tiempo de exposición.

Diversos estudios han señalado que los aceites esenciales pueden inducir alteraciones morfológicas visibles en los ácaros fitófagos como consecuencia de la disrupción de la integridad de la cutícula y de las membranas celulares. Los compuestos lipofílicos presentes en estos aceites facilitan la penetración a la cutícula provocando la deshidratación celular, pérdida de turgencia y colapso estructural del organismo, lo que manifiesta como deformaciones corporales y cambios de coloración (Gross et al., 2017; Tak & Isman, 2017).

Asimismo, la inmovilidad observada en algunos individuos, pese a conservar una apariencia visual de vitalidad, se ha reportado como un efecto típico de la acción neurotóxica de ciertos componentes y los aceites esenciales. Estudios señalan que la inhibición de enzimas clave del sistema nervioso, así como la alteración de la transmisión sináptica, puede generar estados de parálisis o letargo que preceden a la muerte del ácaro, dificultando la diferenciación inmediata entre individuos vivos y afectados (Haddi et al., 2017; Wagan et al., 2020).

La diferenciación morfológica entre individuos vivos y muertos de *Tetranychus urticae* se ilustra en la Figura 7 y Figura 8.

Tetranychus urticae



Figura 7 Individuo vivo de Tetranychus urticae

Elaborado por: (La autora, 2026)

Nota: Observado bajo el lente 40X

Tetranychus urticae



Figura 8 Individuo muerto de Tetranychus urticae

Elaborado por: (La autora, 2026)

Nota: Observado bajo el lente 40X

5 Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Los resultados obtenidos permiten concluir que los aceites esenciales evaluados ejercieron un efecto significativo sobre la mortalidad de *Tetranychus urticae*, confirmando la hipótesis planteada en el presente estudio. En particular, el aceite esencial de tomillo demostró ser el tratamiento más eficaz, alcanzando los mayores porcentajes de mortalidad tanto a las 24 como a las 48 horas. Este comportamiento evidencia una respuesta dosis- dependiente y un efecto persistente en el tiempo, lo que valida el cumplimiento del objetivo general del potencial acaricida de los aceites esenciales.
- La comparación entre los aceites esenciales de menta y tomillo permitió establecer diferencias claras en su eficacia biológica frente a *T. urticae*. Mientras que la menta presentó un efecto acaricida moderado, el tomillo mostró una acción significativamente superior, atribuido a su composición rica en compuestos fenólicos con alta actividad bio-acaricida. Esta mayor eficacia se reflejó en los altos porcentajes de mortalidad registrados y en la superación del umbral de concentración letal medial (CL₅₀) en la totalidad de los tratamientos que incluyeron aceites esenciales.
- El análisis de la interacción entre los aceites esenciales y su comparación con el control químico permitió evidenciar que determinadas combinaciones, alcanzaron niveles de mortalidad comparables al tratamiento químico. Este hallazgo resalta el potencial de los aceites esenciales como alternativas sostenibles dentro de programas de manejo integrado de *T. urticae*, contribuyendo a la reducción del uso de acaricidas sintéticos y al desarrollo de estrategias de control más amigables con el medio ambiente.
- Se observaron alteraciones morfológicas en *Tetranychus urticae* tras la aplicación de los tratamientos tanto a las 24 como a las 48 horas de evaluación. Inicialmente, los

individuos presentaban una coloración translúcida con dos manchas oscuras laterales, sin embargo, posterior a los tratamientos hubo un cambio de tonalidad a amarillo y café. Adicionalmente, se registraron cambios morfológicos caracterizadas por un aparente colapso del cuerpo, encogimiento de las extremidades y aspecto aplanado.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda evaluar concentraciones superiores del aceite esencial de menta para el control de *T. urticae*, ya que el efecto acaricida observado con las concentraciones ensayadas mostró una eficacia moderada. No obstante, los niveles de mortalidad registrados resultaron comparables con los obtenidos del control químico. Asimismo, considerando que la menta presentó un incremento de la mortalidad a las 48 horas, se sugiere ampliar los periodos de evaluación hasta las 72 horas posteriores a la exposición, con el fin de determinar si el efecto acaricida se intensifica en el tiempo.
- Se recomienda evaluar la eficacia de los aceites esenciales y sus combinaciones en condiciones de invernadero y de campo, considerando factores ambientales que pueden influir en su persistencia y desempeño biológico. Asimismo, se sugiere analizar posibles efectos subletales sobre el ácaro, como alteraciones en la reproducción o el comportamiento, para tener una visión más integral de su impacto.

6 Bibliografía

- Abd El Ghany, N. M., Abdel Razik, M. A., & Mahmoud, E. A. (2020). Acaricidal activity of some essential oils against two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. *Journal of Plant Protection Research*, *60*(2), 134-141. <https://doi.org/10.24425/jppr.2020.133310>
- Abbott, W. S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, *18*(2), 265–267. <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265>
- Acurio, R., & García, J. (2024). Efecto de *Bacillus megaterium* en el cultivo de fresa. *Agronomía Mesoamericana*, 59611. <https://doi.org/10.15517/am.2024.59611>
- Alibeigi, Z., Rakhshandehroo, E., Jamal, M., & Mootabi, A. (2025). Actividad acaricida y repelente del aceite esencial y nanoesencial de *Thymus vulgaris* contra las etapas larvarias y adultas ingurgitadas de la garrapata marrón del perro, *Rhipicephalus sanguineus* (Acari: Ixodidae). *BMC Veterinary Research*. <https://doi.org/10.1186/s12917-025-04609-y>
- Basak, R., Akter, M., Tumpa, T., Sharmin, D., & Ullah, M. (2021). Laboratory bioassay of six pesticides and enthomophatogenic fungus, and a botnical pesticide against two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Plant Protection Journal*, *10*(3). <https://doi.org/10.22073/pja.v10i3.65092>
- Benelli, G., Canale, A., Toniolo, C., Higuchi, A., Murugan, K., Pavela, R., & Mehlhorn, M. (2020). Neem oil and botanical insecticides: Mode of action and applications. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, *165*, 104-116. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104116>
- Benelli, G., Pavela, R., Canale, A., & Mehlhorn, H. (2018). Tick repellents and acaricides of botanical origin: A green roadmap to control tick-borne-diseases? *Parasitology Research*, *117*, 2545-2560. <https://doi.org/10.1007/s00436-018-5971-0>

- Benelli, G., & Pavela, R. (2021). Beyond mosquitoes: Essential oil toxicity and applications against agricultural pests. *Journal of Pest Science*, *94*, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s10340-020-01267-1>
- Bostanian, N., Akbari, M., & Chi, H. (2023). Toxicity and sublethal effects of the natural acaricides on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae): Implications for the pest management. *Experimental and Applied Acarology*. <https://doi.org/10.1007/s10493-023-00748-9>
- CABI. (2021). *Tetranychus urticae* (two-spotted spider mite). En *CAB Abstracts*. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.53366>
- Campolo, O., Giunti, G., Laigle, M., Michael, T., Palmeri, V., & Benelli, G. (2018). Essential oil-based nano-emulsions: Effectiveness against insect pest and impact on non-target organisms. *Industrial Crops Products*, *111*, 630-640. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.11.034>
- Cortez, H., & Romero, A. (2025). Conservación de enemigos naturales y productividad en fresas: Hacia una convergencia económico-ecológica de la agricultura. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. <https://doi.org/10.1080/21683565.2025.2568459>
- El-Wakeil, N., Elbehery, H., & Saleh, S. (2022). Bioassay techniques for evaluating the toxicity of biopesticides against mites under laboratory conditions. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. <https://doi.org/10.1186/s41938-022-00621-z>
- Esra, A., Elif, S., Çaşkurlu, A., Demirci, B., & Demirci, F. (2024). *In vitro antimicrobial activity of chlorhexidine in combination with essential oils of Mentha piperita and Thymus serpyllum. Heer y Pelargonium graveolens L'hér.* <https://doi.org/10.1080/10412905.2024.2397689>

- Faraone, N., Hillier, N. K., & Cutler, G. C. (2018). Plant essential oils synergize and antagonize toxicity of insecticides against *Myzus persicae*. *Pest management Science*, *74*(3), 593-601. <https://doi.org/10.1002/ps.4751>
- Ganjisaffar, F., Abrieux, A., Gress, B., Chiu, J., & Zalom, F. (2023). Infestaciones de fresas de California por *Drosophila* e identificación de *Drosophila suzukii* mediante un ensayo TaqMan. *Applied Sciences*, *13*(15), 8783. <https://doi.org/10.3390/app13158783>
- García, M., Donaldo, M., & Pérez, S. (2018). Evaluation of plant-derived compounds against *Tetranychus urticae* under controlled environmental conditions. *Crop Protection*, *110*, 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.05.021>
- Gross, A. D., Norris, E. J., Kimber, M. J., Coast, J. R., & Schultz, D. J. (2017). Identification of essential oil components with acaricidal activity against spider mites. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, *143*, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2017.09.004>
- Haddi, K., Turchen, L. M., Viteri Jumbo, L.O., Guedes, R. N., & Pereira, E. J. G. (2017). Rethinking biorational insecticides for pest management: Unintended effects and consequences. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, *140*, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2017.05.006>
- Holopainen, J., & Hokkanen, H. (2024). Preferencias de plantas hospedantes y hábitat de las chinches *Lygus*: consecuencias para la aplicación de cultivos trampa. *Arthropod-Plant Interactions*. <https://doi.org/10.1007/s11829-024-10089-y>
- Hudz, N., Kobylinska, L., Pokajewicz, K., Horčinová Sedláčková, V., Fedin, R., Voloshyn, M., Myskiv, I., Brindza, J., Wieczorek, P.P., & Lipok, J. (2023). *Mentha piperita*: essential oil and extracts, their biological activities, and perspectives on the

- development of new medicinal and cosmetic products. *Molecules*, 28(21), 7444.
<https://doi.org/10.3390/molecules28217444>
- Hummelbrunner, L. A., & Isman, H. B. (2021). The synergistic effects of plant essential oil mixtures against arthropod pest. *Journal of Pest Science*, 94, 537-548.
<https://doi.org/10.1007/s10340-020-01260-8>
- Intagri. (2017). Manejo integrado de araña roja en hortalizas bajo invernadero. (Serie Fitosanidad. No. 78). *INTAGRI*. México.
<https://www.intagari.com/articulos/fitosanidad/manejo-integrado-de-arana-roja-en-hortalizas-bajo-invernadero>
- Isman, M. B. (2016). Botanical insecticides in the twenty-first century: *Fulfilling their promise?* *Annual Review of Entomology*, 65, 233–249.
<https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025010>
- Isman, M. B., & Grieneisen, M. L. (2018). Botanical insecticide research: Many publications, limited useful data. *Trends in Plant Science*, 23(9), 709-712.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.06.009>
- Isman, M. B., Miresmailli, S., & Macihal, C. (2022). Commercial opportunities for pesticides based on plant essential oils in agriculture, industry and consumer products. *Photochemistry Reviews*, 21, 1607-1627. <https://doi.org/10.1007/s11101-021-09780-5>
- Jakubowska, M., Dobosz, R., Kowalska, J., & Zawada, D. (2022). Revisión de métodos de protección de cultivos contra el ácaro de dos manchas, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), con especial referencia a métodos alternativos. *Agriculture*, 12(7), 898. <https://doi.org/10.3390/agriculture12070898>

- Kirk, W. D. J., & Terry, I. (2023). Biology, ecology and management of thrips: Current advances and future directions. *Crop Protection*, *166*, 106212. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106212>
- Koul, O., Walia, S., & Dhaliwal, G. S. (2016). Essential oils as green pesticides: potential and constraints. *Biopesticides International*, *12*(2), 63-84. <https://doi.org/10.5958/0974-391X.2016.00010.3>
- Liburd, O. E., & Martin, N. (2019). Management of strawberry insect and mite pests in greenhouse and field crops. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.82069>
- Lahiri, S., Smith, H., Gireesh, M., Kaur, G., & Montemayor, J. (2022). Manejo de plagas de artrópodos en fresa. *Insects*, *13*(5), 475. <https://doi.org/10.3390/insects13050475>
- López, M. D., Pascual-Villalobos, M. J., & Fernández, M. (2019). Mode of action of essential oils and their components on insects and mites. *Phytochemistry Reviews*, *18*, 1123-1141. <https://doi.org/10.1007/s11101-019-09620-3>
- López, V., Zambrano, J., Dueñas, A., Dueñas, J., Alcívar, U., Burgos, G., Segovia, D., & Loor, H. (2024). *Actividad antimicrobiana de aceites esenciales: aplicación alimentaria y métodos de determinación. En Antimicrobianos para el mantenimiento sostenible de alimentos (1.a ed.)*. <https://doi.org/10.1201/9781003288503>
- Migeon, A., & Dorkeld, F. (2021). Spider mites (Tetranychidae): Worldwide checklist, biological traits, host plants and distribution. *Entomologic Experimentalism et Applicata*, *169*(8), 682–700. <https://doi.org/10.1111/eea.13053>
- Miresmalli, S., & Isman, M. B. (2018). Efficacy and persistence of essential oils against arthropod pest. *Pest Management Science*, *74*(5), 1-9. <https://doi.org/10.1002/ps.4829>

- Mossa, A. T. H. (2016). Green pesticides: Essential oils as biopesticides in insect-pest management. *Journal of environmental Science and Technology*, 9(5), 354-378.
<https://doi.org/10.3923/jest.2016.354.378>
- Musa, A., Medo, I., Marić, I., & Marčić, D. (2017). Efectos acaricidas y subletales de un biopesticida a base de *Chenopodium* sobre la araña roja de dos manchas (*Acari: Tetranychidae*). *Experimental and Applied Acarology*, 73(2), 101–113.
<https://doi.org/10.1007/s10493-017-0118-x>
- Oliveira, H., Soto, A., & Hernández, R. (2020). Los efectos subletales de los acaricidas son más nocivos para los ácaros depredadores *Phytoseiulus macropilis* Banks (*Acari: Phytoseiidae*) que para la plaga *Tetranychus urticae* Koch (*Acari: Tetranychidae*). *Boletín Científico del Museo de Historia Natural*, 24(2), 33–45. <https://doi.org/10.17151/bccm.2020.24.2.3>
- Oliveira, J., Destefani, F., Garcia, F., Huver, A., Bolsoni, H., & Menini, L. (2021). Actividad acaricida y repelente de aceites esenciales comerciales sobre *Tetranychus urticae* *in vitro* y en cultivo protegido. *Agronomía Colombiana*, 39(2), 205–214. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v39n2.94805>
- Pavela, R., & Benelli, G. (2016). Essential oils as ecofriendly biopesticides? challenges and opportunities. *Trends in Plant Science*, 21(12), 1000–1017.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.10.005>
- Pavela, R., & Maggi, F. (2017). Insecticidal activity of essentials oils: a review. *Industrial Crops and Products*, 97, 49, 63.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.12.035>
- Pavela, R. (2018). Essential oils for the development of eco-friendly mosquito larvicides: a review. *Industrial Crops and Products*, 123, 395-408.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.050>

- Pavela, R., Maggi, F., Iannarelli, R., & Benelli, G. (2019). Plant extracts of developing biopesticides: from laboratory field. *Acta Tropica*, *193*, 236-271. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2019.01.019>
- Pavela, R., Maggi, F., & Benelli, G. (2022). Efficacy of essential oils as acaricides against *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and development of stable nano-emulsions for field application. *Crop Protection*, *158*, 106092. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2022.106092>
- Piraneo, T., Bull, J., Morales, M., Lavine, L., Walsh, D., & Zhu, F. (2015). Mecanismos moleculares de *Tetranychus urticae* y su adaptación química en campos de lúpulo. *Scientific Reports*, *5*, 17090. <https://doi.org/10.1038/srep17090>
- Popescu, I., Gostin, I., & Blidar, C. (2024). Una visión general de los mecanismos de acción y tecnologías de administración de los aceites esenciales utilizados como insecticidas ecológicos. *AgriEngineering*, *6*(2), 68. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6020068>
- Pupiro, L., Pérez, Y., & Pino, O. (2018). Actividad acaricida de aceites esenciales de especies pertenecientes a las familias Myrtaceae, Lamiaceae y Rutaceae sobre *Tetranychus tumidus* Banks. *Revista de Protección Vegetal*, *33*(2), 85–93. <https://revistas.censa.edu.cu/index.php/RPV/article/view/974/1156>
- Rattan, R. S. (2017). Mechanism of action of insecticidal secondary metabolites of plant origin. *Crop Protection*, *102*, 47-55. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.08.013>
- Reitz, S. R., Gao, Y., & Lei, Z. (2020). Thrips: Biology, ecology, and management of a pervasive pest. *Annual Review of Entomology*, *65*, 101–119. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025021>

- Regnault-Roger, C., Vincent, C., & Arnason, J. T. (2016). Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. *Annual Review of Entomology*, *61*, 587–609. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010715-023622>
- Ribeiro, L. P., Akthar, Y., Vendramin, J. D., & Isman, M. B. (2016). Comparative bioactivity of selected plant essential oils against *Tetranychus urticae*. *Experimental Applied Acarology* *68*(2), 203-215. <https://doi.org/10.1007/s10493-015-9980-8>
- Robertson, J. L., Jones, M. M., Olguin, E., & Alberts, B. (2017). *Bioassays with arthropods (3rd ed.)*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315157667>
- Shelepova, O. V., Dilovarova, T. A., Gulevich, A. A., Olekhovich, L. S., Shirokova, A. V., Ushakova, I. T., Zhuravleva, E. V., Konovalova, L. N., & Baranova, E. N. (2021). Chemical components and biological activities of essential oils of *Mentha × piperita* L. from Field-Grown and Field-Acclimated after in vitro propagation plants. *Agronomy*, *11*(11), 2314. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112314>
- Skoracka, A., Kuczyński, L., Rector, B., & Lewandowski, M. (2020). The wheat curl mite complex: an updated review. *Experimental and Applied Acarology*, *82*, 1–30. <https://doi.org/10.1007/s10493-020-00529-4>
- Silva, V., Yang, X., Fleskens, L., Ritsema, C., & Geissen, V. (2022). Salud humana y ambiental en riesgo: escenarios para alcanzar los objetivos de reducción del 50% de plaguicidas de la granja a la mesa. *Environment International*, *164*, 107296. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107296>
- Sousa, V., Ursi, M., Thibes, A., Teruhiko, F., & Vinícius, L. (2021). Desarrollo y crecimiento poblacional de la araña roja (*Tetranychus urticae* Koch) en fresa fertilizada con diferentes dosis y fuentes de fertilizantes orgánicos. *International Journal of Acarology*, *47*(5), 305–312. <https://doi.org/10.1080/01647954.2021.1965655>

- Souza, L., Zuim, V., Stinguel, P., Pinheiro, P., & Zago, H. (2022). Toxicidad del aceite esencial de *Mentha piperita* (Lamiaceae) y su monoterpenoide mentol contra *Tetranychus urticae* Kogan 1836 (Acari: Tetranychidae). *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 94(4), e20200427. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202220200427>
- Sparkss, T. C., Crosswhaite, A. J., Nauen, R., Banba, S., Cordova, D., Earley, F., Ebbinghaus-Kintscher, U., Fujioka, S., Hirao, A., Karmon, D., Kennedy, R., & Suzuki, A. (2020). Insecticide resistance management: advances and challenges. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 161, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2019.11.004>
- Stavarakaki, M., Kouloussis, N. A., & Skouras, P. J. (2018). Insecticidal and acaricidal activity of essential oils against arthropod pest. *Industrial Crops and Products*, 123, 345-352. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.045>
- Tak, J. H., Isman, M. B. (2017). Enhanced cuticular penetration as the mechanism for synergy of insecticidal constituents of rosemary oils in *Trichoplusia ni*. *Scientific Reports*, 7, 42432. <https://doi.org/10.1038/srep42432>
- Tak, J. H., Isman, M. B., & Cooper, K. (2016). Toxicity and mode of action of essential oil constituents against *Tetranychus urticae*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 127, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2015.09.004>
- Toapanta, J. (2021). *Evaluación de tres extractos vegetales para el control de ácaros (Tetranychus urticae Koch) en hojas de fresa (Fragaria x ananassa)*. Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/b2503c0f-0e51-47fa-ad0f-c453a9accf06/content>

- Vacacela, H., Lemos, F., Colares, F., & Ferreira, J. (2018). Un nuevo registro de un ácaro plaga en la fresa: *Phytonemus pallidus* (Banks) (*Acari: Tarsonemidae*) llega a Minas Gerais, Brasil. *Florida Entomologist*, *101*(3), 330–333. <https://doi.org/10.1653/024.101.0330>
- Valcárcel, F., Manzano, R., González, J., & Olmeda, A. S. (2021). The potential of essential oils as acaricides: a review. *Frontiers in Agronomy*, *3*, 662802. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.662802>
- Villacreces, V. (2023). *Efecto del tipo y forma de fertilización sobre la inducción de resistencia al ataque de Tetranychus urticae Koch en plantas de fresa*. Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/dcac232b-2cc1-4519-98e5-419b127f10cf/content>
- Van Leeuwen, T., Tirry, L., Yamamoto, A., Nauen, R., & Dermauw, W. (2016). The economic importance of acaricides in the control of phytophagous mites and an update on resistance mechanisms. *Annual Review of Entomology*, *61*, 475-494. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010715-023907>
- Wang, D., Zhang, Y., & Liu, X. (2019). Laboratory evaluation of plant essential oils against *Tetranychus urticae* Koch (*Acari: Tetranychidae*). *Crop Protection*, *120*, 43–49. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.03.004>
- Wagan, T. A., Cai, W., Hua, H., & Yang, Q. (2018). Toxicity and sublethal effects of plant essential oils on arthropod pests. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*, 14323-14333. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08129-4>
- Warpechowski, L., Godoy, D., Steinhaus, E., & Bernardi, O. (2025). Método de bioensayo para evaluar la susceptibilidad a los insecticidas en trips. *Neotropical Entomology*, *54*(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s13744-025-01326-x>

- Wu, L., Huo, X., Zhou, X., Duoyong, Z., He, W., Hong, S., Liu, H., Feng, T., & Wang, C. (2017). Acaricidal activity and synergistic effect of thyme oil components against carmines spider mite (*Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval)). *Molecules*, 22(11), 1873. <https://doi.org/10.3390/molecules22111873>
- Zhou, C., Suk, W., Liburd, O., Aygun, I., Zhou, X., Pourreza, A., Schueller, J., & Ampatzidis, Y. (2023). Detección de arañas rojas y ácaros depredadores en fresas mediante aprendizaje profundo. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 12, 100229. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100229>

7 Anexos

Anexos 1 Compuestos obtenidos de la caracterización de tomillo mediante Análisis en GC/MS.

ACEITE ESENCIAL DE TOMILLO						
Nº	TR	IRC	IR Literatura	Dif.	COMPUESTOS	%
1	8,083	925	924	1	Thujene <α->	0,86
2	8,389	932	932	0	Pinene <α->	1,77
3	9,114	949	946	3	Camphene	0,71
4	10,324	979	974	5	Pinene <β->	0,26
5	10,705	988	983	5	1-Octen-3-ol*	0,12
6	10,835	991	988	3	Myrcene	1,34
7	12,113	1019	1014	5	Terpinene	1,34
8	12,596	1029	1022	7	Cymene	25,35
9	12,702	1032	1024	8	Limonene	0,86
10	12,879	1035	1026	9	Cineole <1,8->	0,86
11	14,103	1061	1054	7	Terpinene	12,2
12	14,845	1077	1065	12	ND	0,28
13	16,256	1107	1095	12	Linalool	3,58
14	18,671	1158	1141	17	Camphor	0,46
15	19,460	1174	-	-	ND	0,31
16	19,882	1183	1165	18	Borneol	0,61
17	20,181	1189	1174	15	Terpinen-4-ol	0,34
18	20,983	1206	1186	20	Terpineol	0,3
19	21,171	1210	1199	11	Terpineol <γ->	0,03
20	25,820	1312	1289	23	Thymol	42,58
21	26,133	1319	1298	21	Carvacrol	1,93
22	30,670	1423	1417	6	Caryophyllene <(E)->	2,34
23	33,309	1486	1480	6	Germacrene D	0,33
TOTAL						98,76
*Cho, Namgung, et al., 2008						
TR: Tiempo de retención; IRC: Índice de retención calculado; IR: Índice de retención; Dif: Diferencia.						

Fuente: Rodríguez & Vallejo, (2025).

Anexo 2 Compuestos obtenidos de la caracterización de aceite esencial de menta, mediante Análisis en GC/MS.

ACEITE ESENCIAL DE MENTA						
Nº	TR	IRC	IR Literatura	Dif.	COMPUESTOS	%
1	8,12	926	924	2	Thujene < α ->	0,20
2	8,43	933	932	1	Pinene < α ->	0,47
3	9,17	951	946	5	Camphene	0,09
4	10,17	975	969	6	Sabinene	0,13
5	10,37	980	974	6	Pinene < β ->	0,43
6	10,89	992	988	4	Myrcene	0,40
7	12,16	1020	1014	6	Terpinene < α ->	0,42
8	12,62	1030	1020	10	Cymene < ρ ->	1,55
9	12,75	1033	1024	9	Limonene	4,22
10	12,93	1036	1026	10	Cineole e <1,8->	0,37
11	14,15	1062	1054	8	Terpinene < γ ->	2,38
12	18,69	1158	-	-	ND	1,27
13	19,10	1167	1158	9	Menthone <iso->	17,50
14	19,28	1171	-	-	ND	0,85
15	19,54	1176	-	-	ND	16,48
16	19,75	1180	1161	19	Menthol <neo->	3,77
17	20,23	1190	1167	23	Menthol	35,55
18	20,37	1193	-	-	ND	0,59
19	20,66	1199	1179	20	Menthol <iso->	1,57
20	20,84	1203	1184	19	Menthol <neoiso->	0,09
21	23,05	1251	1233	18	Pulegone	4,02
22	23,88	1269	1249	20	Piperitone	0,49
23	25,15	1297	1271	26	Menthyl acetate <neo->	2,55
24	25,81	1312	1289	23	Thymol	2,28
25	25,86	1312	1294	18	Menthyl acetate	
26	26,82	1334	-	-	ND	0,15
27	30,71	1424	-	-	ND	0,71
28	58,25	2213	-	-	ND	0,50
TOTAL						99,03
TR: Tiempo de retención; IRC: Índice de retención calculado; IR: Índice de retención; Dif: Diferencia.						

Fuente: Rodríguez & Vallejo, (2025).