



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Departamento de Parasitología Agrícola
Maestría en Ciencias en Protección Vegetal

**“EVALUACIÓN DE BIOENSAYOS CON EXTRACTOS
VEGETALES PARA EL CONTROL DE *Drosophila suzukii* EN
EL CULTIVO DE FRAMBUESA BAJO UN RIEGO
CONTROLADO”**

TESIS

**Que como requisito parcial para obtener el grado de
Maestro en Ciencias en Protección Vegetal**

Presenta

Avelino Rivera Torres

Bajo la supervisión de

Dra. Norma Marina Alarcón Rodríguez



Chapingo, Estado de México, junio 2026.



Evaluación de bioensayos con extractos vegetales para el control de *Drosophila suzukii* en el cultivo de frambuesa bajo un riego controlado realizada por **Avelino Rivera Torres**, bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCION VEGETAL

Director:



Dra. Norma Marina Alarcón Rodríguez.

Asesor:



Dr. Horacio Eliseo Alvarado Raya.

Asesor:



Dr. Luciano Martínez Bolaños.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a:

Dedico este trabajo primeramente a Dios, por brindarme la fortaleza, la salud y la oportunidad de alcanzar una meta más en mi vida.

A mis padres y familia, por su amor y sacrificio, quienes han sabido guiar mis pasos hacia el conocimiento y han sembrado en mí la vocación del servir para ser cada día mejor persona.

Para quienes la principal satisfacción ha sido verme convertido en profesionista y que gracias a ellos estamos a un pequeño paso de convertirnos en lo que tanto hemos estado luchando.

A mi hermosa hija, quien ha sido mi fuerza de inspiración en cada momento de este camino difícil. Cada sacrificio realizado durante este sendero tuvo como propósito ofrecerte un mejor futuro, así que este logro también es tuyo mi pequeña Miuren.

.

El sufrimiento del hoy será el triunfo del mañana.

“Ad Astra Per Aspera”

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater, a la Universidad Autónoma Chapingo y al Departamento de Parasitología Agrícola por haberme permitido continuar con mis estudios y ser así un profesionista.

A mis profesores; por todo el conocimiento que me brindaron durante mi estancia en la maestría.

Al posgrado, por el apoyo brindado durante mis estudios de maestría.

A mis amigos y compañeros: que han sido parte de mi crecimiento y formación como persona.

A mi familia; por el apoyo incondicional que siempre me han brindado a pesar de las adversidades de la vida.

Datos Biográficos

Datos personales

Nombre: Avelino Rivera Torres.

Fecha de nacimiento: 09/05/1999.

Lugar de nacimiento: Tecamatlán, Puebla.

CURP: RITA990509HPLVRV09

Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia.

Cédula profesional: 14952312



FORMACIÓN ACADÉMICA PROFESIONAL

Comencé mis estudios del 2018 al 2022 en la Universidad Autónoma Chapingo, en el Departamento de Fitotecnia, donde culminé mis estudios de Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia. En 2024 ingreso a la Maestría en Ciencias en Protección Vegetal en el posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo para continuar con mi formación profesional.

ÍNDICE

ÍNDICE	6
ÍNDICE DE CUADROS	11
ÍNDICE DE FIGURAS	13
RESUMEN GENERAL	15
GENERAL ABSTRACT	15
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	16
1.1 Antecedentes	17
1.2 Planteamiento del problema	18
1.3 Justificación	19
1.4 Hipótesis	19
1.5 Objetivo general	20
1.5.1 Objetivos específicos	20
1.6 Literatura Citada	21
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA	22
2.1 Mosca del vinagre de las alas manchadas (<i>Drosophila suzukii</i>)..	22
2.1.1 Origen	22
2.1.2 Clasificación Taxonómica de <i>Drosophila suzukii</i>	22
2.1.3 Ciclo biológico	23
2.2 Distribución en México	24
2.3 Dispersión a nivel mundial	24
2.4 Importancia económica	26
2.5 Daños causados por la mosca de las alas manchas	27
2.6 Medidas Fitosanitarias de control en México	28
2.7 Cultivo de Frambuesa <i>Rubus idaeus</i> L	29

2.7.1	Origen.....	29
2.7.2	Clasificación taxonómica	30
2.7.3	Características Morfológicas	31
2.8	Propiedades nutraceuticas.....	33
2.9	Mejoramiento genético de <i>Rubus idaeus</i> en México.....	34
2.9.1	Material vegetal Cultivar Malu	35
2.10	Condiciones edafoclimáticas	36
2.11	Propagación del cultivo	38
2.12	Enfermedades del cultivo	39
2.12.1	Agalla del cuello (<i>Agrobacterium tumefaciens</i>):.....	39
2.12.2	Pudrición gris (<i>Botrytis cinerea</i>):	40
2.12.3	Roya (<i>Pucciniastrum americanum</i>):.....	41
2.13	Plagas del cultivo de frambuesa	42
2.13.1	Ácaros:.....	42
2.14	Extractos vegetales	43
2.14.1	Potencial biológico	43
2.14.2	Uso de extractos vegetales en frambuesa.....	44
2.14.3	Uso de químicos para el control de <i>Drosophila suzukii</i> en frambuesa	45
2.15	Efecto biocida de extractos vegetales etílicos.	46
2.16	Efecto biocida de extractos vegetales acuosos	48
2.17	Bioensayo de extracto de higuera (<i>Ricinus communis</i>)	50
2.18	Bioensayo de extracto de Eucalipto (<i>Eucalyptus spp</i>)	51
2.19	Literatura Citada	52

CAPÍTULO 3. EVALUAR EL EFECTO DEL RIEGO COMPLETO Y REDUCIDO, CON LA APLICACIÓN O AUSENCIA DE N-ALGAX, SOBRE EL RENDIMIENTO DE FRAMBUESA..... 67

3.1	Resumen	67
3.2	Introducción	68
3.3	Materiales y métodos	69
3.4	Ubicación de los experimentos	69
3.4.1	Manejo del cultivar Malu	69
3.4.2	Aplicación del Producto N-Algax.....	70
3.4.3	Monitoreo de cosecha	71
3.4.4	Sistema de riego y manejo hídrico	71
3.4.5	Gasto de agua de los tratamientos.....	74
3.4.6	Análisis estadístico.....	76
3.5	Resultados y discusión.....	78
3.5.1	Gasto de agua de los tratamientos.....	78
3.6	Rendimiento final de la cosecha de frambuesa.....	80
3.7	Comparación de medias de los tratamientos	81
3.8	Distribución y dispersión de los tratamientos	83
3.9	Prueba de comparación múltiple de DUNCAN.....	84
3.10	Relación estrés hídrico con el producto N-Algax.....	85
3.11	Conclusiones	87
3.12	Literatura citada.....	89

CAPÍTULO 4. PREPARACIÓN DE LOS EXTRACTOS VEGETALES HIDRO-ETÍLICOS Y ACUOSOS PARA DETERMINAR LA EFECTIVIDAD BIOLÓGICA A DIFERENTES

CONCENTRACIONES, MEDIANTE LA CUANTIFICACIÓN DEL PORCENTAJE DE MORTALIDAD DE <i>Drosophila suzukii</i>.	91
4.1 Resumen	91
4.2 Introducción	92
4.3 Materiales y métodos	93
4.3.1 Ubicación de los experimentos.....	93
4.3.2 Obtención de extractos vegetales hidro etílicos	93
4.3.3 Obtención de extractos vegetales acuosos.....	96
4.4 Colecta de <i>Drosophila suzukii</i> en el cultivo de frambuesa	98
4.5 Cría y acondicionamiento de <i>Drosophila suzukii</i> para pruebas biológicas.....	99
4.6 Metodología de bioensayos con adultos de <i>Drosophila suzukii</i>	100
4.7 Preparación de concentraciones y evaluación de bioensayos con extractos vegetales para el control de <i>Drosophila suzukii</i>	102
4.7.1 Análisis estadístico.....	112
4.8 Resultados y discusión.....	113
4.8.1 Prueba de mortalidad 50% de los extractos vegetales	113
4.9 Bioensayos de los extractos hidro etílicos del método de “Aspersión”	116
4.10 Comparación de medias de los tratamientos	118
4.11 Distribución y dispersión de los tratamientos.....	120
4.12 Prueba de Comparación Múltiple de DUNCAN	121
4.13 Bioensayos de extractos del método de “Inmersión del fruto en extracto”	123
4.14 Prueba de comparación múltiple de DUNCAN.....	124
4.15 Eficacia bioinsecticida de Tabaco y Eucalipto contra <i>Drosophila suzukii</i>	125
4.16 Conclusiones	128
4.17 Literatura citada.....	130

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características morfológicas del Cultivar Malu (Rodríguez & Flores, 2025).....	35
Cuadro 2. Solución nutritiva utilizada para el llenado de los frutos.	74
Cuadro 3. Gasto de cada tratamiento.	79
Cuadro 4. Análisis de varianza (ANOVA) de del rendimiento final de los tratamientos.	80
Cuadro 5. Comparación entre medias de los tratamientos.	82
Cuadro 6. Comparación de los tratamientos con su variable.....	86
Cuadro 7. Cuantificación de sólidos totales presentes en los extractos vegetales hidro etílicos.....	104
Cuadro 8. Cuantificación de sólidos totales presentes en los extractos vegetales acuosos.	104
Cuadro 9. Caracterización de los extractos vegetales hidro etílicos mediante la determinación de materia seca y concentración inicial.	107
Cuadro 10. Caracterización de los extractos vegetales acuosos mediante la determinación de materia seca y concentración inicial.	107
Cuadro 11. Concentraciones derivadas de las diluciones 1:10 realizadas a los extractos vegetales hidro etílicos.....	108
Cuadro 12. Concentraciones derivadas de las diluciones 1:10 realizadas a los extractos vegetales acuosos.....	108
Cuadro 13. Extractos hidro etílicos, porcentaje de mortalidad en <i>Drosophila suzukii</i>	114
Cuadro 14. Extractos acuosos, porcentaje de mortalidad en <i>Drosophila suzukii</i>	114
Cuadro 15. Análisis de Varianza de los Bioensayos (ANOVA).....	116
Cuadro 16. Comparación de medias de los extractos (Bioensayos).....	118

Cuadro 17. Análisis de varianza (ANOVA).....	123
Cuadro 18. Tratamientos de extractos vegetales significativamente superiores al testigo negativo local a 72 h.....	127
Cuadro 19. Principales efectos estadísticos observados en los bioensayos. .	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo biológico de <i>Drosophila suzukii</i> (Ministry of Agriculture the British Columbia, 2011; Huelva, s/a).	23
Figura 2. Distribución geográfica de <i>Drosophila suzukii</i> , a nivel mundial (CAB, 2018; EPPO, 2017b).	26
Figura 3. Diseño experimental en campo de bloques completos al azar con 5 tratamientos y tres repeticiones, con las variables respuesta.	77
Figura 4. Diagramas de cajas de los tratamientos en campo.	83
Figura 5. Tendencia de agrupación en los tratamientos.	84
Figura 6. A) Larvas y pupas en proceso de metamorfosis; B y C) Reproducción de adultos; D y E) Larvas en diferentes instares.	100
Figura 7. A y B) Extractos hidro etílicos (Eucalipto Hojas e Higuera); C y D) Extractos acuosos (Cempasúchil Hojas y Cempasúchil Flor).	101
Figura 8. A) Concentración a 3,000 ppm; B) Concentración a 300 ppm; C) Concentración a 30 ppm; D) Concentraciones del extracto de pirul.	106
Figura 9. A y B) Aplicación de extractos vegetales por el método de aspersión; C) Mortalidad del extractos.	110
Figura 10. Dosis recomendada del producto químico Exalt para el cultivo de frambuesa.	112
Figura 11. A y B) Evaluación de letalidad de los extractos; C) Aplicación del extracto a <i>Drosophila suzukii</i> ; D) Eliminando los excesos de extracto; E) Inmersión de las moscas en el extracto.	113
Figura 12. A y B) Bioensayos de eucalipto hoja a diferentes concentraciones; C) Bioensayos de Pirul con todas las repeticiones y testigos; D) Testigos negativo y positivo; E) Una repetición de los bioensayos de higuera.	119
Figura 13. I diagrama de cajas mostró diferencias importantes en la mortalidad de adultos de <i>Drosophila suzukii</i> entre tratamientos.	120
Figura 14. Prueba de comparación múltiple de Duncan realizada en SAS para la variable mortalidad de adultos de <i>Drosophila suzukii</i>	122

Figura 15. Prueba de comparación múltiple mostró que el tratamiento 6 presentó.	
.....	125

RESUMEN GENERAL

“EVALUACIÓN DE BIOENSAYOS CON EXTRACTOS VEGETALES PARA EL CONTROL DE *Drosophila suzukii* EN EL CULTIVO DE FRAMBUESA BAJO UN RIEGO CONTROLADO”

La producción de frambuesa demanda estrategias de manejo que mantengan el rendimiento y reduzcan el uso de agua, sin incrementar la susceptibilidad del cultivo a la mosca de alas manchadas, *Drosophila suzukii*. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del riego controlado y de un producto a base de algas marinas (N-Algax) sobre el rendimiento de frambuesa, así como determinar el potencial bioinsecticida de extractos vegetales contra adultos de *Drosophila suzukii*. En campo se estableció un Diseño de Bloques Completos al Azar con cinco tratamientos y tres repeticiones, que combinaron riego completo o reducido, la aplicación o ausencia de N-Algax. En laboratorio se utilizó un Diseño Completamente al Azar, donde se evaluaron extractos de tabaco, eucalipto, higuerilla, cempasúchil y pirul, con nueve repeticiones por tratamiento. Los extractos fueron aplicados mediante aspersión e inmersión del fruto, utilizando concentraciones obtenidas a partir de la cuantificación de materia seca y diluciones seriadas decimales. Las concentraciones evaluadas variaron según el extracto vegetal. Se incluyeron testigos positivos con Exalt (spinetoram) y testigos negativos a base de agua y etanol al 70 %. La mortalidad se registró a 12, 24, 48 y 72 horas. El rendimiento mostró diferencias numéricas entre tratamientos; el mayor rendimiento se observó con riego completo, N-Algax y presencia de plaga, aunque el análisis de varianza no detectó diferencias significativas. En bioensayos, la mortalidad a 72 horas difirió significativamente entre tratamientos ($F=15.255$; $p=3.80e-32$). La aspersión fue el método más efectivo ($p=4.39e-15$). Tabaco por aspersión a 10,500 ppm alcanzó 100 % de mortalidad y superó al testigo negativo ($p=0.0008$); eucalipto hoja por aspersión a 9,000 ppm alcanzó 83.3 % ($p=0.0029$). Los resultados sugirieron que la reducción del riego debe validarse sin comprometer rendimiento y que ciertos extractos vegetales, especialmente tabaco y eucalipto hoja por aspersión, son candidatos para integrarse al manejo de *Drosophila suzukii*.

Palabras clave: *Drosophila suzukii*, frambuesa, riego reducido, N-Algax, extractos vegetales, bioinsecticida.

Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Rivera Torres Avelino.

Director: Dra. Norma Marina Alarcón Rodríguez.

GENERAL ABSTRACT

BIOASSAY EVALUATION OF PLANT EXTRACTS FOR THE CONTROL OF *Drosophila suzukii* IN RASPBERRY CROPS UNDER CONTROLLED IRRIGATION CONDITIONS

Raspberry production requires management strategies that maintain yield while reducing water use without increasing crop susceptibility to the spotted-wing drosophila, *Drosophila suzukii*. The objective of this study was to evaluate the effect of controlled irrigation and a seaweed-based product (N-Algax) on raspberry yield, as well as to determine the bioinsecticidal potential of plant extracts against adult *Drosophila suzukii*. A Randomized Complete Block Design with five treatments and three replicates was established under field conditions, combining full or reduced irrigation with or without N-Algax application. In the laboratory, a Completely Randomized Design was used to evaluate extracts of tobacco, eucalyptus, castor bean, marigold, and pirul, with nine replicates per treatment. Extracts were applied by spraying and fruit immersion using concentrations obtained from dry matter quantification and serial decimal dilutions. The concentrations evaluated varied according to the plant extract. Positive controls treated with Exalt® (spinetoram) and negative controls consisting of water and 70% ethanol were included. Mortality was recorded at 12, 24, 48, and 72 h after treatment. Yield showed numerical differences among treatments, with the highest value observed under full irrigation combined with N-Algax application and pest presence; however, analysis of variance detected no significant differences. In the bioassays, mortality at 72 h differed significantly among treatments ($F = 15.255$; $p = 3.80 \times 10^{-32}$). Spraying was the most effective application method ($p = 4.39 \times 10^{-15}$). Tobacco extract applied by spraying at 10,500 ppm achieved 100% mortality and significantly outperformed the negative control ($p = 0.0008$), whereas eucalyptus leaf extract applied by spraying at 9,000 ppm achieved 83.3% mortality ($p = 0.0029$). These results suggest that reduced irrigation strategies should be further validated to avoid compromising yield and that plant extracts, particularly tobacco and eucalyptus leaf extracts applied by spraying, represent promising alternatives for inclusion in integrated management programs against *Drosophila suzukii*.

Key words: *Drosophila suzukii*, Raspberry, reduced irrigation, N-Algax, plant extracts, bioinsecticidal.

Master of Science Thesis, UniversityAutonomy Chapingo.

Author: Rivera Torres Avelino.

Advisor: Dra. Norma Marina Alarcón Rodríguez.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Drosophila suzukii, conocida comúnmente como la mosca de las alas manchadas, es una plaga invasora que genera pérdidas económicas significativas en los cultivos de berries. En México, representa uno de los mayores desafíos fitosanitarios debido a su alta capacidad reproductiva, adaptabilidad biológica y habilidad para infestar frutos sanos tanto en la etapa de pre cosecha como en la postcosecha. Por lo tanto, el desarrollo e implementación de estrategias de control resulta crucial para mitigar su impacto económico y garantizar la sostenibilidad de la producción de frambuesa para los productores.

En la actualidad, el control químico es la estrategia de manejo más utilizada en la agricultura debido a su alta efectividad inmediata para mantener la sanidad de los cultivos. Sin embargo, esto ha propiciado un uso excesivo de agroquímicos lo que genera diversas problemáticas a largo plazo, como: el desarrollo de resistencia genética en las poblaciones de *Drosophila suzukii*, obligando al agricultor a incrementar las dosis o a sustituir los productos ante la pérdida de eficacia biológica, la lenta degradación de las moléculas químicas que provocan la contaminación del medio ambiente y afecta negativamente a los organismos benéficos debido al amplio espectro de los insecticidas comerciales; y una de las problemáticas más importantes es la presencia de residuos químicos en las frutas, lo que compromete gravemente a la inocuidad alimentaria.

Por lo tanto, en el presente trabajo de investigación se pretende aportar una alternativa sustentable dentro de los programas de manejo integrado de plagas, mediante la evaluación del efecto de diferentes condiciones de riego sobre la incidencia de *Drosophila suzukii* en el cultivo de frambuesa. Asimismo, se analizarán distintas especies vegetales con propiedades insecticidas que poseen una alta concentración de metabolitos secundarios capaces de actuar como neurotóxicos, repelentes o inhibidores del crecimiento. El empleo de estos extractos vegetales en los sistemas de producción agrícola ofrece diversos

beneficios ecológicos como: son moléculas biodegradables, lo que impide la acumulación en el suelo, la aplicación reduce el riesgo de contaminación de los mantos acuíferos y minimiza los impactos negativos sobre la salud humana, posicionándose como una estrategia viable frente a los plaguicidas sintéticos convencionales.

1.1 Antecedentes

La gran mayoría de los productores de frambuesa optan por el control químico como método para mantener umbrales bajos de plagas, sin embargo, el control efectivo de las plagas solo es posible mediante el uso de una combinación de diferentes herramientas y técnicas disponibles basadas en un análisis de beneficios/costos y priorizando el menor impacto negativo posible sobre el ecosistema INTAGRI (s, f).

Históricamente, el manejo de *Drosophila suzukii* se ha fundamentado de manera casi exclusiva en el control químico, recurriendo a aplicaciones calendarizadas de insecticidas de síntesis (organofosfatos, piretroides y espinosinas) por su alta efectividad inmediata (Van Timmeren y Isaacs, 2013). No obstante, esta dependencia desmedida ha desencadenado severas crisis agroecológicas a largo plazo. El principal inconveniente fitosanitario es la presión de selección, la cual ha inducido el desarrollo de resistencia genética en poblaciones silvestres del insecto, obligando al incremento de dosis o a la sustitución frecuente de ingredientes activos ante la pérdida de eficacia biológica (Gress y Zalom, 2019).

Asimismo, el amplio espectro de estas moléculas genera una alta mortalidad en la fauna benéfica no objetivo, alterando la regulación natural del ecosistema (Desneux *et al.*, 2007). Desde una perspectiva ambiental y de salud pública, la lenta degradación de estos compuestos químicos eleva los riesgos de contaminación, mientras que la persistencia de residuos en los frutos frescos atenta directamente contra las normas de inocuidad alimentaria requeridas para la exportación (Sial *et al.*, 2019).

Es por ello que el uso de materiales vegetales para el control de la plaga es de suma importancia para evitar las diversas problemáticas que se presentan. Se conocen aproximadamente 2,400 especies vegetales con propiedades fungicidas, nematocidas, bactericidas e insecticidas; sin embargo, menos del 10 % se ocupa para el control de plagas en la agricultura (Grainge y Ahmed, 1998).

Mientras tanto, *Drosophila suzukii* se encuentra en proceso de dispersión en el país en donde las regiones con presencia de la plaga son zonas bajo un control fitosanitario por SENASICA, por lo tanto, es de suma importancia establecer un sistema de control efectivo para mitigar el impacto de la mosca en los frutos, ya que los cultivos susceptibles a *Drosophila suzukii* son uva, cereza, durazno, fresa, manzana, zarzamora, frambuesa, ciruela y pera; los cuales están distribuidos en gran parte del país (SENASICA, 2019).

Cabe recalcar que actualmente la mosca del vinagre de alas manchadas (*Drosophila suzukii*) es una plaga en observación ya establecida y en proceso de distribución por las zonas libres, aunque aún se siguen llevando a cabo controles fitosanitarios para tratar de evitar su dispersión.

1.2 Planteamiento del problema

La producción de frambuesa enfrenta la necesidad de mantener altos rendimientos con menor consumo de agua y, simultáneamente, reducir el daño ocasionado por *Drosophila suzukii*. El problema central consistió en determinar si el riego reducido, con o sin aplicación de N-Algax, podía sostener un rendimiento aceptable frente a condiciones de presión de plaga, y si los extractos vegetales evaluados presentaban mortalidad significativa en adultos de *Drosophila suzukii* para ser considerados como alternativas de manejo bioinsecticida.

1.3 Justificación

El uso eficiente del agua es un criterio prioritario en la producción agrícola actual, especialmente en cultivos intensivos de alto valor como la frambuesa. Reducir el riego al máximo posible sin afectar el rendimiento permitiría disminuir costos, mejorar la sostenibilidad del sistema y fortalecer la toma de decisiones técnicas en campo. Sin embargo, una reducción hídrica no debe evaluarse de manera aislada, ya que el estrés de la planta puede modificar su respuesta productiva y su interacción con plagas. Evaluar esta relación en presencia de *Drosophila suzukii* proporciona información útil para un manejo integral del cultivo.

La incorporación de N-Algax se justificó por su posible efecto bioestimulante sobre el crecimiento, el amarre de fruto y el rendimiento. La evaluación de este producto bajo riego completo y reducido permitió valorar si su aplicación compensa parcialmente los efectos del estrés hídrico y contribuye a mantener la productividad. Además, la búsqueda de extractos vegetales con efecto bioinsecticida responde a la necesidad de disminuir la dependencia del control químico convencional y ampliar las alternativas compatibles con esquemas de manejo integrado, inocuidad y producción sostenible.

1.4 Hipótesis

H0: No hay diferencias significativas entre los tratamientos.

H1: Al menos una combinación de riego controlado y aplicación de N-Algax mantendrá un rendimiento de frambuesa estadísticamente similar al riego completo, aún bajo presencia de *Drosophila suzukii*.

H2: La presencia de *Drosophila suzukii* afectará negativamente la relación entre disponibilidad hídrica y rendimiento, especialmente en tratamientos sin la aplicación del bioestimulante N-Algax.

H3: Al menos un extracto vegetal, método de aplicación o concentración evaluada producirá mortalidad significativamente mayor que su testigo negativo, mostrando potencial como bioinsecticida contra adultos de *Drosophila suzukii*.

1.5 Objetivo general

Evaluar la eficacia de bioensayos con extractos vegetales para el control de *Drosophila suzukii* en el cultivo de frambuesa (*Rubus idaeus*) bajo condiciones de riego controlado.

1.5.1 Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto del riego completo y reducido, con y sin N-Algax y con presencia o ausencia de *Drosophila suzukii*, sobre el rendimiento de frambuesa
2. Elaborar extractos vegetales hidro-etílicos y acuosos para la realización de los bioensayos.
3. Determinar la efectividad biológica a diferentes concentraciones de los extractos vegetales, mediante la cuantificación del porcentaje de mortalidad de *Drosophila suzukii*, con la comparación de un testigo positivo y negativo, bajo condiciones de laboratorio.

1.6 Literatura Citada

Desneux, N., Decourtye, A., & Delpuech, J. M. (2007). The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology*, 52, 81-106. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091427>.

INTAGRI. (s.f.). El cultivo de la frambuesa. Consultado en <https://www.intagri.com/articulos/frutillas/el-cultivo-de-la-frambuesa>

Grainge, M., & Ahmed, S. (1988). *Handbook of plants with pest control properties*. John Wiley & Sons.

Gress, B. E., & Zalom, F. G. (2019). Verification of spinosad resistance in a California *Drosophila suzukii* population. *Pest Management Science*, 75(5), 1275-1279. <https://doi.org/10.1002/ps.5242>

SENASICA. (2019). Mosca del vinagre de alas manchadas (*Drosophila suzukii*) *Matsumura* (Ficha Técnica No. 7). <https://prod.senasica.gob.mx/SIRVEF/ContenidoPublico/Fichas%20tecnicas/Ficha%20T%C3%A9cnica%20Mosca%20del%20vinagre%20de%20alas%20manchadas.pdf>.

Sial, A. A., Roubos, C. R., Gautier, N. W., Fanning, P. D., Van Timmeren, S., Spies, J., ... & Isaacs, R. (2019). Evaluation of organic management strategies for *Drosophila suzukii* in berry crops. *Journal of Economic Entomology*, 112(1), 216-226. <https://doi.org/10.1093/jee/toy340>

Van Timmeren, S., & Isaacs, R. (2013). Control of *Drosophila suzukii* in blueberries using insecticides. *Pest Management Science*, 69(3), 360-367.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Mosca del vinagre de las alas manchadas (*Drosophila suzukii*).

2.1.1 Origen

La mosca del vinagre de alas manchadas fue reportada por primera vez en Japón por Kanzawa en 1916, sin embargo, fue descrita por Matsumura hasta 1931. Se considera que esta especie es nativa del Sudeste de Asia (Berry, 2012; EPPO, 2016).

Matsumura en el año de 1931, nombra a *Drosophila suzukii*, la mosca de la cereza. Años más tarde, se publicaron diversos estudios reportando daños causados por la misma (Kanzawa 1935). Si bien los primeros registros de la especie a nivel mundial datan de Japón, existe la posibilidad de que no siempre estuviera presente en ese país, y que haya sido introducida a principios del siglo XX aunque posteriormente haya sido citado en otros países de Asia (Kanzawa 1935).

2.1.2 Clasificación Taxonómica de *Drosophila suzukii*

La mosca del vinagre de alas manchadas (*Drosophila suzukii* Matsumura). La ubicación taxonómica de *Drosophila suzukii* Matsumura de acuerdo con CABI, 2017 y SENASICA, 2019 es:

Reino: Animal

Phyllum: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Díptera

Familia: Drosophilidae

Género: *Drosophila*

Especie: *Drosophila suzukii*.

2.1.3 Ciclo biológico

El ciclo de vida de *Drosophila suzukii* dura de 50 a 55 días, dependiendo de las condiciones climáticas (temperatura y Humedad relativa elevadas) (Kanzawa, 1939). Los adultos comienzan a copular a los 2 a 3 días después de la emergencia, con mayor actividad durante los meses de abril a noviembre. Viven en promedio de 3 a 9 semanas (Dreves et al., 2009). Las hembras que emergen a finales de verano y otoño, inician la ovoposición al siguiente verano, cuando comienza la maduración del fruto, ovipositando en promedio de 1 a 3 huevos por fruto, y más de 300 durante su periodo de vida. Las pupas pueden desarrollarse dentro o fuera del fruto (Dreves et al., 2009). La plaga completa su ciclo en 7-9 días a 21°C, en 12-15 días a 18°C y en 79 días a 10°C. Se reporta que la máxima actividad de los adultos es a 20°C y dicha actividad se detiene por arriba de los 30°C y por debajo de los 0°C (Figura 1) (Probodelt, s.f.).

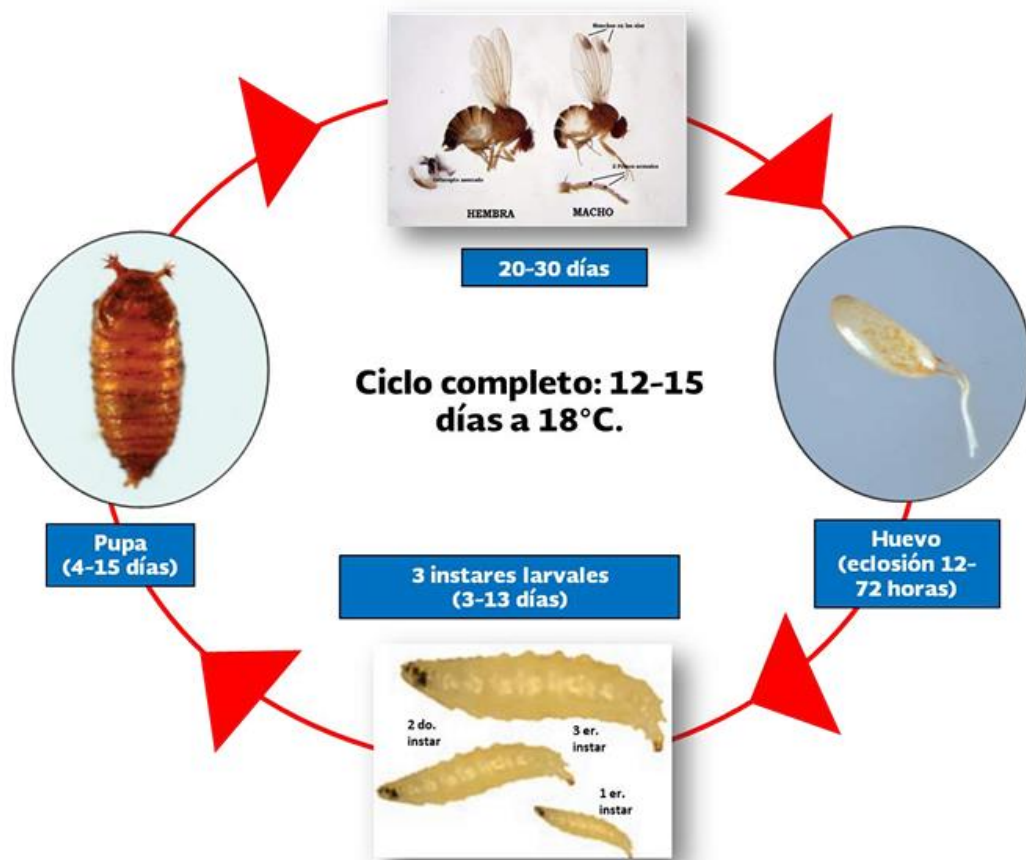


Figura 1. Ciclo biológico de *Drosophila suzukii* (Ministry of Agriculture the British Columbia, 2011; Huelva, s/a).

2.2 Distribución en México

El primer registro de esta plaga para México fue en el año 2011, en el Municipio de Los Reyes, Michoacán; posteriormente, se detectó en Colima, Estado de México, Guanajuato, Jalisco y Veracruz (DGSV, 2011). Las especies invasivas se dispersan rápidamente a través de una o varias regiones y la explicación más lógica para la expansión y colonización de nuevas áreas, se relaciona con el aumento del comercio global, la introducción se dio tanto de manera pasiva como activa, debido a las actividades humanas y a través de hospedantes infectados (Calabria et al., 2010).

Posteriormente, en 2012 se confirmó su presencia en Tijuana y Ensenada, Baja California; además de Ziracuaretiro, Michoacán y varios municipios de los estados de Aguascalientes, Guanajuato y Estado de México (SCOPE-SENASICA, 2015). Para 2014, se confirma su registro en el municipio de San Juan del Río, Querétaro; Ixtlán, Uruapan, Taretan, Tocumbo, Periban, Chavinda, Jacona, Zamora y Pajacuaran, en Michoacán (SCOPE-SENASICA, 2015).

2.3 Dispersión a nivel mundial

La mosca del vinagre de alas manchadas fue reportada por primera vez en Japón por Kanzawa en 1916, se encuentra ampliamente distribuida en Corea, donde se observó por primera vez en 1964 (Berry, 2012). En Hawái se encuentra desde 1980 y en India a partir de 1989. En Myanmar, Taiwán, Nepal y China se registró en 1991 (Berry, 2012).

En Rusia se detectó en 2003 (Baker et al., 2010), mientras que en Pakistán existen reportes de su presencia a partir del 2005. En Estados Unidos, el primer registro de *Drosophila suzukii*, fue en 2008 en California, posteriormente se detectó en Washington, Oregón y Florida en 2009; en 2010 fue reportada en el Norte y Sur de Carolina además de Luisiana, Utah, Michigan, Wisconsin y New Jersey. En 2011, se observó en Connecticut, Rhode Island, Bangladesh y México (Cowles, 2011; SCOPE-SENASICA, 2015).

Para 2012, en Estados Unidos de América la plaga se registró en Arkansas, Tennessee, y Kentucky, en junio de ese mismo año fue reportada en Delaware, Georgia, Maryland, Maine, Montana, New Hampshire, New York, Ohio, Pennsylvania, Virginia, Vermont, y el Oeste de Virginia (CAB International, 2017).

En Europa (España e Italia), su presencia fue confirmada en 2008 y en 2010 se detectó en Francia, Austria, Alemania, Bélgica, Croacia, Eslovenia, Irlanda, Reino Unido y Suiza (Berry, 2012), al igual que en Canadá (CAB International, 2017). En Países Bajos, Portugal, Hungría y Tailandia se detectó en 2012, y para 2014 había colonizado prácticamente este último país (Kiss et al., 2016; Dos Santos et al., 2017).

En 2013, se halló por primera vez en Sudamérica en el Sur de Brasil (Dos Santos et al., 2017), posteriormente su registro ocurrió en el mismo año, en Montevideo, Uruguay (EPPO, 2016), y en 2014, fue reportada por vez primera en Argentina infectando *Rubus sp.*, en la Provincia de Rio Negro (Cichón et al., 2015).

En Bosnia y Herzegovina, además de Rumania *Drosophila suzukii* fue detectada en 2013. Así mismo, estudios realizados en Serbia durante 2014, confirmaron que la mosca del vinagre fue encontrada en 5 distritos (Rasinski, Macvanski, Raski, Pcinjski y Zemun) en frutos maduros de mora, higo, uva, y frambuesa (EPPO, 2016). En este mismo año, se observó en Suecia, Polonia, Bulgaria y Grecia (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.) (EPPO, 2016; EPPO, 2015). A nivel mundial se reporta que este insecto provoca pérdidas del 26 al 100% en plantaciones de cereza, mientras que, en Estados Unidos, se registran daños del 80% en cereza, 40% en mora azul y del 70% en otras especies de moras (Sasaki y Sato, 1995; Bolda et al., 2010).

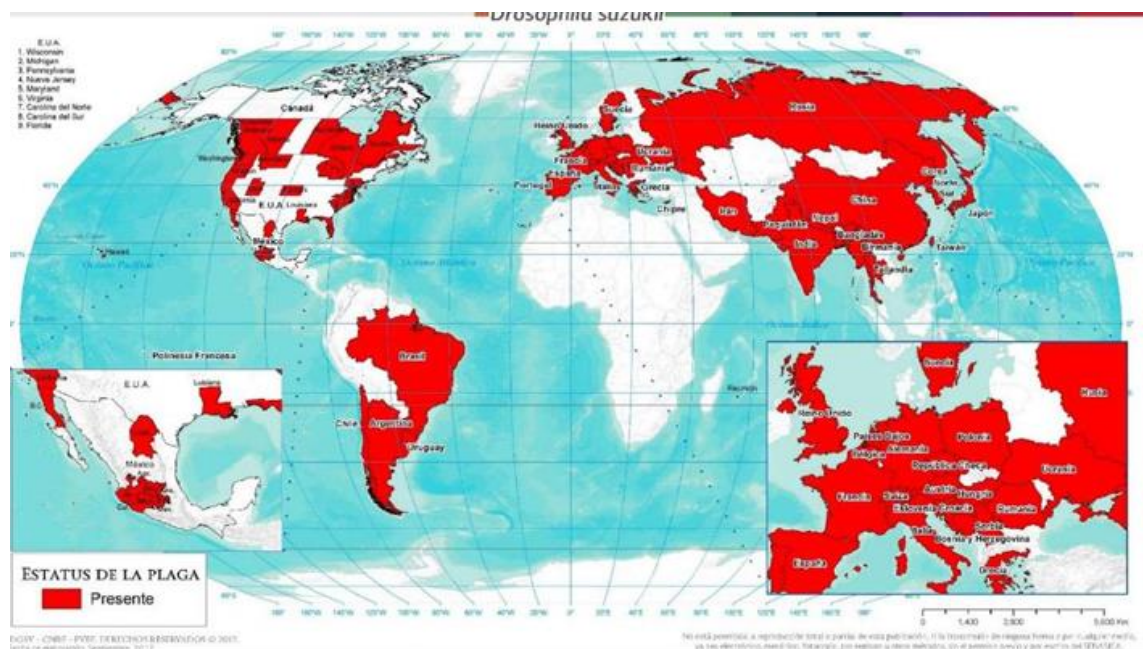


Figura 2. Distribución geográfica de *Drosophila suzukii*, a nivel mundial (CAB, 2018; EPPO, 2017b).

2.4 Importancia económica

Es considerada una plaga de importancia económica en cultivos como cereza, arándano, frambuesa, moras y fresa. Esta especie, desde hace algunos años es considerada una plaga invasiva en América del Norte y Europa, se demostró que presenta un alto potencial para establecerse en muchas áreas productoras de frutillas, lo que ocasionaría importantes pérdidas económicas (Berry, 2012).

Constituyen un grave problema fitosanitario para diversas especies de frutales, siendo las especies *Drosophila suzukii* y *Zaprionus indianus* Gupta las que representan un gran impacto para México (Lasa y Williams, 2019).

Además, resulta relevante mencionar que la restricción comercial, es una de las consecuencias económicas más importantes, repercutiendo así en la economía nacional, es por ello la importancia de encontrar alternativas para el control de la plaga que, actualmente se encuentra establecida y en distribución, para contar con las herramientas para su adecuado control y no se impacte a la economía de los agricultores (Funes, 2018).

Las moscas del género *Drosophila* son consumidoras de microorganismos detritívoros principalmente, por ende, no son consideradas plagas agrícolas, sin embargo, la mosca de las alas manchadas, *Drosophila suzukii* es una de las pocas excepciones en cuanto a sus hábitos alimenticios puesto que ataca frutos justamente en su etapa final de madurez, provocando cuantiosas pérdidas económicas en plantaciones de frutales tanto cultivados como nativos (Funes, 2018).

Controlar las poblaciones de este insecto nocivo es una tarea fundamental para mantener una buena producción de estos cultivos (Sasaki y Sato, 1995). Para ello, generalmente se usan insecticidas, pero en frutillas esto es una opción limitada, ya que los frutos deben estar libres de residuos de plaguicidas o tener un contenido igual o inferior al límite máximo de residuos de plaguicidas permitido para ser comercializados (Sasaki y Sato, 1995). Además, el uso indiscriminado de plaguicidas puede causar efectos adversos a la salud y al medio ambiente, por lo que el control etológico de plagas insectiles es una alternativa prometedora, ya sea para monitoreo o para el control de las poblaciones de esta mosca por medio del trampeo masivo. (Cruz, 2022). Serían afectadas principalmente las frutas de epidermis delgada, como arándano, cereza, frambuesa, fresa, uva, zarzamora, manzanas y tomates (Sasaki Sato, 1995).

2.5 Daños causados por la mosca de las alas manchas

Drosophila suzukii, oviposita en frutos saludables y no en frutos dañados o sobre maduros (Sasaki & Sato, 1995, 1996), las moscas seleccionan frutos maduros que aún no han caído al suelo para ovipositar. Las características que la hacen particularmente una plaga peligrosa es que prefiere frutos maduros y su ovipositor aserrado causa daños físicos a los frutos hospederos al momento de introducir los huevecillos al fruto (Douglas et al., 2011).

Una hembra grávida de *Drosophila suzukii* tiene la capacidad de perforar los frutos sanos para ovipositar en su interior, cuando la larva emerge se alimenta de esta, ocasionando la pérdida total del fruto (Bolda et al., 2010).

Entre sus hospedantes principales se encuentran frutos de epicarpio y pulpa suave como cereza, frambuesa, zarzamora, arándano y fresa. Los daños originados por esta plaga son ocasionados por las hembras adultas, las cuales, durante la oviposición, rasgan el epicarpio o exocarpio del fruto, dejando una pequeña cavidad en la superficie de este (SAGARPA- SENASICA, 2017a). Posteriormente, las larvas al alimentarse del mesocarpio originan los daños principales, que se caracterizan por la presencia de zonas hundidas de color café en los frutos, lo que favorece la entrada de otras plagas y enfermedades, que afectan la calidad de la fruta para su comercialización (SAGARPA- SENASICA, 2017a).

Los daños ocasionados por la mosca son principalmente por la alimentación de las larvas, observándose frutos que presentan zonas suaves y colapsadas de color café, y dan oportunidad a que otras plagas saprófitas, como diferentes especies de moscas del vinagre, hongos y bacterias provoquen pudriciones, afectando la calidad y comercialización de la fruta (Walsh et al., 2011; Calabria et al., 2010).

2.6 Medidas Fitosanitarias de control en México

Debido al daño causado por esta plaga, representa una amenaza económica para algunas zonas de México, se realizan actividades de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria, a través de rutas de trampeo, las cuales son establecidas estratégicamente de acuerdo a la distribución y superficie sembrada de hospedantes principales y secundarios, etapas fenológicas inductivas de cultivos hospedantes, condiciones climáticas favorables, biología del insecto y sitios de riesgo de introducción (puertos, aeropuertos y fronteras) (SAGARPA- SENASICA, 2017a).

De acuerdo con lo establecido en la Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias (NIMF) No. 8, la cual, se centra en la determinación de la situación de una plaga en un área (IPPC, 2016a), la mosca del vinagre de alas manchadas (*Drosophila suzukii*) es una plaga presente en algunas áreas sembradas con

cultivos hospedantes, en este sentido y de acuerdo con lo enmarcado en la NIMF No. 5, Glosario de términos fitosanitarios, cumple con la definición de plaga cuarentenaria (IPPC, 2016b).

Drosophila suzukii, es una plaga que está presente sólo en algunas áreas de México, es decir, se encuentra bajo control oficial, de acuerdo con la Norma Internacional en Medidas Fitosanitarias No. 8 (CIPF, 2006). Además, está considerada en el “Acuerdo por el que se establecen las medidas fitosanitarias para el control y mitigación de la dispersión de la mosca del vinagre de las alas manchadas” (DOF, 2015).

Por lo anterior y de acuerdo con lo establecido en la NIMF No. 6, Directrices para la Vigilancia, desde 2011 se realizan actividades de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria, con el objetivo de detectar y evitar su dispersión hacia zonas libres en el país (SCOPE-SENASICA, 2015). De esta manera, durante el periodo 2011-2015 se exploraron de manera acumulada en el país 94,442 hectáreas y se instalaron 3,203 trampas, las cuales se revisaron 81,740 ocasiones, además de la revisión periódica de 27 parcelas centinela en áreas comerciales y zonas identificadas como de mayor riesgo (SCOPE-SENASICA, 2015).

2.7 Cultivo de Frambuesa *Rubus idaeus* L.

2.7.1 Origen

La frambuesa roja (*Rubus idaeus* L.) es una especie originaria de las regiones templadas del norte de Europa y Asia, donde crecía de manera silvestre antes de su domesticación (Trujano-Fragoso et al., 2017). Su expansión comercial permitió el establecimiento del cultivo en América, incluyendo México, donde las primeras introducciones de cultivares mejorados se realizaron en la década de 1970 (Trujano-Fragoso et al., 2017).

El género *Rubus* considera tres subgéneros como los más importantes, de acuerdo al número y relevancia de las especies agrupadas, siendo estos: *Rubus* (antes *Eubatus*), *Idaeobatus* y *Malachobatus* (Mora, 2011). Dentro de los

subgéneros *Idaeobatus* y *Eubatus* están incluidas las frambuesas, moras, frutas árticas y frambuesas con flores, consideradas de gran importancia económica (Graham et al., 2009).

De acuerdo con los estudios realizados, se mencionan dos centros de origen para la frambuesa (*Rubus idaeus*), el primero de ellos es en el este de Asia de donde proviene el subgénero *Idaeobatus* que tiene 195 especies reconocidas, dentro de las cuales están las: frambuesas europeas (*R. idaeus* L. var. *vulgatus*), las frambuesas americanas *R. occidentalis* L. y *R. idaeus* L. var. *strigosus* (frambuesa roja) y otras. El segundo centro de origen considerado es en Norteamérica, del cual es originaria la frambuesa roja (*R. idaeus* L. var. *strigosus*) que no tiene subespecies identificadas debido a que presenta amplia variabilidad (Robles, 2009).

2.7.2 Clasificación taxonómica

De acuerdo al Sistema Nacional de Información de Biodiversidad 2014 y USDA NRCS 2014. La clasificación taxonómica de la frambuesa roja (*Rubus idaeus* L.) es la siguiente:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Rosidae

Orden: Rosales

Familia: Rosaceae

Género: *Rubus*

Especie: *Rubus idaeus* L.

Este género fue identificado por primera vez por Carlos Von Linneo en el año 1753, en su publicación de *Species Plantarum*, adoptado por el Código

Internacional de Nomenclatura Botánica como el comienzo formal de la clasificación científica de plantas (Mora, 2011).

Esta especie crece espontáneamente en el antiguo continente y la leyenda dice que es originaria del monte Ida (Isla de Creta en Grecia) y del que Linneo adoptó su nombre específico (*idaeus*), encontrándose también en estado silvestre en el Asia menor (Robles, 2009).

Se cree que *el Rubus* se originó en el suroeste de China (Gu et al, 1993). Plinio el Viejo (año 45 d.C.) escribió sobre la gente de Troya que recogía "frutos de ida" (frambuesas rojas) al pie del monte Ida, en lo que hoy es Turquía (Hummer, 1996). Aunque existen especies nativas de la mayoría de las regiones templadas, también se encuentran desde los subtrópicos hasta las regiones árticas y pueden crecer desde el nivel del mar hasta los 4500 m (Hummer, 1996).

2.7.3 Características Morfológicas

La frambuesa (*Rubus idaeus* L.) es una planta silvestre nacida de un sistema radicular perenne, de porte arbustivo, de brotes leñosos y de corta duración que crece en regiones templadas y frías; sin embargo, existen cultivares que requieren bajos requerimientos de frío; en México, por ejemplo, muchas áreas agrícolas se han adaptado a estos requerimientos, y debido a ello el país se ha consolidado como el segundo mayor productor de frambuesa en el mundo (SIAP, 2020). La reproducción por semilla se utiliza para la obtención de nuevas variedades, pero el sistema más funcional es el estaquillado de raíz con el que se consigue un buen porcentaje de plantas con calidad (SIAP, 2020).

La frambuesa es una especie de la familia Rosaceae, es parecida a la zarzamora (*Rubus spp*), pero una forma de diferenciarlas es en los frutos, ya que en frambuesa las drupelas que conforman el fruto se desprenden del receptáculo, mientras que en zarzamora se mantienen adheridas al mismo (Argüello, 1983). Los cultivares de frambuesa se clasifican por su hábito de crecimiento en productoras de otoño y en productoras de verano; las productoras de otoño

(Heritage, Citadel, Autumn Bliss, Summit, Amity, Autumn Bitten, etc,) son aquellas que producen en el año de plantación en la parte terminal del brote, éstos se despuntan (en invierno) en la parte que produjeron y las yemas basales restantes emitirán floración en la primavera-verano del siguiente año, finalmente estos brotes mueren y deben eliminarse al ras del suelo en el invierno (Rodríguez y Avitia, 1984). La frambuesa se clasifica como planta semi rastrera, por lo tanto, requiere de soporte para encausar las guías y que el fruto no se exponga al contacto con el suelo (Argüello, 1983).

La frambuesa *Rubus idaeus L.* es un arbusto perenne caracterizado por poseer un sistema radicular que se extiende a poca profundidad (en los primeros 30 cm), con un desarrollo horizontal con abundantes ramificaciones, caracterizándose por sus raíces primarias y secundarias leñosas; de estas raíces, brotan cada año gran número de nuevos tallos que sustituirán a los que están en producción y secarán a lo largo del verano (Carrera, 1974).

Los tallos son erectos cubiertos de pequeñas espinas, fuertes y abundantes según las variedades y pueden alcanzar 2.5 m de altura de acuerdo con el clima y suelo (Carrera, 1974). El periodo vegetativo de los tallos es bianual; durante el primer año crecen y se desarrollan los brotes denominando a esta etapa de crecimiento como vástagos del año, mientras que en el segundo los tallos o cañas se lignifican, florecen y fructifican denominándose floricone, luego las cañas mueren en verano después de la maduración de las frutas; algunas variedades, llamadas reflorecientes o remontantes, desarrollan el primer año los brotes fructíferos en la parte terminal de los tallos, produciendo una primera cosecha (según la variedad); las yemas no desarrolladas lo hacen en la primavera siguiente, dando lugar a la segunda cosecha, tras lo cual se secan y mueren (Carrera, 1974).

Las flores se encuentran en un cimo terminal sencillo; son pequeñas de color blanco verdosas, con un pedúnculo bastante largo y espinoso, el cáliz con cinco sépalos largos y persistentes; cinco pétalos caducos, estambres y pistilos numerosos, agregados en un receptáculo convexo, cada pistilo tiene un ovario

con una celda que encierra un óvulo, del cual se desarrolla una pequeña drupa que a su vez tiene un núcleo (Robles, 2009).

El fruto del frambueso es una polidrupa formado por muchas drupelas convexas, deprimidas, rugosas, aproximadas en piña y se dejan observar fácilmente, el color más común es el rojo amarillento o rosa salmón, pero existen variedades de frutos que son de color blanco y hasta negro; asimismo, cada drupa tiene adherido un pelo de color amarillo oro (Robles, 2009).

2.8 Propiedades nutraceuticas

Antes de la domesticación, el uso principal del *Rubus*, especialmente la mora, era medicinal y eran recolectados por comunidades indígenas, existen diversos registros de que la raíz, las hojas, el tallo y los frutos se usaron para tratar diversas dolencias por estas comunidades (Verma et al, 2014). Más recientemente, se ha comprobado que los *frutos de Rubus* son muy ricos en metabolitos secundarios, como antocianinas y fenólicos, que proporcionan capacidad antioxidante, lo que respalda su reputación como "superalimentos" (Siriwoharn et al, 2004).

El consumo de frutas y vegetales reduce el riesgo de desarrollar enfermedades crónico-degenerativas, por su alto contenido de sustancias bioactivas (Lee et al., 2012). Las "berries" frescas y procesadas son una excelente fuente de sustancias nutraceuticas con un alto potencial antioxidante (Lee et al., 2012; Šavikin et al., 2009). Diversas investigaciones han reportado las propiedades benéficas de las "berries" sobre la salud humana; por ejemplo, permiten inhibir afectaciones hepáticas (Liu et al., 2010), tienen alta actividad antioxidante, antiinflamatoria, antimicrobiana (Heinonen, 2007), neuroprotectora (Chen et al., 2012), 27 antiangiogénica (Medda et al., 2015) y anticancerígena (Konić-Ristić et al., 2011).

Por la alta actividad biológica que tienen los polifenoles en la salud, es importante determinar su contenido en los frutos (Bowen-Forbes et al., 2010). Un polifenol de gran interés es el ácido elágico, principalmente por su actividad preventiva y

supresora de algunos tipos de cáncer; las "berries" tienen alto contenido de este compuesto (Bobinaité et al., 2012). De ellas, la frambuesa (*Rubus idaeus* L.) ha sido empleada durante mucho tiempo en el tratamiento no farmacológico de algunas enfermedades crónicas (Aiyer et al., 2008). En ensayos biológicos con ratas reportaron que la frambuesa roja y el ácido elágico, reducen el daño oxidativo endógeno del ADN, lo que ayuda en la prevención de cáncer (Aiyer et al., 2008).

El valor nutracéutico de frambuesa ha motivado un aumento en el consumo y la producción de esta fruta a nivel mundial, es por ello que en los últimos años México ha incrementado la producción de frambuesa tras la demanda de este producto por países como Estados Unidos de América y algunos de Europa, durante el periodo del 2000 a 2014 se incrementó en 11 veces el número de hectáreas establecidas con este cultivo (SIAP, 2016).

2.9 Mejoramiento genético de *Rubus idaeus* en México

En México los primeros cultivares mejorados se hicieron en 1974 en la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, donde posteriormente el Colegio de Postgraduados evaluó algunos materiales como Malling Exploit, Citadel y Heritage (Rodríguez y Avitia, 1984). De ahí se extendió a otros estados como Puebla, Hidalgo, Michoacán, Jalisco y Guanajuato; sin embargo, se ha extendido poco a la zona norte del país, como es el caso del estado de Chihuahua (SAGARPA, 2004).

Las frambuesas rojas son las que más se cultivan en forma comercial y junto con las negras han dado origen a los principales cultivares, los que pueden ser remontantes o no remontantes (CIREN, 1988).

En el mundo existen 800 especies silvestres de *Rubus*, al que pertenecen las zarzamoras y frambuesas, de las cuales, en México existen 61 especies que pueden ser aprovechadas para investigaciones que den insumos a los productores nacionales en todo el país; entre 1992 y 2014 los productores

mexicanos importaban muchas variedades comerciales de zarzamora, pero a partir de 2016 comenzaron a generar en México variedades adaptadas que representan un crecimiento económico en este sector (Rodríguez, 2023).

Aunque México es un productor importante y está realizando trabajos de mejoramiento genético en la producción y calidad de la frambuesa, la caracterización de estos cultivares en el contenido e identificación de polifenoles es aún incipiente; sin embargo, se sabe que los factores genéticos y ambientales son importantes por su influencia en estas características (Anttonen et al, 2005; Bobinaité et al., 2012).

2.9.1 Material vegetal Cultivar Malu

El cultivar Malú presenta baja susceptibilidad a enfermedades como *Cladosporium* y a la roya (*Pucciniastrum americanum*); sin embargo, muestra ligera susceptibilidad al ataque de la araña de dos puntos (*Tetranychus urticae*), sus frutos se caracterizan por presentar polidrupas con dimensiones aproximadas de 32 × 38 mm (largo × ancho), contenidos de sólidos solubles entre 8 y 11 °brix y tienen excelente firmeza sin presentar desgrane en la cosecha de los frutos, las características generales del cultivar se especifican en la Cuadro 1 (Rodríguez & Flores, 2025).

Cuadro 1. Características morfológicas del Cultivar Malu (Rodríguez & Flores, 2025).

Características	Malu
Altura de la planta (cm)	95 – 160
Número de laterales	10 – 15
Número de polidrupas	120 – 130
Posición de la hoja	Plano
Número de hijuelos (metro lineal)	40 – 50
Días de formación de laterales a floración	26 – 28

Características	Malu
Días de polinización efectiva	3 – 4
Días de llenado de fruto	25 – 27
Días de llenado a madurez fisiológica	3
Horas de madurez fisiológica a madurez comercial	24 – 26
Desgrane en madurez fisiológica	Sin desgrane
Peso promedio de polidrupas (g)	9 – 12
Grados Brix	8 – 11
Formación de la polidrupa	Cónico, alargado
Color	Rojo claro
Brillo	Opaco
Tamaño L × A (mm)	32 × 38
Polidrupas por clamshell	20 – 22

El periodo productivo de esta variedad oscila entre siete y ocho semanas, dependiendo del manejo agronómico del cultivo, de acuerdo con el desarrollo fenológico de la planta, el periodo óptimo de trasplante para el cultivar Malú comprende de mediados de mayo a finales de junio dando un periodo de trasplante de 45 días (Rodríguez & Flores, 2025).

2.10 Condiciones edafoclimáticas

Debido a que su origen es de regiones templadas del Norte de Asia y de Europa Oriental, las condiciones climáticas óptimas para su cultivo son las de inviernos con bajas temperaturas constantes, pero no excesivas, veranos relativamente frescos, caracterizados por una cierta oscilación térmica entre el día y la noche (INIA, 2017). El buen desarrollo fisiológico y productivo de este cultivo, se encuentra en zonas con rango de temperatura entre los 14° C y 19° C, aunque

también produce en zonas con mayores y menores temperaturas que las indicadas, pero los rendimientos son menores y la fruta es de menor calidad organoléptica (INIA, 2017).

El efecto de la temperatura es determinante para el buen desarrollo del frambueso, ya que si existen descensos bruscos de temperatura se pueden presentar daños en las zonas apicales de los brotes más vigorosos del primer año, que corresponde a material vegetal no lignificado, durante el período floral el frambueso es sensible a las bajas temperaturas, pudiendo tolerar en estado fenológico de botón cerrado $-1,3^{\circ}\text{C}$, en flor abierta $-0,7^{\circ}\text{C}$ y en fruto recién formado $-0,7^{\circ}\text{C}$ (INIA, 2017).

Los requerimientos de frío invernal oscilan entre 700 a 1700 horas de frío ($< 7,2^{\circ}\text{C}$), aunque algunas variedades desarrollan bajo condiciones de inviernos más benignos (Rodríguez y Avitia, 1984; Jennings, 1988).

En cuanto a los requerimientos de agua, necesita al menos de 700 a 900 mm anuales de aporte hídrico, las precipitaciones influyen en el período invernal con alta presencia de lluvias no se perjudica el cultivo, siempre que no se produzcan encharcamientos, en cambio, si se producen lluvias durante la etapa de madurez de los frutos, estos se ablandan, lo cual acelera su deterioro y se enmohecen con facilidad (Paglieta, 1986).

Se adapta a variados tipos de suelo, obteniéndose los mejores resultados en suelos profundos y bien drenados de pH 6 a 7.8, sin embargo, en la región se cultiva en suelos con pH ácido de 5.5 con excelentes resultados, tomando en cuenta al sistema radicular de la frambuesa (desarrollo superficial y lateral) pueden utilizarse suelos con una profundidad mínima de 70 cm., aunque podría requerir de un especial régimen de riego (CIREN, 1988). Con relación a la textura, la frambuesa se adapta a una amplia gama, desde arenosos a arcillosos, siendo el óptimo franco a franco arenoso, los suelos muy arenosos son aptos para el desarrollo de hijuelos, por lo que se les prefiere para viveros y los suelos muy arcillosos deberían evitarse por sus problemas de drenaje, asociados

especialmente en áreas lluviosas; además, tienden a agrietarse en profundidad por lo que destruyen las raíces de los frambuesos (CIREN, 1988).

2.11 Propagación del cultivo

Es una planta que se reproduce por medio de la generación de nuevos brotes a partir de las yemas, las raíces y los estolones, su propagación se da a través de hijuelos con raíces o por división de mata, esto es arrancando brotes del año con raíces y tras plantándolos directamente al terreno definitivo (SADER, 2017).

La frambuesa se puede propagar de diferentes formas (hijuelos, brotes y raíces): la propagación por hijuelos y brotes radiculares etiolados debe ser realizada por viveros especializados, al adquirirse una planta deben observarse ciertas exigencias tales como: Identificación varietal, hijuelos vigorosos (tallo erecto y firme, de diámetro inferior a 1 cm., raíces sanas y bien desarrolladas) y plántulas con hojas verdes y firmes (CIREN, 1988). La multiplicación por raíces se realiza en casos especiales, por ejemplo, replantes, y su uso masivo no es recomendable (CIREN, 1988).

La planta de frambuesa tiene una gran tendencia a emitir varios brotes vigorosos que ocasionan dificultades en la cosecha debido a la abundancia de tallos que cubren la línea de plantación, este exceso de brotes puede generar competencias de nutrientes en el proceso de floración y, por lo tanto, una reducción en el tamaño del fruto (González, 2009).

La propagación de frambuesa, se realiza mediante diferentes sistemas, tales como: 1) sistema por hijuelos enraizados inician su desarrollo a comienzos de primavera, y son trasplantados directamente en un sustrato arenoso, rico en materia orgánica y previamente desinfectado. 2) sistema por estacas de raíz que permite obtener plantas enraizadas o brotes etiolados, el cual consiste en sembrar esquejes de raíces de 10 – 15 cm de largo y de 5 mm de diámetro previamente esterilizadas con cloro comercial (5%), en camas a fines de invierno (Robles, 2009). Los brotes con 3 – 4 hojas obtenidos a los 15 – 20 días son

transferidos en bolsas con la misma mezcla para el enraizamiento y almacenados en condiciones de oscuridad para estimular la formación de raíces adventicias y obtener brotes etiolados. 3) sistema por cultivo in vitro permite obtener clonalmente plantas libres de patógenos (principalmente virus) con características agronómicas deseadas, técnica que consiste en aislar los meristemos, sembrarlos en un medio de cultivo estéril, incubar en condiciones controladas y propagar en cualquier época del año para cubrir la demanda de los agricultores (Robles, 2009).

2.12 Enfermedades del cultivo

La enfermedad más problemática que se ha observado en la zona es la roya (*Pucciniastrum americanum*), que ataca hojas y frutos, y los hongos de suelo como *Phytophthora*, *Fusarium*, *Verticillium*, *Rhizoctonia* y *Sclerotinia*., también se han observado síntomas del tizón de la caña (*Didymella applanata*) (Sordo, 2014).

2.12.1 Agalla del cuello (*Agrobacterium tumefaciens*):

Agrobacterium tumefaciens es una bacteria fitopatógena del suelo capaz de inducir tumores en raíces y cuello de numerosas especies vegetales mediante la transferencia de ADN a las células hospedantes (Agrios, 2005).

Es la enfermedad más común en el frambueso y la única producida por bacterias el agente causal se denomina *Agrobacterium tumefaciens*, y es un habitante común del suelo y de aguas de riego superficiales (Agrios, 2005). Ingresa a la planta a través de heridas en las raíces, causadas por labores culturales o daño de insectos, una vez en contacto con las células radiculares, la bacteria le traspasa parte de su material genético a estas células, modificando a la célula huésped, de manera que esta produce hormonas y proteínas (opines) en forma descontrolada, estas hormonas estimulan el crecimiento y división celular, formándose la agalla mientras que los opines sirven de alimento a las bacterias,

la transformación de la célula huésped es irreversible y la bacteria no es necesaria para mantener la agalla formada (INIA, 2017).

Síntomas: no existen síntomas aéreos específicos que indiquen la presencia de Agallas en las raíces, las plantas enfermas pueden mostrar clorosis, menor crecimiento y producción, síntomas que pueden ser causados por diversos agentes, sin embargo, en las raíces se producen agallas o tumores (INIA, 2017).

Las plantas infectadas pueden presentar reducción en el crecimiento, clorosis y disminución en la producción; sin embargo, estos síntomas suelen confundirse con otros problemas fisiológicos o fitosanitarios, el signo característico es la formación de agallas o tumores irregulares en raíces y cuello de la planta, los cuales inicialmente son blandos y claros, pero posteriormente se lignifican y oscurecen (Agrios, 2005).

2.12.2 Pudrición gris (*Botrytis cinerea*):

Es la principal enfermedad de la fruta, aunque también puede atacar a las flores, hojas y tallos al ser un hongo que inverna como esclerocios, estructuras compactas y de color negro, en restos de micelio y esporas en residuos infectados de frambuesa u otras especies, dado que puede afectar a numerosos huéspedes, de modo que la salida del invierno el hongo produce numerosas conidias que son diseminadas por las gotas de lluvia y el viento, la primera inoculación ocurre en los estigmas de las flores abiertas, donde las conidias germinan y las hifas crecen dentro de los estilos hasta alcanzar los ovarios, si las condiciones son propicias la flor se atizona y muere, también puede permanecer en restos florales hasta que el contenido de azúcar en el fruto aumenta y reanuda su crecimiento, por otro lado el hongo pudre frutos a medida que maduran y a los tallos de la temporada, al final el micelio del hongo se agrega en los esclerocios, las cuales resisten el invierno (INIA, 2017).

El hongo sobrevive en residuos vegetales mediante estructuras de resistencia conocidas como esclerocios y produce abundantes conidias que son dispersadas

por viento y lluvia, la infección ocurre principalmente en flores y frutos bajo condiciones de alta humedad relativa y temperaturas moderadas, favoreciendo el desarrollo de pudriciones durante la maduración y postcosecha (Williamson et al., 2007).

Síntomas: son la pudrición gris del fruto, acompañada de ablandamiento y secreción de jugo, esta pudrición blanda va acompañada de ligeros cambios de color en los drupeolos infectados, los que se tornan de color rojo opaco y que terminan por cubrirse con una masa de micelio y conidias de color gris oscuro (INIA, 2017).

2.12.3 Roya (*Pucciniastrum americanum*):

la roya tardía causada por *Pucciniastrum americanum* representa una de las principales enfermedades foliares en frambuesa, debido a que afecta hojas y frutos reduciendo su calidad comercial y rendimiento (Marín Cortez et al., 2019; Prado et al., 2024).

Enfermedad que aparece con las altas temperaturas, causando su mayor daño en la fruta de variedades remontantes, donde afecta a su apariencia y posibilidades de exportación (INIA, 2017). El hongo inverna como esporas o restos de micelio en tejidos infectados, como consecuencia los primeros síntomas aparecen en pleno verano y el desarrollo de la enfermedad puede ser muy rápido en las variedades susceptibles, debido a la gran cantidad de esporas producidas en los tejidos enfermos, las hojas maduras y basales son las primeras en mostrar numerosas pústulas pequeñas, de color amarillo y que se encuentran llenas de esporas (INIA, 2017).

En un comienzo, las pústulas se ubican en el envés para luego cubrir toda la hoja, el mayor daño económico se produce cuando las pústulas aparecen en los frutos inmaduros, donde se observan drupeolos maduros mientras el resto del fruto permanece aún verde; mientras que en los frutos maduros se observan pústulas

desde amarillas a anaranjadas sobre los drupeolos, acompañadas de deshidratación (INIA, 2017).

2.13 Plagas del cultivo de frambuesa

Las plagas más comunes de la frambuesa son las arañuelas (*Tetranychus urticae* Koch), los trips (*Frankliniella* sp.), el siete de oro (*Astylus atromaculatus*), y los nematodos del género *Xiphinema*, que transmite el virus *Tomato ringspot* (Sordo, 2014).

Uno de los mayores desafíos en el cultivo de la frambuesa es el manejo integrado plagas (MIP), un concepto simple en teoría, pero complejo en ejecución, ya que abarca elementos como: prevención, monitoreo, nutrición adecuada del cultivo, prácticas culturales (rotación de cultivos, cultivos trampa, eliminación de malezas hospederas, etc.), control biológico y control químico (INTAGRI, 2025).

Actualmente gran número de plagas atacan distintas partes de la planta y disminuyen la cantidad y calidad de frutos (INTAGRI, 2025). Entre las que más afectan a la frambuesa son: la araña roja o de dos puntos (*Tetranychus urticae*), la mosca del vinagre (*Drosophila suzukii*), trips (*Frankliniella occidentalis*, *Thrips tabaci*), cabritos (*Aegorhinus* spp), mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*, *Bemisia tabaci*), entre otras, se deben implementar alternativas de control biológico mediante el uso de depredadores naturales, parasitoides y hongos entomopatógenos tienen resultados prometedores para el control de plagas en diferentes cultivos comerciales (INTAGRI, 2025).

2.13.1 Ácaros:

Entre todos los artrópodos, los ácaros son de suma relevancia, los tetraníquidos son importantes plagas primarias del cultivo (Marie et al., 2018) y los fitoseidos son enemigos naturales de ácaros e insectos fitófagos (Amin et al., 2009).

En el mundo se han reportado en la parte aérea de frambuesa 16 especies de *Phytoseiidae*, 15 especies de *Tetranychidae*, dos de *Tenuipalpidae*, seis de *Eriophyidae* y una especie de la familia *Stigmaidae*, que suman un total de 40 especies, sin embargo, en México solo se tiene registrada la presencia de *Tetranychus urticae* en Chihuahua (Parra et al., 2002).

2.14 Extractos vegetales

2.14.1 Potencial biológico

Actualmente existe evidencia de que el uso irracional de plaguicidas para controlar las plagas puede generar serios problemas relacionados con el medio ambiente o la salud de las personas; por esta razón, instituciones realizan trabajos de investigación para encontrar métodos alternativos para el control de plagas (Grainge y Ahmed, 1998).

Los pesticidas sintetizados químicamente se han utilizado con mucho éxito para el control de las enfermedades en plantas; sin embargo, en años recientes la excesiva contaminación debido al uso irracional de estos compuestos ha traído como consecuencia serios problemas ambientales y sociales (Wijesinghe et al., 2011); a pesar de esto, el uso de plaguicidas, el control de plagas y enfermedades son necesarios para mantener la producción de alimentos considerando que la población en el mundo se incrementa a una tasa media de 1.1% cada año (Wang y Liu, 2007), este crecimiento demanda un aumento en la producción de los cultivos; sin embargo, la superficie de suelo destinada a estos es cada vez más limitada (Wijesinghe et al., 2011).

Una de las alternativas que se han estudiado con resultados prometedores, se basa en el hecho que las plantas elaboran metabolitos secundarios, con la finalidad de disminuir el ataque de parásitos y depredadores naturales, estos compuestos se caracterizan por ser inocuos para el humano (Hopkins, 1999).

Otras especies vegetales producen metabolitos secundarios los cuales juegan un papel importante en la introducción de los mecanismos de defensa del hospedero contra fitopatógenos (Mihaliak et al., 1991).

2.14.2 Uso de extractos vegetales en frambuesa

Dentro de las especies de la familia Papaveraceae y del género *Argemone* se encuentra *Argemone pleiacantha*, conocida como “chicalote”; es una especie nativa de América del Norte, ampliamente distribuida desde el sur de EUA hasta el centro de México, las plantas de *Argemone* crecen en terrenos de cultivo abandonados. (Martínez, 1996). El género *Argemone* pertenece a la familia Papaveracea y comprende hierbas anuales y perennes, caulescentes, glaucos, con raíces de tipo transitorias o persistentes. Consiste en 30 especies; todas con tallos, hojas y cápsulas espinosas (Schwarzbach & Kadereit, 1999). Esta especie en México se ha registrado en Aguascalientes, Chiapas, Coahuila, Durango, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas y otros estados de la República Mexicana (Villaseñor y Espinosa, 1998).

Los aceites esenciales y extractos vegetales se han utilizado como repelentes o revestimientos de frutos para evitar la puesta en el control de plagas de dípteros, habiéndose demostrado que los aceites esenciales de menta y tomillo tienen un claro efecto repelente (y tóxico en el caso del tomillo) para los adultos de *Drosophila suzukii* (Molina & Pérez, 2018). Asimismo, en laboratorio, el extracto de *Sophora flavescens* (Ku Shen), formulaciones comerciales de *Beauveria bassiana* (Balsamo) *Villeumin* y la cera de carnauba alteran el comportamiento de puesta de las hembras causando además una reducción significativa en la viabilidad de la puesta, lo cual coincide con los ensayos de campo, se han obtenido reducciones en la infestación de frutos de frambuesa de entre el 50 y el 60 % con tratamientos de extracto de *S. flavescens* y ajo (*Allium sativum* L.) (Molina & Pérez, 2018). Por otra parte, el azufre se ha utilizado tradicionalmente como fungicida, por lo tanto en los últimos años ha crecido el interés por sus propiedades insecticidas siendo utilizado en diversos cultivos, debido a que la

puesta y emergencia de adultos de *Drosophila suzukii* se redujeron significativamente (98% y 96% respectivamente) en frutos de arándanos tratados con azufre micronizado, herramienta que, según la ampliación de este estudio ha mostrado que el azufre micronizado retrasa la detección del fruto por parte de la hembra, y dificulta la oviposición, en otras formulaciones con azufre, como el polisulfuro de calcio, han mostrado un efecto similar, en ceras comestibles y caolín, probados en laboratorio con arándanos y frambuesas, también disminuyen la puesta, el desarrollo larvario y la emergencia de los adultos, con la utilización de estas materias pueden dar una solución alternativa, compatible con un manejo sostenible y ecológico de la plaga, y evitando los problemas asociados al uso de insecticidas de síntesis, aunque la compatibilidad de bioinsecticidas y enemigos naturales aún no ha sido estudiada en profundidad. (Molina & Pérez, 2018).

2.14.3 Uso de químicos para el control de *Drosophila suzukii* en frambuesa

Una vez que la plaga se propagó por el mundo, los numerosos daños cuantificados en la agricultura obligaron a países como EUA y Europa a realizar estudios sobre la efectividad de diversos insecticidas comerciales aceptados tanto en la normatividad de producción integrada, como en la producción orgánica, en dichos estudios han dado a conocer que los productos efectivos en el control de *Drosophila suzukii* en la producción integrada son limitados, mientras que en la producción orgánica son aún más pocos, por lo general, los productos con mayor eficacia sobre el insecto adulto son aquellos de amplio espectro, como algunos piretroides y organofosforados (Beers et al., 2011; Haviland y Beers, 2012; Cuthbertson et al., 2014).

En un estudio de laboratorio efectuado para evaluar la eficacia de diecisiete materias activas en el control de adultos de *Drosophila suzukii*, se demuestra que ocho de ellos piretroides (bifentrin, beta-ciflutrin, permetrina y zetacipermetrina), los organofosforados (malatión y diazinón) y las spinosinas (spinosad y spinetoram) presentaron una mortalidad del 100 %, mientras que el resto de los

productos presentaron una efectividad variable, aunque todos con una diferencia significativa con relación al testigo (Bruck et al., 2011).

En dicho estudio, los autores indican diferencias significativas en la mortandad entre machos y hembras, siendo significativamente superior en los machos, especialmente en los tratamientos con aceite de soja y piretrinas; en pruebas de control en campo, la materia activa alfa-cipermetrina generó una mortalidad de adultos de *Drosophila suzukii* del 100% hasta 14 días después de la aplicación, mientras que el Malatión presentó casi el mismo control, pero hasta un máximo de 10 días y más del 80% de control a los 14 días, lo que fue significativamente mayor que los otros tratamientos analizados (spinetoram, spinosad y acetamiprid) (Bruck et al., 2011). Los productos cuyo ingrediente activo fue spinosina (spinosad y spinetoram) proporcionaron un control del 88 % hasta 3 días después del tratamiento, sin embargo, el nivel de control disminuyó rápidamente hasta los 14 días posteriores al tratamiento, por lo tanto el acetamiprid, fue significativamente diferente del control no tratado únicamente el día 3 posterior al tratamiento (Bruck et al., 2011).

El control de la plaga se basa fundamentalmente en la utilización de tratamientos químicos contra adultos, en diversos estudios han comprobado que, en general, los organofosforados, piretroides y espinosinas son los insecticidas que mayor eficacia poseen contra *Drosophila suzukii*, sin embargo en el laboratorio, se han obtenido mortalidades por encima del 80% con Spinosad, Deltametrina, Lambda-cihalotrina, Acetamiprid, Emamectina y Dimetoato (Bruck et al., 2011). En cuanto a las piretrinas, los ensayos en laboratorio con adultos muestran mortalidades por debajo del 25%, actualmente, formulaciones de otros insecticidas, como reguladores del crecimiento (Lufenuron), han mostrado un efecto significativo sobre el desarrollo de las larvas (Bruck et al., 2011).

2.15 Efecto biocida de extractos vegetales etílicos.

La aplicación de los extractos vegetales con propiedades insecticidas y fungicidas es una alternativa para minimizar los efectos negativos de los

pesticidas químicos (Santos et al., 2016), al ser de bajo costo, no afectar el ambiente ni la salud (Villa-Martínez et al., 2015). Por ejemplo: los extractos de *Cecropia peltata* (Trompetilla o Yarumo) y *Trema Micrantha* (Capulín cimarrón o Guacimilla) controlan la población de *Tetranychus urticae* (araña roja) con más del 60 % de mortalidad a las 24 h después de la aplicación (Velázquez et al., 2024); los extractos de *Azadirachta indica* (neem), *Ricinus communis* (tártago) y *Allium sativum* (ajo) se utilizan para el control de orugas y huevos de la plaga *Agraulis vanillae* (mariposa de espejos) (Riquelme, 2024).

Para las enfermedades causadas por el hongo *Fusarium incarnatum* en el cultivo de plátano, se emplea el uso de extractos vegetales de *Cinnamomum verum* (canela) y *Syzygium aromaticum* (clavo de olor), que inhiben el crecimiento del hongo (Morocho-Coronel et al., 2024).

Los compuestos de *Tagetes erecta*, presentan efecto inhibidor sobre *Fusarium oxysporum*, además de proteger la estructura celular de las hojas e incrementar la resistencia general de la planta y la tasa de germinación de semillas infectadas por el hongo (Du et al., 2017). Otras investigaciones mencionan que los extractos de los pétalos de esta especie disminuyen el crecimiento de hongos como *Candida albicans*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus* y *Penicillium crysogenum* (Vedam et al., 2019), así como de *Monilinia laxa* y *Fusarium graminearum* (Perisoara et al., 2022). *Tagetes erecta* también tiene propiedades larvícida, nematocida e insecticida (Santos et al., 2016), es efectivo contra larvas de *Spodoptera frugiperda* (gusano cogollero) causando toxicidad por contacto, así como el 40 % de la mortalidad del insecto (Henagamage et al., 2023).

Por otra parte, los extractos de *Azadirachta indica* previenen y reducen el ataque de *Bemisia tabaci* (mosca blanca), así como la incidencia y severidad de enfermedades fungosas (Akama et al., 2023). También se ha reportado una reducción de la oviposición, el número de ninfas y la emergencia del adulto de *Bemisia tabaci* en un 50 %, 70 % y 80 %, respectivamente (Amour et al., 2023) y la reducción de la población de ninfas del 47.55 % después de 120 h (Aslam et al., 2023). El extracto también reduce el 7.11 % y 2.83 % de la infestación de

Phyllocnistis citrella (minador de la hoja de los cítricos) a los 10 y 20 días después de la aplicación, respectivamente (Valarezo et al., 2023).

Otra especie vegetal utilizada como extracto vegetal es *Ocimum basilicum*, la cual tiene actividades fungicidas contra el crecimiento micelial y germinación de los conidios de *Pilidiella granati* (Thomidis y Filotheou, 2016). Así mismo, el extracto de hojas de *Ocimum basilicum* es efectivo contra *Cercospora apii* Fressen, causante de tizón temprano del apio, con un 100 % de reducción de inhibición del crecimiento micelial a los 14 días (Ramos de L et al., 2012). Se han reportado propiedades insecticidas de *Ocimum basilicum* al controlar a adultos y larvas de *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus* y *Culex quinquefasciatus*, los cuales son vectores de la transmisión de virus como los que causan dengue, zika, fiebre amarilla o chikungunya (Leyva et al., 2020).

El extracto de las hojas de *Cordia boissieri*, poseen actividad antimicrobiana contra *Staphylococcus aureus* (Molina-Salinas et al., 2007) e inhiben el crecimiento de *Candida glabrata* (Salazar-Aranda et al., 2011). Por otra parte, los extractos de *Cordia boissieri* causan mortalidad de dos poblaciones de *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (garrapata) del 37 a 71 % en adultos y de 10.33 a 33.04 % en larvas (García-Ponce et al., 2024).

2.16 Efecto biocida de extractos vegetales acuosos

Con base al trabajo de investigación sobre la utilización de extractos acuosos vegetales para el combate de la conchuela del frijol *Epilachna varivestis* Muls. (Coleoptera: Coccinellidae) en Chapingo, México se encontró lo siguiente: el método de combate más común es a base de insecticidas; sin embargo, los problemas de resistencia, asistencia técnica y carencia de recursos económicos nos obligan a buscar nuevos métodos de combate para la conchuela del frijol (Romo, 1987). Como una alternativa se plantea el uso y manejo de extractos acuosos vegetales, con el fin de disminuir la densidad de población de este insecto y con ello tratar de incrementar el rendimiento promedio regional, donde las plantas utilizadas en esta investigación ocasionaron más del 60% de

mortalidad en laboratorio: *Hippocratea sp.*, *C. nocturnum*, *T. americana* y *T. havanensis*, dichas plantas se prepararon en forma de macerados al 5% (5 g de planta en 100 ml de agua) 24 horas antes de su aplicación, y al ser aplicados en dos y tres veces por semana (Romo, 1987).

Después de 46 días de la siembra se iniciaron las aplicaciones de los extractos por un periodo de 26 días, los parámetros evaluados fueron: nivel de daño, vainas por planta, semillas por vaina, semillas por planta, rendimiento por planta, peso de 100 semillas y rendimiento en grano, si en cambio el daño ocasionado por conchuela se registró mediante una escala del 0 al 7; le corresponde el cero a una planta sana y el siete a una completamente defoliada por conchuela, por otro lado el parámetro vainas por planta se determinó en base al promedio de 10 plantas; semillas por vaina, como el promedio de 20 vainas de 10 plantas; semillas por planta, promedio de semillas de 10 plantas; rendimiento por planta, promedio del peso de 20 plantas; para el peso de 100 semillas, se contaron 100 semillas de 10 plantas y se pesaron; el rendimiento en grano, consistió en pesar el grano de todas las plantas que conformaron la parcela útil y estos resultados se transformaron a rendimiento por hectárea (Romo, 1987). Las diferencias entre los tratamientos se observaron después de 26 días de iniciadas las aplicaciones, es decir, después de doce aplicaciones, los macerados con los que se obtuvo menor daño por la conchuela fue *Hippocratea sp.*, aplicada dos y tres veces por semana, por otra parte, se determinó la misma disminución del daño por esta plaga, al aplicarse nueve veces el extracto de esta misma planta (Romo, 1987). El análisis estadístico entre semillas por planta, rendimiento por planta, peso de 100 semillas y rendimiento en grano, mostró diferencias significativas entre los tratamientos; en tanto que, entre las variables vainas por planta y semillas por vaina, no se aprecian diferencias significativas (Romo, 1987).

El mayor rendimiento en grano se obtuvo en donde se aplicó *Hippocratea sp.* que fue estadísticamente igual al tratamiento con insecticida, el tratamiento con mayor daño por conchuela del frijol fue el testigo regional y, por ende, en el que se obtuvo el rendimiento menor, en la conclusión general de esta investigación

es que las aplicaciones con macerados de *Hippocratea sp.*, tres veces por semana, 46 días después de la siembra, por un periodo de 26 días de aplicaciones, resultaron ser más efectivas que las otras especies vegetales utilizadas, el uso es factible por campesinos con bajos recursos, que no realizan ningún tipo de control para la conchuela del frijol y con ello pueden incrementar el rendimiento por unidad de superficie (Romo, 1987).

2.17 Bioensayo de extracto de higuera (*Ricinus communis*)

Se encontró que se realizó un bioensayo para potenciar extractos vegetales y controlar insectos plagas del tomate (*Solanum lycopersicum*) y se demostró lo siguiente: las plantas con propiedades bioplaguicidas son alternativas de uso a los agroquímicos convencionales, por sus efectos detrimentales diversos, para este estudio, se utilizaron semillas maduras, mediante el método de maceración con el solvente hidroalcohol etílico (50% + 50%) en ambiente anaeróbico (galón de vidrio oscuro) durante 72 horas. Para la mejora, se agregaron 30 gotas (por litro), de otros compuestos vegetales al aceite de ajonjolí (*Sesamun indicum*), emulsificante a lecitina de soya (*Glicine max*), conservante de frutos de marañón (*Anacardium occidentale*), y como adherente al piñón (*Jatropha curcas*) (Vera et al., 2016). Los resultados de los bioensayos sobre larvas del segundo instar de *Spodoptera sunia*, mostraron mortalidades superiores, con un rango de 30 a 40% en comparación con los extractos no mejorados; además, la fecha de caducidad de los extractos envasados en botellas plásticas se incrementó hasta 90 días en ambiente normal sin refrigeración, con respecto del cultivo de tomate orgánico, los extractos botánicos mejorados controlaron gran parte de las plagas ($P < 0.05$), excepto a *Prodiplosis longifila*, destacando los extractos de jaboncillo (*Sapindus saponaria*) y la mezcla de ají (*Capsicum frutescens*) más ajo (*Allium sativum*), se observó que en presencia del parasitoide *Aphidius spp* en ninfas de *Aphis spp* como control biológico natural en 15%, y de los depredadores de larvas de los beneficios *Cicloneda sanguínea*, *hippodamia convergens* e himenópteros del

género *polistes* y *sinoeca* en menor porcentaje no cuantificado, pero estimado en 2% (Vera et al., 2016).

2.18 Bioensayo de extracto de Eucalipto (*Eucalyptus spp*)

Extractos de eucalipto y cocoite (*Gliricidia sepium*) fueron probados exitosamente contra *Colletotrichum spp.*, y *R. solani* (Loaiza y Rivera, 2000). La frambuesa es un fruto altamente perecedero debido a su delicada estructura y elevada susceptibilidad al deterioro poscosecha, lo que representa una limitante importante para su comercialización, en este contexto, se ha evaluado el uso de recubrimientos comestibles elaborados con mucílago de nopal y carboximetilcelulosa (CMC), incorporados con aceite esencial de eucalipto, como estrategia para prolongar la vida útil del fruto. (Trejo, et al., 2015)

En un estudio se emplearon recubrimientos al 0.5 % de mucílago de nopal o CMC adicionados con 2000 ppm de aceite esencial de eucalipto, y se observó que estos tratamientos redujeron el índice de decaimiento y disminuyeron hasta en 63 % el desprendimiento de líquido en comparación con frutos sin tratar (Vera et al., 2016). Además, las frambuesas recubiertas conservaron prácticamente el 99 % de sus antocianinas y mantuvieron en mayor medida su capacidad antioxidante durante 15 días de almacenamiento, los resultados demostraron que estos recubrimientos inhibieron el desarrollo de Podredumbre gris, causada por el hongo *Botrytis cinerea*, sin afectar la composición ni la calidad del fruto, por lo que constituyen una alternativa tecnológica prometedora para la conservación postcosecha de frambuesa Vera et al., 2016).

2.19 Literatura Citada

Agrios, G. N. (2005). *Plant Pathology* (5th ed.). Elsevier Academic Press.

Aiyer, H. S., Vadhanam, M. V., Stoyanova, R., Caprio, G. D., Clapper, M. L., & Gupta, R. C. (2008). Dietary berries and ellagic acid prevent oxidative DNA damage and modulate expression of DNA repair genes. *International Journal of Molecular Sciences*, 9(3), 327–341.

Akama, C. K., Amiteye, S., Appiah, A. S., Kpentey, P. B., Appiah, R., Kutu fam, J. T., Dzimega, D. A., & Amenorpe, G. (2023). Assessment of different rates of neem extracts as bio-pesticide for the control of insect vectors and associated viral diseases in okra. *African Journal of Agricultural Research*, 19(4), 364–373. <https://doi.org/10.5897/AJAR2023.16314>

Amin, M. M., Mizell, R. F., & Flowers, R. W. (2009). Response of the predatory mite *Phytoseiulus macropilis* (Acari: Phytoseiidae) to pesticides and kairomones of three spider mite species (Acari: Tetranychidae), and non-prey food. *Florida Entomologist*, 92(4), 554–562. <https://doi.org/10.1653/024.092.0404>

Amour, M., Wosula, E. N., Mrisho, L., Hoskins, C., Buss, D., Bruce, T., Stephano, F., & Legg, J. P. (2023). Efficacy of selected botanical oils against the cassava whitefly (*Bemisia tabaci*) and their effects on its feeding behaviour. *Journal of Applied Entomology*, 147(7), 473–485. <https://doi.org/10.1111/jen.13134>

Anttonen, M. J., & Karjalainen, R. O. (2005). Environmental and genetic variation of phenolic compounds in red raspberry. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18(8), 759–769. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2004.11.003>

Argüello M., C. (1983). Adaptación de diversas especies frutales a las condiciones ecológicas de Bachíniva, Chih. En *Campo Experimental Sierra de Chihuahua* (Ed.), *Avances de investigación agrícola 1982* (Vol. 2, pp. 36–39). Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.

- Aslam, M., Sarwar, A., Khan, S. Z., Awan, M. I., Munir, M., Mushtaq, M. N., Ahmad, S., Hanif, A., Masroor, A., & Ashraf, M. R. (2023). The effectiveness of botanicals and fungus isolates from fish pound on the population reduction of *Bemisia tabaci*. *Journal of Survey in Fisheries Sciences*, 10(3), 4996–5007.
- Baker, R., Peter, B., Grassi, A., Guitián Castrillón, J. M., Hueppelsheuser, T., Knight, J., & Philippe, R. (2010). Pest risk analysis for *Drosophila suzukii*. Organización Europea y Mediterránea para la Protección de las Plantas. https://capra.eppo.org/files/examples/1/Drosophila_suzukii.pdf
- Beers, E. H., Van Steenwyk, R. A., Shearer, P. W., Coates, W. W., & Grant, J. A. (2011). Developing *Drosophila suzukii* management programs for sweet cherry in the western United States. *Pest Management Science*, 67(11), 1386–1395. <https://doi.org/10.1002/ps.2279>
- Berry, J. A. (2012). Pest risk assessment: *Drosophila suzukii*: Spotted wing drosophila (Diptera: Drosophilidae) on fresh fruit the USA. Ministry for Primary Industries.
- Bobinaitė, R., Viškelis, P., & Venskutonis, P. R. (2012). Variation of total phenolics, anthocyanins, ellagic acid and radical scavenging capacity in various raspberry (*Rubus* spp.) cultivars. *Food Chemistry*, 132(3), 1495–1501. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.137>
- Bolda, M. P., Goodhue, R. E., & Zalom, F. G. (2010). Spotted wing drosophila: Potential economic impact of a newly established pest. Giannini Foundation of Agricultural Economics, University of California. <https://giannini.ucop.edu/publications/are-update/issues/volume-13-number-3-janfeb-2010/>
- Bowen-Forbes, C. S., Zhang, Y., & Nair, M. G. (2010). Anthocyanin content, antioxidant, anti-inflammatory and anticancer properties of blackberry and

- raspberry fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(6), 554–560. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2009.08.012>
- CABI. (2018). *Argemone mexicana* (mexican prickly poppy). *Invasive Species Compendium*. CAB International. <https://www.cabi.org/isc/datasheet/6878>
- CABI. (2024). *Drosophila suzukii* (spotted wing drosophila). *CABI Compendium*. CAB International. <https://www.cabi.org/isc/datasheet/109283>
- Calabria, G., Máca, J., Bächli, G., Serra, L., & Pascual, M. (2012). First records of the potential pest species *D. suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in Europe. *Journal of Applied Entomology*, 136(1–2), 139–147. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2010.01583.x>
- Carrera, M. (1974). El frambueso. *Hojas Divulgadoras*, (1), 1–24. Ministerio de Agricultura de España.
- Centro de Información de Recursos Naturales. (1988). Manual del cultivo de la frambuesa (Publicación CIREN N° 71). Corporación de Fomento de la Producción.
- Chen, W., Su, H., Huang, Z., Feng, L., & Nie, H. (2012). Neuroprotective effect of raspberry extract by inhibiting peroxynitrite-induced DNA damage and hydroxyl radical formation. *Food Research International*, 49(1), 22–26. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.07.031>
- Chichón, L., Garrido, D., & Lago, J. (2015). Primera detección de *Drosophila suzukii* (Matsumura, 1939) (Diptera: Drosophilidae) en frambuesas del Valle de Río Negro, Argentina. En *Sociedad Entomológica Argentina* (Ed.), *Libro de resúmenes del IX Congreso Argentino de Entomología* (p. 142). SEA.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2014). *Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad*. CONABIO.

- Comisión de la Internacional de Protección Fitosanitaria. (2006). NIMF No. 8: Determinación de la situación de una plaga en un área. FAO.
- Cowles, R. S. (2011). Custom baits to manage spotted wing drosophila. Northeastern IPM Center - IPM Partnership Grant Program 2011. Connecticut Agricultural Experiment Station.
- Cruz-Esteban, S., & Rojas, J. C. (2022). Control etológico de *Drosophila suzukii* en cultivos de frutillas en México. *Elementos*, (126), 55–61.
- Cuthbertson, A. G. S., Blackburn, L. F., & Audsley, N. (2014). Efficacy of commercially available invertebrate predators against *Drosophila suzukii*. *Insects*, 5(4), 952–960. <https://doi.org/10.3390/insects5040952>
- Diario Oficial de la Federación. (2015, 20 de mayo). Acuerdo por el que se declara como zona libre de la mosca del vinagre de alas manchadas (*Drosophila suzukii* Matsumura) a diversos municipios del estado de Sonora. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Dirección General de Sanidad Vegetal. (2011). Circular 159: Protocolo para la delimitación especial de la mosca del vinagre de alas manchadas (*D. suzukii* Matsumura). SENASICA.
- Dos Santos, L. A., Mendes, M. F., Krüger, A. P., Blauth, M. L., Gottschalk, M. S., & García, F. R. M. (2017). Global potential distribution of *Drosophila suzukii* (Diptera, Drosophilidae). *PLOS ONE*, 12(3), Artículo e0174318. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174318>
- Dreves, A. J., Walton, V., & Fisher, G. (2009). A new pest attacking healthy ripening fruit in Oregon (EM 8991). Oregon State University Extension Service.

- Du, A., Pérez-Leal, R., Morales-Morales, H. A., Basurto-Sotelo, M., Soto-Parra, J. M., & Martínez-Escudero, E. (2015). Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. *Acta Agronómica*, 64(2), 194–205. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n2.43221>
- EPPO. (2015). EPPO Reporting Service (No. 2015/01). European and Mediterranean Plant Protection Organization.
- EPPO. (2016). First report of *Drosophila suzukii* in Sweden. EPPO Reporting Service (No. 2016/10). European and Mediterranean Plant Protection Organization.
- Funes, F. D., Kirschbaum, S. D., Escobar, I. L., & Heredia, M. A. (2018). La mosca de las alas manchadas: *Drosophila suzukii*, Matsumura (1.^a ed.). Ediciones INTA.
- García-Ponce, R., Hernández-Escareño, J. J., Cruz-Valdez, J. C., Galindo-Rodríguez, S. A., & Villarreal-Villarreal, J. P. (2024). Ixodocidal effect of extracts from *Cordia boissieri*, *Artemisia ludoviciana* and *Litchi chinensis* on *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae). *Brazilian Journal of Biology*, 84, Artículo e251910. <https://doi.org/10.1556/10.1590/1519-6984.251910>
- González, M. I., & Morales, C. G. (2009). Propagación de frambueso (*Rubus idaeus* L.). *Informativo INIA Raihuén*, (46), 1–4.
- Graham, J., & Woodhead, M. (2009). Raspberries and blackberries: The genomics of *Rubus*. En K. Folta & S. Gardiner (Eds.), *Genetics of Rosaceae, plant genetics and genomics* (pp. 507–524). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-77491-6_23
- Grainge, M., & Ahmed, S. (1988). *Handbook of plants with pest control properties*. John Wiley & Sons.

- Gu, Y., Zhao, C. M., Jin, W., & Li, W. L. (1993). Evaluation of Rubus germplasm resources in China. *Acta Horticulturae*, (352), 317–324. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1993.352.44>
- Haviland, D. R., & Beers, E. H. (2012). Chemical control programs for *Drosophila suzukii* that comply with international limitations on pesticide residues for exported sweet cherries. *Journal of Integrated Pest Management*, 3(2), 1–6. <https://doi.org/10.1603/IPM11012>
- Heinonen, M. (2007). Antioxidant activity and antimicrobial effect of berry phenolics: A Finnish perspective. *Molecular Nutrition & Food Research*, 51(6), 684–691. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200700006>
- Henagamage, A. P., Ranaweera, M. N., Peries, C. M., & Premetilake, M. M. S. N. (2023). Repellent, antifeedant and toxic effects of plants-extracts against *Spodoptera frugiperda* larvae (fall armyworm). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 48, Artículo 102636. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102636>
- Hopkins, W. G. (1999). *Introduction to plant physiology* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Huelva, L. P. S. V. (s.f.). Galería de fotos *Drosophila suzukii*. Red de Alerta e Información Fitosanitaria (RAIF), Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente, Unión Europea.
- Hummer, K. E. (1996). Rubus diversity. *HortScience*, 31(2), 182–183. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.31.2.182>
- INIA, & Instituto de Desarrollo Agropecuario. (2017). *Manual de manejo agronómico de la frambuesa*. Ministerio de Agricultura de Chile.
- INTAGRI. (2021). El cultivo de la frambuesa. *Artículos Técnicos de INTAGRI*, (62), 1–5.

- IPPC. (2016a). NIMF 5: Glosario de términos fitosanitarios. FAO.
- IPPC. (2016b). NIMF 8: Determinación de la situación de una plaga en un área. FAO.
- Jennings, D. L. (1988). Raspberries and blackberries: Their breeding, diseases and growth. Academic Press.
- Kanzawa, T. (1935). Research into the fruit-fly *Drosophila suzukii* Matsumura. Yamanashi Agricultural Experiment Station.
- Kanzawa, T. (1939). Studies on *Drosophila suzukii*. Yamanashi Prefecture Agricultural Experiment Station Report, 1–49.
- Kiss, B., Kis, A., & Kábai, A. (2016). The rapid invasion of spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii* (Matsumura) (Diptera: Drosophilidae), in Hungary. *Phytoparasitica*, 44(3), 429–433. <https://doi.org/10.1007/s12600-016-0527-3>
- Konić-Ristić, A., Šavikin, K., Zdunić, G., Janković, T., Juranic, Z., Menković, N., & Stanković, I. (2011). Biological activity and chemical composition of different berry juices. *Food Chemistry*, 125(4), 1412–1417. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.10.018>
- Lasa, R., & Williams, T. (2019). Desarrollo de estrategias efectivas para el control de *Drosophila suzukii* (Informe Técnico CONACYT-PDCPN2015). Instituto de Ecología, A.C.
- Lee, J., Dossett, M., & Finn, C. E. (2012). Rubus fruit phenolic research: The good, the bad, and the confusing. *Food Chemistry*, 130(4), 785–796. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.124>
- Leyva, M., Marquetti, M. D. C., Montada, D., Payroll, J., Scull, R., Morejón, G., & Pino, O. (2020). Actividad insecticida de los aceites esenciales de Piper

aduncum subsp. ossanum y Ocimum basilicum sobre Aedes aegypti, Aedes albopictus y Culex quinquefasciatus. Novitates Caribaea, (16), 122–132. <https://doi.org/10.33800/nc.vi16.22>

Liu, Y., Liu, M., Li, B., Zhao, J. L., Zhang, C. P., Lin, L. Q., Chen, H. S., Zhang, S. J., Jin, J. C., Wang, L., Li, L. J., & Liu, J. R. (2010). Fresh raspberry phytochemical extract inhibits hepatic lesion in Wistar rat model. Nutrition & Metabolism, 7, Artículo 84. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-7-84>

Loaiza, J. E., & Rivera, G. (2000). Potencial biocida de extractos de Gliricidia sepium contra patógenos del cultivo de la papaya. Agronomía Costarricense, 24(1), 29–36.

Marín Cortez, F. A., et al. (2019). Biological control of late leaf rust disease (Pucciniastrum americanum) in raspberry. Chilean Journal of Agricultural Research, 79(3), 445–453.

Martínez, M. (1996). Las plantas medicinales de México (6.^a ed.). Editorial Botas.

Medda, R., Lyros, O., Schmidt, J. L., Jovanovic, N., Nie, L., Link, B. J., Otterson, M. F., Stoner, G. D., Shaker, R., & Rafiee, P. (2015). Anti-inflammatory and anti-angiogenic effect of black raspberry extract on human esophageal and intestinal microvascular endothelial cells. Microvascular Research, 97, 167–180. <https://doi.org/10.1016/j.mvr.2014.10.007>

Mihaliak, C. A., Gershenzon, J., & Croteau, R. (1991). Lack of rapid monoterpene turnover in rooted plants: Implication for theories of plant chemical defense. Oecologia, 87(3), 373–376. <https://doi.org/10.1007/BF00634594>

Ministry of Agriculture British Columbia. (2011). Spotted wing Drosophila (Drosophila suzukii). Government of British Columbia.

- Molina-Rodríguez, J. M., & Pérez-Guerrero, S. (2018). *Drosophila suzukii* en frutos rojos: Técnicas para su control. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA).
- Molina-Salinas, G. M., Pérez-López, A., Becerril-Montes, P., Salazar-Aranda, R., Said-Fernández, S., & Waksman de T., N. (2007). Evaluation of the flora of Northern Mexico for in vitro antimicrobial and antituberculosis activity. *Journal of Ethnopharmacology*, 109(3), 435–441. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.08.019>
- Mora, M. (2011). Biodiversidad y algunos aspectos de distribución biogeográfica de *Rubus* sp. en el estado Táchira [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional Experimental del Táchira]. Repositorio Institucional UNET.
- Morales, C. (2017). Requerimientos climáticos e hídricos del cultivo de frambuesa (*Rubus idaeus* L.). En Instituto Nacional de Innovación Agraria (Ed.), Guía técnica de manejo agronómico del cultivo de frambuesa en la costa del Perú (pp. 21–34). INIA.
- Morocho-Coronel, Y. B., Jaramillo-Aguilar, E. E., Herrera-Reyes, S. N., & Moreno-Herrera, A. (2024). Evaluación del efecto antifúngico de extractos vegetales sobre hongos asociados a manchas foliares en banano. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 7(1), 248–257.
- Paglietta, R. (1986). *El frambueso*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Parra-Quezada, R. A., Ávila-Marioni, M. R., & Ríos-Sánchez, R. (2002). Avances en el desarrollo de la frambuesa roja en el estado de Chihuahua (Folleto Técnico Núm. 14). SAGARPA-INIFAP.
- Perisoara, A., Marinas, I. C., Geana, E. I., Constantin, M., Angheloiu, M., Pirvu, L., & Cristea, S. (2022). Phytostimulation and synergistic antipathogenic effect of *Tagetes erecta* extract in presence of Rhizobacteria. *Horticulturae*, 8(9), Artículo 779. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8090779>

- Probodelt. (s.f.). Mosca de alas manchadas (*Drosophila suzukii*). Productos Bio-ecológicos para la Agricultura.
- Ramos de L., N., Sanabria, M. E., Rodríguez y D., & Ulacio, D. (2012). Efecto del extracto etanólico de albahaca genovesa (*Ocimum basilicum* var. Genovese) sobre *Cercospora apii* Fressen y el tizón temprano del celery (*Apium graveolens*). *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(2), 472–478.
- Riquelme R., M. T. (2024). Evaluación de extractos vegetales a base de tártago (*Ricinus communis*), neem (*Azadirachta indica*) y ajo (*Allium sativum*) para el control de la plaga (*Agraulis vanillae*) en un cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims). *Revista Científica Multidisciplinaria*, 1(1), 77–86.
- Robles, E. (2009). Efecto de la brasinolide sobre la formación y elongación de brotes adventicios de frambuesa (*Rubus idaeus*) in vitro [Tesis de grado, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo].
- Rodríguez B., G., & Flores C., M. A. (2025). Plan de manejo agronómico de las variedades de frambuesa MALU, ALEXA y MAYA. Técnico Agropecuario S.A.
- Rodríguez Bautista, G. (2023, 21 de diciembre). Especialista llama a aprovechar las variedades silvestres de las berries. Universidad de Guadalajara.
- Rodríguez, A. J., & Avitia, G. E. (1984). El cultivo de la frambuesa roja. Centro de Fruticultura, Colegio de Postgraduados.
- Romo, J. (1987). Utilización de extractos acuosos vegetales para el combate de la conchuela del frijol *Epilachna varivestis* Muls. (Coleoptera: Coccinellidae) [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo].
- SAGARPA-SENASICA. (2017). Manual técnico para la vigilancia epidemiológica fitosanitaria 2017. Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria.

- Salazar-Aranda, R., Pérez-López, L. A., López-Arroyo, J., Alanís-Garza, B. A., & Waksman de T., N. (2011). Antimicrobial and antioxidant activities of plants from northeast of Mexico. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2011, Artículo 536131. <https://doi.org/10.1155/2011/536131>
- Salazar-Moreno, R., Rojano-Aguilar, A., & López-Cruz, I. L. (2014). La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(2), 177–183.
- Santos, P. C., Santos, V. H. M. G., Mecina, F., Andrade, A. R., Figueiredo, P. A., Moraes, V. M. O., Silva, L. P., & Silva, R. M. G. (2016). Insecticidal activity of *Tagetes* sp. on *Sitophilus zeamais* Mots. *International Journal of Environmental & Agriculture Research*, 2(10), 31–38.
- Sasaki, M., & Sato, R. (1995). Bionomics of the cherry drosophila, *Drosophila suzukii* Matsumura (Diptera: Drosophilidae) in Fukushima Prefecture [Honshu]. *Annual Report of the Society of Plant Protection of North Japan*, 46, 164–166.
- Sasaki, M., & Sato, R. (1996). Bionomics of *D. pulchrella* Tan, Hus et Sheng (Diptera: Drosophilidae) in Fukushima prefecture (Japan). *Tohoku Agriculture Research*, 49, 161–162.
- Šavikin, K., Zdunić, G., Janković, T., Tasić, S., Menković, N., Stević, T., & Đorđević, B. (2009). Phenolic content and radical scavenging capacity of berries and related jams from certificated area in Serbia. *Plant Foods for Human Nutrition*, 64(3), 212–217. <https://doi.org/10.1007/s11130-009-0125-4>
- Schwarzbach, A., & Kadereit, J. W. (1999). Phylogeny of prickly poppies, *Argemone* (Papaveraceae), and the evolution of morphological and alkaloid characters based on ITS nrDNA sequence variation. *Plant*

Systematics and Evolution, 218(3–4), 257–279.
<https://doi.org/10.1007/BF0108923>.

SCOPE-SENASICA. (2015). Estatus fitosanitario de mosca del vinagre de alas manchadas. Sistema de Alerta Fitosanitaria del Estado de Sonora.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2017). Potencial del mercado internacional de frutas del bosque. Gobierno de México.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2004). Situación actual y perspectivas del cultivo de frambuesa en México. Gobierno de México.

SENASICA. (2019). Mosca del vinagre de alas manchadas (*Drosophila suzukii*) Matsumura (Ficha Técnica No. 7). Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2016). Cierre de la producción agrícola por año, estado y por cultivo. SAGARPA.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2020). Panorama Agroalimentario 2020. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

Siriwoharn, T., Wrolstad, R. E., Finn, C. E., & Pereira, C. B. (2004). Influence of cultivar, maturity, and sampling on blackberry (*Rubus* L. hybrids) anthocyanins, polyphenolics, and antioxidant properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(26), 8021–8030.
<https://doi.org/10.1021/jf048619y>

Sordo, M. H., Cristian, P., & Gariglio, N. (2014). Frambuesa: Cultivos frutales y ornamentales. Universidad Nacional del Litoral.

- Thomidis, T., & Filotheou, A. (2016). Evaluation of five essential oils as bio-fungicides on the control of *Pilidiella granati* rot in pomegranate. *Crop Protection*, 89, 66–71. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.07.012>
- Trejo-Ramírez, V., Trejo-Márquez, M. A., Pascual-Bustamante, S., & Lira-Vargas, A. A. (2015). Extracción de aceite esencial de eucalipto y su aplicación como agente antifúngico en un envase activo para conservación de frambuesa. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(2), 228–233.
- Trujano-Fragoso, D. E., Trinidad-Santos, A., López-Romero, R. M., Velasco-Cruz, C., Becerril-Román, A. E., & Cortés-Penagos, C. J. (2017). Características pomológicas, capacidad antioxidante y ácido elágico en frambuesa (*Rubus idaeus* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(3), 261–269. <https://doi.org/10.35196/rfm.2017.3.261-269>
- USDA NRCS Plants Database. (2014). The PLANTS database. National Plant Data Team, United States Department of Agriculture.
- Valarezo, C. O., Saldarriaga, V. A., Vélez, S. M., Reyna, J. L., Julca, A., & Rodríguez, A. (2023). Efecto del neem sobre *Phyllocnistis citrella* y su parasitoidismo a nivel de invernadero en Manabí, Ecuador. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 10(2), 22–29. <https://doi.org/10.53287/mxtm3832qj42n>
- Vedam, V. A., Xavier, A. S., & David, D. C. (2019). In-vitro evaluation of antifungal and anticancer properties of *Tagetes erecta* petal extract. *Biomedical and Pharmacology Journal*, 12(2), 815–823. <https://doi.org/10.13005/bpj/1705>
- Velázquez, V. G., Aragón S., A., Puga J., A. L., & Hernández J., E. (2024). Extractos acuosos de *Cecropia peltata* L. y *Trema micrantha* Blumen como una alternativa para el control de *Tetranychus urticae* Koch. *Ciencia Latina*

- Vera, M., et al. (2016). Potenciación de extractos vegetales para el control de insectos plaga del tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *Revista Científica Agrícola*, 14(2), 112–125.
- Verma, R., Gangrade, T., Punasiya, R., & Ghulaxe, C. (2014). *Rubus fruticosus* (zarzamora) se utilizan como medicina herbal. *Pharmacognosy Reviews*, 8(16), 101–104. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.13424>.
- Villa-Martínez, A., Pérez-Leal, R., Morales-Morales, H. A., Basurto-Sotelo, M., Soto-Parra, J. M., & Martínez-Escudero, E. (2015). Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. *Acta Agronómica*, 64(2), 194–205. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n2.43221>
- Villaseñor, J. L., & Espinosa, F. J. (1998). Catálogo de malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México; Fondo de Cultura Económica.
- Walsh, D. B., Bolda, M. P., Goodhue, R. E., Dreves, A. J., Lee, J., Bruck, D. J., Walton, V. M., O'Neal, S. D., & Zalom, F. G. (2011). *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae): Invasive pest of ripening soft fruit expanding its geographic range and damage potential. *Journal of Integrated Pest Management*, 2(1), 1–7. <https://doi.org/10.1603/IPM10010>
- Wang, C. J., & Liu, Z. Q. (2007). Foliar uptake of pesticides: Present status and future challenge. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 87(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2006.04.004>
- Wijesinghe, C. J., Wilson-Wijeratnam, R. S., Samarasekara, J. K., & Wijesundera, R. L. (2011). Development of a formulation of *Trichoderma asperellum* to control black rot disease on pineapple caused by (*Thielaviopsis paradoxa*).

Crop Protection, 30(3), 300–306.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.11.009>

Williamson, B., Tudzynski, B., Tudzynski, P., & van Kan, J. A. L. (2007). *Botrytis cinerea*: The cause of grey mould disease. *Molecular Plant Pathology*, 8(5), 561–580. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2007.00417.x>

CAPÍTULO 3. EVALUAR EL EFECTO DEL RIEGO COMPLETO Y REDUCIDO, CON LA APLICACIÓN O AUSENCIA DE N-ALGAX, SOBRE EL RENDIMIENTO DE FRAMBUESA.

3.1 Resumen

La optimización hídrica y el uso de bioestimulantes representan alternativas sustentables frente al manejo agroquímico convencional. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de diferentes regímenes de riego, la aplicación del producto bioestimulante N-Algax y la influencia de *Drosophila suzukii* sobre el rendimiento final del cultivo de frambuesa (*Rubus idaeus* L.) cultivar Malu. El experimento se estableció en un macro túnel bajo un diseño de bloques completos al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones. Se contrastó un sistema de riego completo durante un periodo de 130 días frente a un régimen de riego reducido (restricción por válvulas durante 55 días del ciclo). Las aplicaciones del bioestimulante a base de algas marinas se realizaron semanalmente en dosis de 5 ml/L vía foliar y drench. La cosecha se registró tres veces por semana durante seis semanas de mayor producción. El balance hídrico acumulado demostró un ahorro neto de 0.50499 m³ en los tratamientos con restricción de riego, con una reducción del 0.67905 m³ en comparación con el riego completo 1.18404 m³. Los datos de rendimiento final se sometieron a un análisis de varianza y a una prueba de comparación múltiple de Duncan ($\alpha=0.05$). El ANOVA determinó la ausencia de diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p=0.1269$; $F=2.33$), aceptándose la hipótesis nula. Numéricamente, el tratamiento 1 (Riego Completo + Con N-Algax) obtuvo la media más alta (2371.20 g), mientras que el tratamiento 3 (Riego Completo + Sin N-Algax + Sin Plaga) reportó el menor rendimiento (1813.03 g). Se concluye que la restricción hídrica programada reduce sustancialmente el gasto de agua sin mermar estadísticamente el rendimiento del cultivo, mientras que el producto N-Algax muestra una tendencia favorable para mitigar el estrés hídrico.

Palabras clave: restricción hídrica, bioestimulante, rendimiento, análisis de varianza, *Rubus idaeus* L.

3.2 Introducción

El manejo hídrico representa uno de los factores más importantes en la producción de frambuesa debido a que este cultivo posee un sistema radicular superficial y una alta sensibilidad al déficit de humedad. El suministro adecuado de agua favorece el crecimiento vegetativo, el desarrollo de los frutos y la calidad del rendimiento; sin embargo, tanto el exceso como la deficiencia hídrica pueden provocar una disminución en la producción, la reducción del tamaño del fruto y una mayor susceptibilidad a enfermedades y plagas (Jennings, 1988).

En el cultivo de frambuesa, la aplicación de productos bioestimulantes puede incrementar el vigor de la planta, mejorar el amarre de fruto y favorecer la calidad y productividad. Es por ello que, en los últimos años, su uso ha cobrado importancia como una estrategia complementaria para mejorar la tolerancia de las plantas al estrés abiótico, especialmente al estrés hídrico. Los bioestimulantes—incluidos los extractos, aminoácidos y compuestos orgánicos— favorecen procesos fisiológicos relacionados con la absorción de nutrientes, el desarrollo radicular y la actividad fotosintética, contribuyendo al mantenimiento del rendimiento bajo condiciones adversas (Calvo et al., 2014).

Además, el manejo integrado del riego, en conjunto con el uso de bioestimulantes, representa una alternativa sustentable para reducir el consumo de agua sin comprometer significativamente la producción. Diversos estudios señalan que estas prácticas permiten aumentar la eficiencia en el uso del agua y fortalecer la respuesta fisiológica de las plantas frente a condiciones de estrés ambiental (Rouphael & Colla, 2020).

3.3 Materiales y métodos

3.4 Ubicación de los experimentos

El estudio de evaluación de bioensayos con extractos vegetales para el control de *Drosophila suzukii* en el cultivo de frambuesa bajo un riego controlado; se realizó en el área de invernaderos pertenecientes al del Departamento de Preparatoria Agrícola, en dichos invernaderos se encuentra el cultivo de frambuesa donde se llevaron a cabo las evaluaciones del producto N-Algax y control de riego en la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco de Mora, Estado de México, con coordenadas geográficas 19°29'23" LN y 98°53'37" LW.

3.4.1 Manejo del cultivar Malu

La plántula de frambuesa del cultivar 'Malú' se obtuvo de viveros comerciales en Sayula, Jal., en agosto de 2022. Las plántulas venían en contenedores donde se mantenían hidratadas adecuadamente hasta su trasplante, el cual se llevó a cabo en la primera mitad de noviembre de 2022. La colecta de la plántula fue realizada por proyectos anteriores a esta tesis de investigación.

El experimento se llevó a cabo en un macro túnel, el cual tiene una cubierta de polietileno transparente con el 50 % de sombra y efecto de difusión de la luz filtrada, ubicado en los invernaderos de Preparatoria Agrícola. Se acondicionó el área, quitando las malezas reduciendo los hospederos alternos. Se realizó una poda total de las plantas de Malu para generar nuevas cañas y comenzar un nuevo ciclo de producción. Se lavó el "ground cover" y las macetas, con jabón neutro y abundante agua para evitar la proliferación de hongos o bacterias que se hospedaban en la parte basal de las macetas.

Para lavar o limpiar el sustrato (tezontle) se realizaron riegos prolongados, en un tiempo de tres horas, por una semana para eliminar los excesos de carbonatos, nutrientes, algas y residuos del manejo anterior. Y de igual manera limpiar el sistema de riego principal.

El sistema de conducción utilizado para las cañas fue en “V” o Abanico debido al arreglo de las macetas. Por lo anterior, se utilizaron 4 postes de soporte verticales con tres crucetas soldadas, formando una doble T en cada cruce, el ancho de las crucetas es de 45 a 50 cm de ancho y una altura variable de 1.45 m aproximadamente, cada cama de cultivo media 15m de largo, dando un total de tres camas en el macro túnel. En cada T se colocaron hilos a lo largo de las filas de macetas, estos tienen la función de tutoraje de las cañas que están brotando, de esta forma las cañas se acomodan para el sistema de conducción en V para evitar crecimientos irregulares en el centro de los tratamientos y facilitar el manejo del cultivo y la cosecha.

Se realizaron podas cada tres semanas, para eliminar los brotes nuevos que las raíces emitían, se realizaba esto para evitar la competencia por nutrientes y espacio, disminuyendo el rendimiento en las cañas nuevas. De igual manera se realizaban raleos cada mes para eliminar hojas viejas y enfermas, saneando de esta manera al cultivo.

3.4.2 Aplicación del Producto N-Algax

El producto N-Algax es un potenciador de la producción a base de algas marinas las cuales fomentan el desarrollo foliar, el marre de frutos y sobre todo aumentando el rendimiento de la cosecha. De igual forma se tiene la premisa que este producto puede proteger a los frutos de frambuesa del ataque de plagas, ya que tiene propiedades repelentes. Por lo tanto, se realizaron aplicaciones periódicas de este producto para corroborar dichos argumentos ya que es un producto experimental y aun no tiene registro en RSCO.

Se realizaron aplicaciones foliares y en drench a una dosis de 5 ml de producto por 1 L de agua en cada repetición, por lo tanto por tratamiento se aplicaban 3 litros de agua con 15 ml de producto ya sea aplicación foliar o en drench. Las fumigaciones se realizaban una vez por semana los jueves antes del primer riego (9 am) para que las plantas pudieran absorber la mayor cantidad de producto y

de igual forma para que el sistema de riego nos ayudara a distribuir de manera homogénea las algas en toda la meseta.

Las fumigaciones iniciaron el 25 de junio y se detuvieron el 23 de octubre con la última aplicación debido a que ya habíamos terminado el periodo de la cosecha de frambuesas. Este producto se evaluará de tal manera en el rendimiento obtenido de la cosecha; realizando una comparación estadística con los tratamientos ausentes del producto N-Algax con los tratamientos que se les aplico el producto, para evaluar si el rendimiento final se incrementó o no causo alguna diferencia significativa el producto N-Algax.

3.4.3 Monitoreo de cosecha

Debido a su rápida maduración y a la adecuada consistencia del fruto, la cosecha se realizaba generalmente cada tercer día (realizando tres cosechas por semana). El periodo de producción de este cultivar varia de 7 u 8 semanas, dependiendo del manejo, el inicio de la cosecha se realizó una semana después de que las primeras plantas produjeran sus primeros frutos, fue así para tratar de homogenizar la cosecha del cultivo, de igual manera una semana antes de que terminara el periodo de cosecha (8 semanas) se detuvo la colecta de frutos debido a la baja producción presente, se cosecho durante las 6 semanas de mayor producción. La cosecha se realizaba los lunes, miércoles y viernes donde pesábamos la cantidad de frutos recolectados por repeticiones y por tratamientos, con el propósito de llevar una contabilización del rendimiento final que tendrá cada bloque.

3.4.4 Sistema de riego y manejo hídrico

Durante el primer mes de establecimiento del cultivo fue necesario sustituir completamente el sistema de riego debido a diversas fallas detectadas en su funcionamiento. Los principales problemas observados fueron el taponamiento

de los goteros ocasionado por la acumulación de carbonatos y la presencia de algas dentro de las líneas de distribución, favorecida por el uso continuo de fertilizantes en el sistema. Estas condiciones afectaban la uniformidad de aplicación del agua y de la solución nutritiva, por lo que se optó por instalar un sistema de riego nuevo para garantizar un suministro adecuado a las plantas.

El agua de riego y la solución nutritiva se almacenaron en un tanque con capacidad de 1000 L. El sistema de bombeo fue equipado con un programador automático que permitió controlar el encendido y apagado de las bombas, automatizando así la aplicación del riego. Se establecieron cuatro eventos de riego diarios, programados a las 09:00, 12:00, 15:00 y 18:00 horas, con una duración de dos minutos por evento.

La distribución del agua se realizó mediante líneas principales provistas de goteros con un gasto nominal de 3.8 L h^{-1} . Cada gotero abasteció cuatro estacas de distribución, comúnmente denominadas “arañas”, encargadas de conducir el agua hacia la zona radicular de las plantas. En total se instalaron 90 goteros, uno por planta. Adicionalmente, cada maceta recibió cuatro estacas alimentadas por dos goteros diferentes, con la finalidad de reducir los efectos ocasionados por posibles obstrucciones y asegurar una distribución uniforme del agua.

Bajo este esquema de manejo, cada gotero suministró aproximadamente 0.506 L de agua por día, distribuidos en cuatro frecuencias de riego, cubriendo los requerimientos mínimos de humedad del cultivo. Por otra parte, los tratamientos cuatro y cinco fueron equipados con válvulas de cierre para regular el volumen de agua aplicado. Con el objetivo de inducir una condición de riego restringido, las válvulas permanecieron cerradas tres días por semana (martes, jueves y sábado), reduciendo significativamente el volumen de agua suministrado a dichos tratamientos en comparación con los tratamientos con riego completo.

Fertirriego:

La nutrición del cultivo de frambuesa se realizó mediante un sistema de fertirrigación, suministrando los nutrientes a través del agua de riego durante todo el ciclo productivo. Durante la etapa de llenado de fruto se utilizó una solución nutritiva formulada específicamente para satisfacer los requerimientos nutricionales del cultivo, favoreciendo el crecimiento vegetativo, la formación y el desarrollo de los frutos.

La solución nutritiva se preparó en un tanque de almacenamiento con capacidad de 1000 L, ajustando las cantidades de fertilizantes de acuerdo con el volumen de agua requerido. La formulación incluyó nitrato de potasio, nitrato de calcio, fosfato monopotásico, sulfato de magnesio, sulfato de amonio, nitrato de amonio, cloruro de calcio, micronutrientes y bórax como fuente de boro. Asimismo, se adicionó ácido sulfúrico para ajustar el pH de la solución nutritiva y mejorar la disponibilidad de los nutrientes.

El orden de la mezcla es el siguiente: a) Primero aplicar ácido sulfúrico, b) Después fosfato monopotásico, c) Cloruro de calcio y micros= 1. Micros + 2.0 g de borax y 2. Cloruro de calcio, d) Después los sulfatos= 1. Sulfato de magnesio y 2. Sulfato de amonio, y por último agregar e) los nitratos= 1. Nitrato de Potasio, 2. Nitrato de calcio y 3. Nitrato de amonio; se realizaba de esta manera para evitar que los químicos reaccionen entre sí y provoquen precipitados o carbonatos, obstruyendo el nuevo sistema de riego.

Para una preparación de 1200 L de solución nutritiva se incorporaron la cantidad de fertilizantes mostrada en el Cuadro 2 En algunas ocasiones las dosis se ajustaron proporcionalmente cuando el volumen de preparación fue de 1000 o 1100 L.

Cuadro 2. Solución nutritiva utilizada para el llenado de los frutos.

Fertilizante	1000 L	1100 L	1200 L
Nitrato de potasio (g)	501	551	601
Nitrato de calcio (g)	611	672	733
Fosfato monopotásico (g)	186	205	224
Sulfato de magnesio (g)	208	229	250
Sulfato de amonio (g)	73	80	88
Nitrato de amonio (g)	68	75	82
Cloruro de calcio (g)	40	44	48
Micronutrientes (g)	30	30	30
Bórax (g)	2	2	2
Ácido sulfúrico (ml)	49	54	59

La aplicación de la solución nutritiva se realizó mediante el sistema de riego por goteo instalado en el cultivo, distribuyendo los nutrientes de forma uniforme a lo largo del día mediante varios pulsos de riego. Este manejo permitió mantener una disponibilidad constante de agua y nutrientes en la zona radicular, favoreciendo el desarrollo y rendimiento del cultivo de frambuesa bajo las condiciones experimentales evaluadas.

3.4.5 Gasto de agua de los tratamientos

Cálculo del consumo de agua durante el periodo de evaluación:

Para estimar el consumo de agua de cada tratamiento, se consideró como periodo de evaluación entre el 03 de julio y el 10 de noviembre de 2025. La fecha de inicio correspondió al momento en que se sustituyó el sistema de riego y se

implementó la estrategia de restricción hídrica mediante el cierre de válvulas en los tratamientos cuatro (T4) y cinco (T5). La fecha final coincidió con la poda de las plantas, concluyendo así el periodo experimental.

El intervalo de evaluación comprendió un total de 130 días, equivalentes a 18 semanas y 4 días. Durante este periodo, los tratamientos T4 y T5 estuvieron sujetos a una restricción de riego mediante el cierre de válvulas durante tres días por semana (martes, jueves y sábado), con el propósito de reducir el volumen de agua aplicado y generar una condición de estrés hídrico controlado.

Considerando la duración total del experimento y la frecuencia de restricción establecida, se obtuvo un total de 55 días con suspensión del riego en los tratamientos T4 y T5, mientras que durante los 75 días restantes se mantuvo el suministro normal de agua. Esta estrategia permitió disminuir significativamente el consumo hídrico de dichos tratamientos en comparación con aquellos que recibieron riego completo durante todo el periodo de evaluación.

Cálculos del gasto de agua:

1 riego= 2 min; por 4 riegos en el día= 8 min de riego.

Gasto de los goteros= 3.8 L / hora.

Gasto diario de cada gotero= 0.506 L / 8 min.

Cabe mencionar que cada repetición está conformada por 6 macetas lo que indica que son 6 goteros, 3 repeticiones por tratamiento; da un total de 18 goteros.

Tratamientos 1, 2 y 3:

1- Gasto de los 130 días = $0.506 \text{ L} (130 \text{ días}) = 65.78 \text{ L} / \text{cada gotero}$

2- Gasto de los tratamientos = 18 goteros (65.78 L) = $1184.04 \text{ L/Tratamiento}$.

3- Volumen de los tratamientos = $1184.04 \text{ L} / 1000 \text{ L} = 1.18404 \text{ m}^3$.

Tratamientos 4 y 5:

- 1- Gasto de los 55 días = $0.506 \text{ L (75 días)} = 37.725 \text{ L / cada gotero}$.
- 2- Gasto de los tratamientos = $18 \text{ goteros (37.725 L)} = 679.05 \text{ L / Tratamiento}$.
- 3- Volumen de los tratamientos = $679.05 \text{ L / } 1000 \text{ L} = 0.67905 \text{ m}^3$.

Diferencia del gasto de agua de los (T1, T2, T3) y (T4, T5):

$$\text{Diferencia} = 1.18404 \text{ m}^3 - 0.67905 \text{ m}^3 = 0.50499 \text{ m}^3.$$

Gasto total de los (T1, T2, T3) y (T4, T5):

$$\text{Gasto total} = 1.18404 \text{ m}^3 + 0.67905 \text{ m}^3 = 1.86309 \text{ m}^3.$$

3.4.6 Análisis estadístico

El diseño experimental que se utilizó en campo fue bloques completos al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones con un total de 15 bloques experimentales (Figura 5); esto significa que en cada repetición habrá 6 macetas con 3 o 5 cañas dando un total de 90 macetas con 360 cañas aproximadamente. Los tratamientos combinaron condiciones de riego completo o reducido, con aplicación o ausencia de N-Algax y presencia o ausencia de *Drosophila suzukii*, con el propósito de evaluar simultáneamente rendimiento, eficiencia de uso de agua y respuesta del cultivo ante la presión de plaga.

Se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) y una prueba de comparación múltiple (DUNCAN, $P < 0.05$) mediante el programa Statistical Analysis System (SAS). La interpretación se centró en la significancia estadística, la magnitud de las diferencias agronómicas y la relación entre reducción del riego, aplicación de N-Algax, presencia de la plaga y rendimiento.

2	2	3	3	2	2
2	2	3	3	2	2
2	2	3	3	2	2
3	3	1	1	3	3
3	3	1	1	3	3
3	3	1	1	3	3
1	1	2	2	1	1
1	1	2	2	1	1
1	1	2	2	1	1
4	4	5	5	5	5
4	4	5	5	5	5
4	4	5	5	5	5
5	5	4	4	4	4
5	5	4	4	4	4
5	5	4	4	4	4
Tratamiento	Riego	Producto	Plaga		
1	Completo	Si	Si		
2	Completo	No	Si		
3	Completo	No	No		
4	Reducido	Si	Si		
5	Reducido	No	Si		

Figura 3. Diseño experimental en campo de bloques completos al azar con 5 tratamientos y tres repeticiones, con las variables respuesta.

3.5 Resultados y discusión

3.5.1 Gasto de agua de los tratamientos

Los resultados que se obtuvieron en la evaluación del gasto de agua en campo de los distintos tratamientos evaluados mostraron diferencias significativas entre ellos, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Los tratamientos 1, 2 y 3 tuvieron el mayor volumen 1.18404 m^3 durante el periodo de 130 días. Sin embargo, los tratamientos 4 y 5 tuvieron el menor volumen 0.67905 m^3 , pero recordemos que solo fueron 75 días de riego en comparación de los 130 días de los otros tratamientos.

La diferencia que se observó entre los tratamientos fue de 0.50499 m^3 , esto indica que hay variaciones importantes en la disponibilidad de agua en el sistema de riego, debido a la reducción por el cierre de válvulas, regulando el flujo y disponibilidad de agua de estos tratamientos.

Los resultados obtenidos en la evaluación nos sugieren que los tratamientos con el mayor gasto de agua (T1, T2 y T3), podrían favorecer al desarrollo del cultivo incrementando la disponibilidad de nutrientes o el rendimiento, pero también es importante mencionar que el uso del recurso hídrico de manera eficiente puede optimizar el manejo agronómico del cultivo y por ende de los tratamientos 4 y 5; como menciona el autor Salazar (2014) la agricultura tendrá que incrementar de manera notable la eficiencia en el uso del agua. En especial en México, que es un país con baja disponibilidad de agua, resulta imprescindible no sólo mejorar la eficiencia en el uso del agua en la agricultura, sino también promover su uso de manera sustentable.

La UNESCO menciona que en el 2016 que el empleo del agua para uso agrícola es deficiente, debido a que el 54 % utilizado no se aprovecha adecuadamente (Carrillo-Huerta y Gómez, 2020). Con base en lo anterior, para seleccionar la técnica de riego adecuada se deben considerar una serie de factores tales como: el tipo de cultivo, tipo de suelo, fuente de abastecimiento de agua por otro lado, los sistemas de riego tecnificados (aspersión y goteo) que por diseño permiten el

ahorro de agua de hasta un 50% y eficiencias de aplicación de hasta un 90% (López et al., 2024).

Cuadro 3. Gasto de cada tratamiento.

Tratamiento	Gasto	Volumen	Diferencia	Gasto Total
1				
2	1184.04 L	1.18404 m ³		
3			0.50499 m ³	1.86309 m ³
4				
5	679.05 L	0.67905 m ³		

T1: Riego completo, Con N-Algax y Con Plaga; T2: Riego completo, Sin N-Algax y Con Plaga; T3: Riego completo, Sin N-Algax y Sin Plaga; T4: Riego Reducido, Con N-Algax y Con Plaga; T5: Riego Reducido, Sin N-Algax y Con Plaga.

El gasto de agua del cultivo de frambuesa en sistemas protegidos como invernadero o macro túnel, el consumo de agua puede oscilar entre 1 y 5 L/planta/día, dependiendo de la etapa fenológica, temperatura y condiciones ambientales, por lo tanto las mayores demandas hídricas se presentan durante floración y fructificación, etapas en las que el déficit de agua afecta directamente el rendimiento y calidad del fruto (Pino et al., 2013).

La necesidad hídrica del cultivo de frambuesa oscila entre 600 y 900 L m² por ciclo en condiciones de campo abierto y entre 700 y 1200 L m² bajo sistemas protegidos como macro túnel o invernadero, dependiendo de las condiciones ambientales y del manejo agronómico del cultivo (Morales, 2017).

En base a la anterior información de los autores, si hacemos una comparación del gasto diario de los tratamientos con lo que menciona el autor Pino et al., (2013), si se considera la mitad del requerimiento (2.5 L / día), serian 325 L / planta / 130 días. En cambio nuestro gasto por planta es de 0.506 L / día, por lo tanto, seria 65.78 L / planta / 130 días y en los tratamientos con riego controlado

37.95 L / planta / 75 días, nuestro gasto de agua está por debajo del mencionado por los autores.

3.6 Rendimiento final de la cosecha de frambuesa

El análisis de varianza (ANOVA) mostró que, en el rendimiento final, no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), debido a que el valor de probabilidad ($p = 0.1269$) fue mayor al nivel de significancia establecido en el programa SAS ($\alpha = 0.05$). Esto indica que los tratamientos evaluados presentaron un comportamiento estadísticamente similar con respecto al rendimiento obtenido. Por lo tanto, la hipótesis nula no se rechaza, concluyéndose que no existieron diferencias estadísticas significativas en dichos tratamientos respecto al variable rendimiento.

Cuadro 4. Análisis de varianza (ANOVA) de del rendimiento final de los tratamientos.

Origen	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	4	522868.800	130717.200	2.33	0.1269
Error	10	561300.963	56130.096		
Total, corregido	14	1084169.764			

Aunque los tratamientos evaluados presentaron diferencias numéricas en el rendimiento, el análisis de varianza no detectó diferencias estadísticas. Este comportamiento puede atribuirse a diversos factores relacionados con la variabilidad experimental, el tamaño de muestra o las condiciones del cultivo.

De igual manera el número de repeticiones utilizadas en el experimento pueden afectar el análisis estadístico que un número reducido de repeticiones disminuye la precisión experimental y limita la capacidad para detectar diferencias estadísticas entre tratamientos, debido a que el error experimental puede ser mayor que las diferencias reales entre medias (Montgomery, 2017). Por lo tanto la precisión de un experimento aumenta conforme se incrementa el número de repeticiones, ya que se reduce el error experimental y mejora la estimación de las medias de los tratamientos (Steel et al., 1997).

La ausencia de diferencias estadísticas significativas en el rendimiento final de la frambuesa, constituye un hallazgo relevante donde se demuestra que los tratamientos T4 y T5 con riego reducido, en comparación con el riego completo (T1, T2 y T3), no ocurrió un colapso fisiológico ni hubo mermas de forma estadísticamente significativas en la producción de las plantas.

Por lo tanto, este resultado puede atribuirse a que el cultivar Malu tiene una notable resiliencia y plasticidad adaptativa frente a periodos de restricción hídrica bajo condiciones protegidas. Autores como Pino *et al.* (2013) señalan que los arbustos de ramificación perenne, como los del género *Rubus*, activan mecanismos de ajuste osmótico y regulación estomática cuando se enfrentan a un déficit controlado, lo que optimiza la Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) sin alterar severamente la tasa fotosintética ni el traslocamiento de fotoasimilados hacia los sumideros principales, representados por los frutos en maduración (Pino *et al.*, 2013).

3.7 Comparación de medias de los tratamientos

La comparación de medias mostró que el tratamiento 1 (Con producto N-Algax + Riego Completo) presentó el mayor rendimiento promedio (2371.20 g), mientras que el tratamiento 3 (Sin producto N-Algax + Riego Completo) registró el menor valor (1813.03 g). Los tratamientos 2 (Sin producto N-Algax + Riego Completo) y el 4 (Con producto N-Algax + Riego Reducido) mostraron comportamientos

intermedios y similares entre sí (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Aunque numéricamente se observaron diferencias entre tratamientos, el análisis estadístico indicó que dichas variaciones no fueron significativas ($p > 0.05$), lo que sugiere que los tratamientos presentaron un comportamiento estadísticamente similar bajo las condiciones del experimento.

Cuadro 5. Comparación entre medias de los tratamientos.

Tratamiento	Riego	Producto	Plaga	Medias
1	Completo	Si	Si	2371.20
2	Completo	No	Si	2068.57
4	Reducido	Si	Si	2046.03
5	Reducido	No	Si	1928.73
3	Completo	No	No	1813.03

Por otra parte, el desempeño del Tratamiento 4 (Riego Reducido + Con N-Algax + Con Plaga) adquiere una relevancia importante para los objetivos de esta investigación, ya que su rendimiento promedio (2046.03 g) fue prácticamente equivalente al del Tratamiento 2 (2068.57 g), el cual dispuso de un suministro hídrico completo. Esta semejanza productiva corrobora que la aplicación del bioestimulante a base de algas marinas logró contrarrestar con éxito el impacto negativo de la restricción de agua.

Al respecto, Shukla *et al.* (2019) reportan que las aplicaciones foliares y en drench de extractos de algas contienen precursores químicos y elicitores que mimetizan la acción de las citoquininas endógenas. Estas moléculas mitigan la senescencia celular prematura provocada por el cierre estomático en regímenes de riego reducido y aumentan la retención de agua en las vacuolas celulares del fruto (Shukla *et al.*, 2019). De este modo, la acción protectora de 'N-Algax' reconfiguró

el estatus hídrico celular en el T4, permitiéndole competir numéricamente con plantas que no sufrieron escasez de agua (T2).

3.8 Distribución y dispersión de los tratamientos

El diagrama de cajas (Figura 4) mostró diferencias numéricas entre tratamientos respecto al rendimiento; sin embargo, se observó un traslape importante entre las distribuciones de los tratamientos, indicando una alta variabilidad experimental. El tratamiento 1 presentó la media más alta y menor dispersión de datos, mientras que el tratamiento 3 mostró mayor variabilidad y el menor rendimiento promedio. Esta distribución explica la ausencia de diferencias estadísticas significativas detectadas por el análisis de varianza.

El autor menciona que cuando existe un amplio traslape entre las distribuciones de los tratamientos, las diferencias entre medias pueden no resultar estadísticamente significativas debido a la alta variabilidad experimental (Montgomery, 2017).

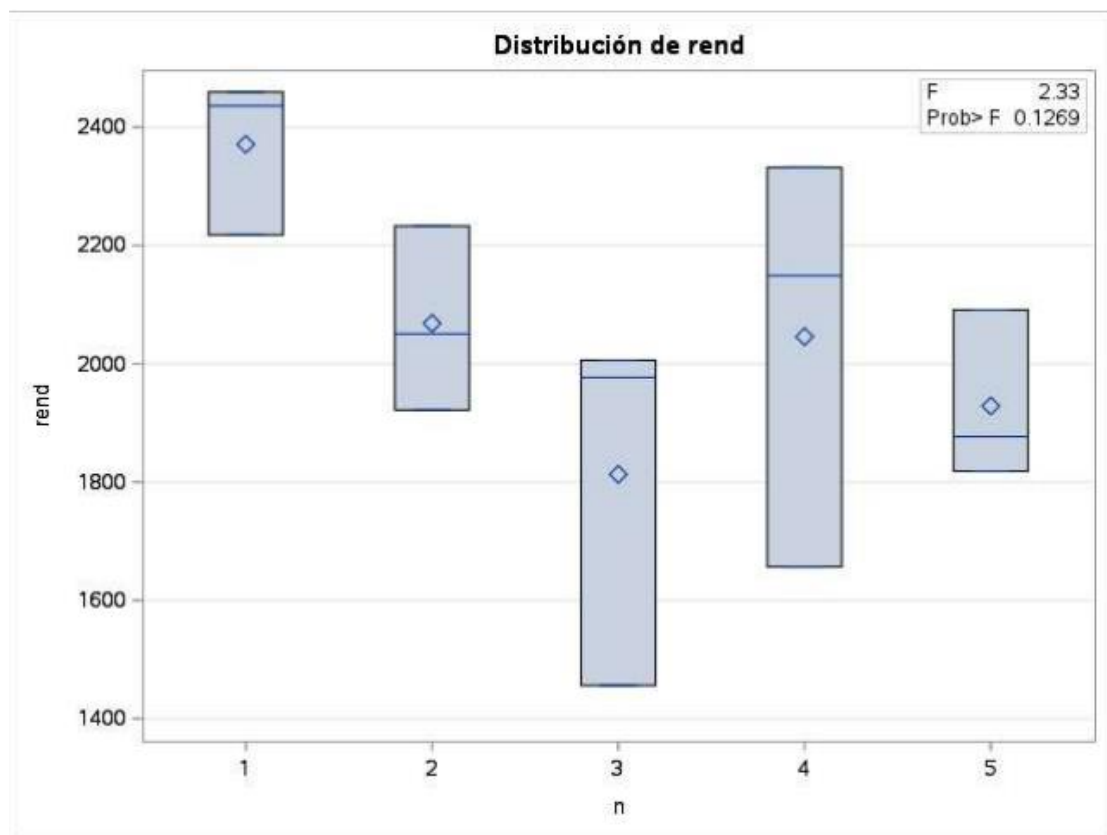
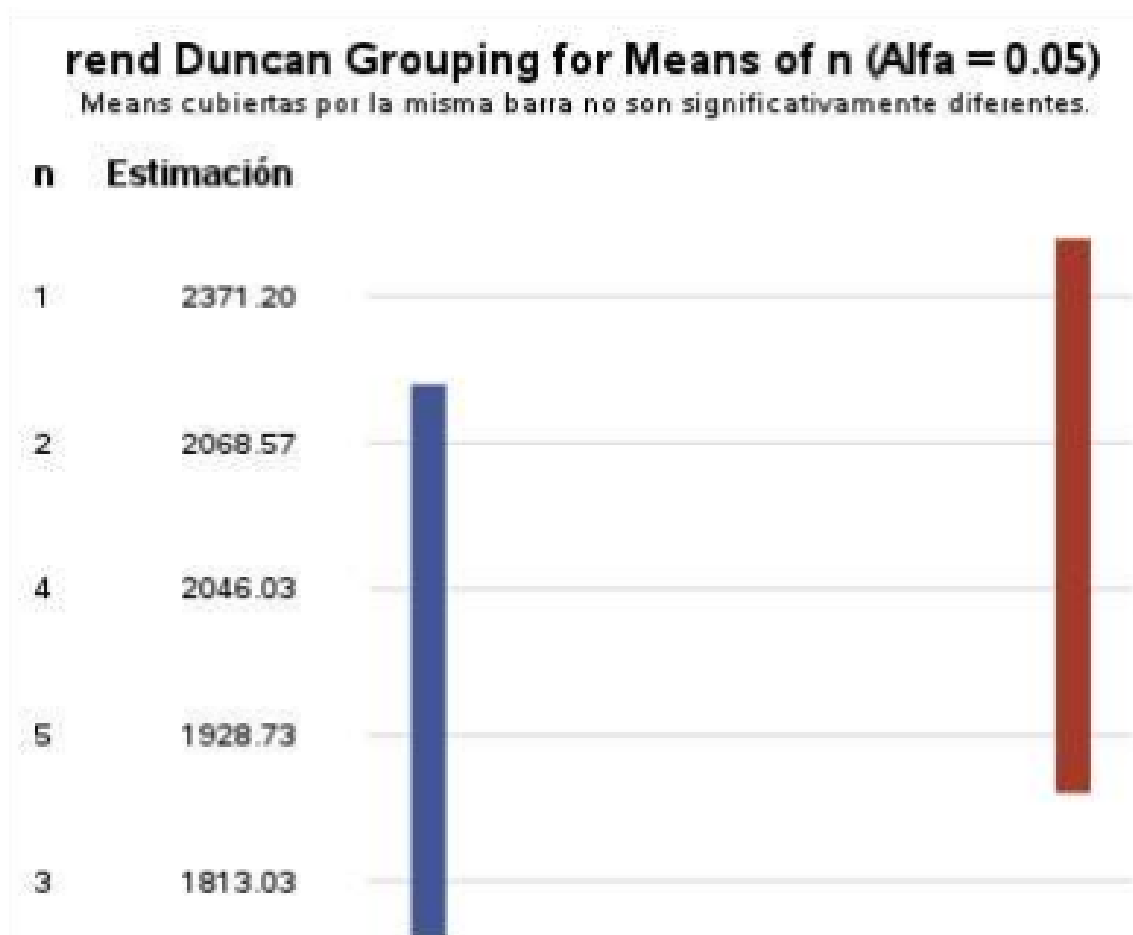


Figura 4. Diagramas de cajas de los tratamientos en campo.

3.9 Prueba de comparación múltiple de DUNCAN

La prueba de comparación múltiple de Duncan (

) mostró una tendencia de agrupación entre tratamientos respecto al rendimiento. El tratamiento 1 presentó la media más alta (2371.20), mientras que el tratamiento 3 registró el menor valor promedio (1813.03). El tratamiento 5 actuó como un grupo intermedio al compartir similitud estadística con ambos grupos. Sin embargo, debido a que el análisis de varianza no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$), estas agrupaciones deben interpretarse únicamente como tendencias numéricas y no como diferencias concluyentes entre



tratamientos

Figura 5. Tendencia de agrupación en los tratamientos.

Como explican Kaps y Lamberson (2017), la prueba de Duncan es un algoritmo de protección laxa diseñado para maximizar la detección de diferencias verdaderas mediante el uso de rangos significativos dependientes del número de medias comparadas; esto la hace propensa a cometer errores de Tipo I (falsos positivos) si se aplica sin la restricción de un valor de F significativo, por lo tanto, el solapamiento observado entre los grupos confirma que el modelo lineal generalizado no logró separar los efectos fijos debido a la magnitud de la varianza del error residual (Kaps y Lamberson, 2017).

A pesar de la falta de significancia, la tendencia de agrupación aporta información valiosa sobre el comportamiento de las variables bióticas y abióticas. El hecho de que el Tratamiento 5 se desplace hacia el centro de las agrupaciones sugiere un punto de equilibrio fisiológico. Cuando se evalúan interacciones complejas en sistemas protegidos (riego vs. nutrición vs. plagas), las plantas sometidas a un estrés moderado entran en una meseta de conservación metabólica (Creamer *et al.*, 2021). Esta respuesta adaptativa suaviza las diferencias extremas, provocando que los tratamientos intermedios compartan características de dispersión con el testigo y con los tratamientos bioestimulados, un fenómeno común en investigaciones de manejo integrado de plagas hortícolas (Mead *et al.*, 2012).

Mientras tanto los resultados de la prueba de Duncan operan como un indicador de la dirección que toman los tratamientos en campo. Sugieren que el Tratamiento 1 y el Tratamiento 4 (Riego Reducido + Con N-Algax) podrían consolidarse de forma definitiva como alternativas viables frente a los esquemas convencionales, demostrando que la bioestimulación de algas marinas altera positivamente el patrón productivo de la frambuesa aún bajo restricciones hídricas programadas.

3.10 Relación estrés hídrico con el producto N-Algax

Los tratamientos sometidos a estrés hídrico presentaron una tendencia a reducir el rendimiento, particularmente cuando no se aplicó el producto (**Error! No se**

encuentra el origen de la referencia.). Asimismo, los tratamientos con aplicación del producto mostraron valores de rendimiento superiores respecto a aquellos sin aplicación, lo que sugiere un posible efecto favorable sobre el desarrollo productivo del cultivo.

Cuadro 6. Comparación de los tratamientos con su variable.

Tratamiento	Estrés Hídrico	Producto N-Algax	Plaga	Rendimiento (g/planta)
1	No	Si	Si	2371.0 ± 76.9
2	No	No	Si	2069.0 ± 90.3
3	No	No	No	1813.0 ± 178.6
4	Si	Si	Si	2046.0 ± 201.7
5	Si	No	Si	1929.0 ± 82.9
				No hay diferencias significativas al 0.05

La capacidad de N-Algax ayuda a mitigar este declive productivo en el Tratamiento 4 radica en el aporte exógeno de elicitores metabólicos y osmoprotectores. De acuerdo con Carvalho *et al.* (2020), los fitocomponentes derivados de macroalgas tales como betainas, manitol y polisacáridos complejos (alginatos y fucoidanos) actúan como reguladores osmóticos no tóxicos a nivel citoplasmático, estas moléculas incrementan el potencial de turgencia celular de los tejidos foliares sin necesidad de un cierre estomático radical, permitiendo que la planta mantenga niveles estables de intercambio gaseoso y fijación de carbono aún bajo condiciones de disponibilidad hídrica restrictiva (Carvalho *et al.*, 2020).

Asimismo, la superioridad numérica del Tratamiento 1 (Riego Completo + Con N-Algax) frente al Tratamiento 2 (Riego Completo + Sin N-Algax) bajo condiciones de suficiencia hídrica confirma que las bondades de este insumo experimental no se restringen únicamente a escenarios de estrés. Como menciona que los bioestimulantes marinos desencadenan una activación en cascada de enzimas

antioxidantes (como la superóxido dismutasa y la catalasa) y optimizan la expresión genética de transportadores de membrana en la raíz, potenciando la asimilación de la solución nutritiva e incrementando el peso unitario del fruto a través de una división celular más vigorosa durante la etapa de post-antesis (Shukla *et al.*, 2019).

3.11 Conclusiones

La aplicación del producto N-Algas no generó diferencias significativas en el rendimiento final del cultivo de frambuesa; sin embargo, numéricamente se observó una tendencia favorable en los tratamientos donde se aplicó el producto bajo condiciones de riego completo.

Por lo tanto:

Respecto a H0 (Se acepta): Demuestras formalmente que no existen diferencias estadísticas significativas en el rendimiento de la frambuesa entre los diferentes regímenes de riego y la aplicación de N-Algas. Todos los tratamientos tuvieron un comportamiento estadísticamente equivalente.

Respecto a H1 (Se rechaza): Se descarta la hipótesis de que la restricción hídrica o la presencia de la plaga provocarían una caída severa o un cambio estadísticamente significativo en la producción final bajo el esquema evaluado.

Los tratamientos sometidos a estrés hídrico presentaron una tendencia a disminuir el rendimiento, lo que evidencia disponibilidad de agua sobre el desarrollo productivo del cultivo. No obstante, en los tratamientos con restricción hídrica, la aplicación de N-Algas permitió mantener rendimientos ligeramente superiores en comparación con aquellos donde no se aplicó el producto, sugiriendo un posible efecto benéfico sobre la tolerancia del cultivo al estrés hídrico.

Por otra parte, la reducción del riego mediante el control de válvulas demostró ser una estrategia eficiente para regular la disponibilidad hídrica en el sistema de producción de frambuesa, lo que nos permite generar un ahorro neto del 42.6%

de agua, manteniendo el desarrollo y la producción del cultivo bajo condiciones de menor aporte hídrico. Sin embargo, aunque este manejo favoreció la eficiencia en el uso del agua y permitió la supervivencia y mantenimiento fisiológico de las plantas, no fue suficiente para incrementar significativamente el rendimiento final del cultivo bajo las condiciones evaluadas.

Los regímenes de riego (completo y reducido) y la aplicación del bioestimulante N-Algax no modifican de forma estadísticamente significativa ($p = 0.1269$) el rendimiento final del cultivar Malu, aceptándose la hipótesis nula debido a la alta variabilidad experimental y al traslape de las distribuciones.

El cultivar de frambuesa Malu tiene una notable plasticidad adaptativa y resiliencia fisiológica frente al déficit hídrico intermitente, logrando sostener sus componentes de rendimiento basal sin manifestar colapso productivo.

3.12 Literatura citada

- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383(1–2), 3–41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>
- Carrillo-Huerta, M. M., & Gómez-Bretón, E. (2020). La tecnología en el uso sostenible del agua para riego en México: El caso del acuífero de Tecamachalco, Puebla, 2017. *Panorama Económico*, 15(30), 27–56. <https://doi.org/10.29201/pe-ipn.v15i30.250>
- Carvalho, M. E. A., Castro, P. R. C., & Size, M. (2020). Seaweed extracts as mitigating agents for abiotic stress in high-value horticultural crops: Mechanisms and future perspectives. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39(2), 642–657. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-10006-z>
- Creamer, R., Santos, F., & Martinez, J. (2021). Microclimate interactions and yield compensation mechanisms under protected horticulture: A review. *Scientia Horticulturae*, 288, Artículo 110345. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110345>
- Jennings, D. L. (1988). *Raspberries and blackberries: Their breeding, diseases and growth*. Academic Press.
- Kaps, M., & Lamberson, W. R. (2017). *Biostatistics for animal and plant science* (2nd ed.). CABI Publishing.
- López-Medina, M. S., Neri-Ramírez, E., Rodríguez-Morán, H. M., & Hernández-Pérez, A. A. (2024). La importancia de los sistemas de riego para el uso eficiente del agua en la agricultura. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 3507–3525. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.12587

- Mead, R., Curnow, R. N., & Hasted, A. M. (2012). Statistical methods in agriculture and experimental biology (4th ed.). CRC Press.
- Montgomery, D. C. (2017). Design and analysis of experiments (9th ed.). John Wiley & Sons.
- Morales, C. (2017). Requerimientos climáticos e hídricos del cultivo de frambuesa (*Rubus idaeus* L.). En Instituto Nacional de Innovación Agraria (Ed.), Guía técnica de manejo agronómico del cultivo de frambuesa en la costa del Perú (pp. 15–28). INIA.
- Pino, M. T., Morales, C. G., Del Pozo, A., & Silva, H. (2013). Phenological and physiological responses to drought stress and subsequent rehydration cycles in two raspberry cultivars. *Scientia Horticulturae*, 162, 234–241. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.07.025>
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Biostimulants in agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11, Artículo 40. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>
- Shukla, P. S., Martin, E. G., Prithiviraj, B., & Critchley, A. T. (2019). Marine macroalgae extracts as biostimulants in modern agriculture: Structure, production and mechanisms of action. *Journal of Applied Phycology*, 31(4), 2137–2155. <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01742-w>
- Steel, R. G. D., Torrie, J. H., & Dickey, D. A. (1997). Principles and procedures of statistics: A biometrical approach (3rd ed.). McGraw-Hill.

CAPÍTULO 4. PREPARACIÓN DE LOS EXTRACTOS VEGETALES HIDRO-ETÍLICOS Y ACUOSOS PARA DETERMINAR LA EFECTIVIDAD BIOLÓGICA A DIFERENTES CONCENTRACIONES, MEDIANTE LA CUANTIFICACIÓN DEL PORCENTAJE DE MORTALIDAD DE *Drosophila suzukii*.

4.1 Resumen

Con el objetivo de evaluar la efectividad biológica de extractos vegetales sobre la mosca de las alas manchadas, *Drosophila suzukii*, se desarrollaron bioensayos a base de tejidos vegetales deshidratados a 60 °C para concentrar sus metabolitos secundarios. En una primera fase, se realizó una prueba de letalidad donde los extractos hidro etílicos demostraron una alta eficacia biocida en comparación con las infusiones acuosas (las cuales presentaron eficacias inferiores al 10% y fueron descartadas).

Para las pruebas de laboratorio, se prepararon soluciones stock a partir de la cuantificación de materia seca, aplicando diluciones seriadas decimales (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}) evaluadas mediante dos métodos de exposición (aspersión directa e inmersión del fruto) bajo un diseño completamente al azar, usando spinetoram como testigo positivo y el solvente al 70% como testigo negativo. A las 72 horas de exposición, el método de aspersión mostró diferencias estadísticas altamente significativas ($F = 15.255$; $p = 3.80 \times 10^{-32}$). La prueba de Duncan demostró que el extracto hidro etílico de tabaco (*Nicotiana tabacum*) aplicado por aspersión a 10,500 ppm logró el 100% de mortalidad, superando significativamente al testigo negativo ($p = 0.0008$), mientras que el extracto de hoja de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) a 9,000 ppm alcanzó un 83.3% de mortalidad ($p = 0.0029$), conformando los tratamientos más competitivos frente al testigo químico. En contraste, mediante la inmersión del fruto, solo el testigo químico se segregó significativamente ($p < 0.0001$).

Se concluye que el solvente hidroetanólico optimiza la extracción de fitoquímicos insecticidas, confiriendo a los extractos de tabaco y hoja de eucalipto aplicados por aspersión un alto potencial biorracional para su inclusión en programas de manejo integrado de esta plaga.

Palabras clave: Tabaco, eucalipto, efectividad, aspersión, extractos.

4.2 Introducción

La rápida dispersión global de *Drosophila suzukii* ha modificado drásticamente los esquemas de protección vegetal en el cultivo de la frambuesa. A diferencia de los drosofilidos nativos, esta especie ataca la fruta en fases críticas de maduración comercial, donde la tolerancia a daños estéticos y fitosanitarios es nula (Asplen *et al.*, 2015). Debido a que las larvas se desarrollan en el interior de la pulpa, el manejo integrado de esta plaga enfrenta la urgente necesidad de diseñar herramientas biorracionales que actúen de manera inmediata sobre las poblaciones de adultos, interrumpiendo de esta forma los ciclos de oviposición antes de que ocurra la colonización interna del tejido frutal (Walsh *et al.*, 2011).

Aunque los insecticidas sintéticos continúan dominando las estrategias de control en sistemas de agricultura protegida, la acumulación de residuos químicos en las berries limita su viabilidad comercial en los mercados internacionales de exportación (Cini *et al.*, 2012). Bajo este panorama, la evaluación de metabolitos secundarios procedentes de matrices botánicas representa una línea de investigación prioritaria, donde especies vegetales como el tabaco (*Nicotiana tabacum*), el eucalipto (*Eucalyptus* spp.) y la higuera (*Ricinus communis*) poseen complejos fitoquímicos evolutivos compuestos por alcaloides, monoterpenos y ricininas, cuya principal función ecológica es la defensa activa frente a insectos fitófagos (Isman, 2020).

La selección del agente extractor define la calidad de la solución; los solventes orgánicos polares, como el etanol empleado en los sistemas hidroetanólicos, facilitan la solubilización y desorción de moléculas lipofílicas y polifenoles

complejos con capacidad insecticida, superando de manera contundente la baja afinidad y el reducido rendimiento que reportan las extracciones puramente acuosas (Rattan, 2010).

Para que un bioinsumo demuestre viabilidad técnica en campo, debe determinarse su efectividad biológica bajo diferentes metodologías de aplicación que emulen las condiciones productivas reales, por lo tanto el método de aspersión directa busca evaluar la toxicidad por contacto y la penetración cuticular de los compuestos bioactivos sobre el exoesqueleto del insecto adulto (Regnault-Roger *et al.*, 2012).

4.3 Materiales y métodos

4.3.1 Ubicación de los experimentos

El estudio de evaluación de bioensayos con extractos vegetales para el control de *Drosophila suzukii* en el cultivo de frambuesa bajo un riego controlado; se realizó en el Laboratorio de Investigaciones en Biodiversidad y Biotecnología Agrícola, se llevó a cabo las evaluaciones de los bioensayos y la cría de *Drosophila suzukii*, ubicado en el edificio H del Departamento de Preparatoria Agrícola en la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco de Mora, Estado de México, con coordenadas geográficas 19°29'23" LN y 98°53'37" LW.

4.3.2 Obtención de extractos vegetales hidro etílicos

Para la elaboración de los extractos hidro-etílicos, se realizó la colecta de tejido vegetal fresco según la especie vegetal evaluada como: Cempasúchil Flores; Eucalipto Hojas; Eucalipto Frutos; Higuera Hojas y Tabaco con una de distintos tejidos incluyendo hojas, tallos, flores y frutos, el tejido vegetal colectado se pesó para calcular el porcentaje de humedad que estas contenían. El material recolectado fue sometido a un proceso de lavado con agua destilada, con el propósito de eliminar impurezas, residuos de suelo y cualquier agente contaminante que pudiera interferir en la calidad o composición de las muestras,

de esta manera evitando posibles alteraciones en la concentración de los compuestos bioactivos presentes en los tejidos vegetales

Posteriormente, el material vegetal se colocó sobre parrillas de escurrimiento, durante 24 horas para eliminar el exceso de humedad superficial que el tejido contenía, una vez realizado esto, el tejido vegetal se distribuyó en charolas de aluminio de forma adecuada; dichas charolas se introdujeron a hornos de secado a una T° máxima de 60°C , para eliminar el exceso de humedad del tejido vegetal con un porcentaje de humedad lo menor posible, al realizar esta actividad eliminamos el volumen de agua, concentrando los compuestos bioactivos (metabolitos secundarios) presentes en los tejidos, permitiendo de esta manera obtener condiciones adecuadas para el proceso de extracción (maceración).

El tiempo de secado varía entre especie y por su puesto entre el tipo de tejido vegetal colectado, cuando el tejido son hojas el tiempo de secado aproximado es de 30 horas (Eucalipto Hojas, Higuierilla Hojas); el de flores es de 35 a 40 horas (Cempasúchil Flores) y en el caso de tallos y frutos varia en gran medida dependiendo a que tan alta sea la densidad de los tejidos, el tiempo de secado aproximado es de 60 a 90 horas como en el caso de Eucalipto Frutos y Tabaco mezclado.

Se pesaron 500g de tejido vegetal seco, a los que se les agrego 500 ml de agua destilada para facilitar la maceración del tejido, para esto se ocupó una licuadora industrial, para facilitar el proceso de elaboración, una vez que las hojas se molieron se obtuvo un tipo de pasta, la cual se colocó en un frasco de vidrio con capacidad de 1L y se le añadieron 500 ml de alcohol, se agitó y se guardó en un lugar oscuro dejando reposar durante tres días. Cabe mencionar que en algunos casos el tejido vegetal no fue suficiente para llegar al pesaje indicado, por lo tanto, lo que pesara el tejido vegetal seco, tenia que se su equivalente en agua y alcohol para tener una proporción adecuada.

Transcurridos tres días de reposo, la mezcla obtenida fue sometida a un proceso de filtración utilizando gasas y una coladera, con la finalidad de separar los residuos sólidos del extracto líquido. Posteriormente, se realizó una evaluación

del volumen obtenido. El extracto recolectado se transfirió a recipientes previamente desinfectados y herméticamente sellados para evitar contaminación y pérdida de compuestos volátiles. Finalmente, cada muestra fue etiquetada y almacenada en un lugar fresco, seco y protegido de la luz hasta su posterior utilización en los bioensayos.

Cálculos para obtener el porcentaje de humedad de los tejidos vegetales Hidro
Etílicos:

$$\text{La Ecuación (1) muestra \% Humedad} = \left(\frac{\text{Pesofresco} - \text{Peso seco}}{\text{Pesofresco}} \right) \times 100$$

$$\text{Eucalipto Hoja} = \left(\frac{2031.7 \text{ g} - 953.4 \text{ g}}{2031.7 \text{ g}} \right) \times 100 = 53.07 \%$$

$$\text{Eucalipto Fruto} = \left(\frac{417.1 \text{ g} - 200 \text{ g}}{417.1 \text{ g}} \right) \times 100 = 52.4 \%$$

$$\text{Higuerilla Hoja} = \left(\frac{1290 \text{ g} - 684.4 \text{ g}}{1290 \text{ g}} \right) \times 100 = 46.94 \%$$

$$\text{Tabaco} = \left(\frac{2103.6 \text{ g} - 1000 \text{ g}}{2103.6 \text{ g}} \right) \times 100 = 52.46 \%$$

$$\text{Cempasúchil Flor} = \left(\frac{1210 \text{ g} - 675.2 \text{ g}}{1210 \text{ g}} \right) \times 100 = 44.19\%$$

Cálculos para obtener el volumen final de los extractos:

Higuerilla Hojas = 500gr + 500ml + 500ml= 568 ml de extracto.

Eucalipto Hojas = 500gr + 500ml + 500ml= 600 ml de extracto

Eucalipto Frutos = 200gr + 200ml + 200ml= 180 ml de extracto

Tabaco = 500gr + 500ml + 500ml= 790 ml de extracto.

Cempasúchil Flor = 175gr + 175ml + 175ml= 334 ml de extracto.

4.3.3 Obtención de extractos vegetales acuosos

Para la elaboración de los extractos acuoso, se realizó la colecta de tejido vegetal fresco según la especie evaluada como: Cempasúchil Hojas; Cempasúchil Flores; Pirul Hojas y Pirul Frutos, el tejido vegetal colectado se pesó para calcular el porcentaje de humedad que estas contenían. El material recolectado fue sometido a un proceso de lavado con agua destilada, con el propósito de eliminar impurezas, residuos de suelo y cualquier agente contaminante que pudiera interferir en la calidad o composición de las muestras, de esta manera evitando posibles alteraciones en la concentración de los compuestos bioactivos presentes en los tejidos vegetales

Posteriormente, el material vegetal se colocó sobre parrillas de escurrimiento, durante 24 horas para eliminar el exceso de humedad superficial que el tejido contenía, una vez realizado esto, el tejido vegetal se distribuyó en charolas de aluminio de forma adecuada; dichas charolas se introdujeron a hornos de secado a una T° máxima de 60°C, para eliminar el exceso de humedad del tejido vegetal con un porcentaje de humedad lo menor posible, al realizar esta actividad eliminamos el volumen de agua, concentrando los compuestos bioactivos (metabolitos secundarios) presentes en los tejidos, permitiendo de esta manera obtener condiciones adecuadas para el proceso de extracción (maceración).

El tiempo de secado varía entre especie y por su puesto entre el tipo de tejido vegetal colectado, cuando el tejido son hojas el tiempo de secado aproximado es de 30 horas (Cempasúchil Hojas, Pirul Hojas); el de flores es de 35 a 40 horas (Cempasúchil Flores) y en el caso de tallos y frutos varia en gran medida dependiendo a que tan alta sea la densidad de los tejidos, el tiempo de secado aproximado es de 60 a 90 horas como en el caso de Pirul Fruto.

Se pesaron 500g de tejido vegetal a los que se les agrego 5 L de agua destilada, estos ingredientes se colocaron en una olla casera para su hervor durante 5 minutos. Pasado el tiempo, se retiró de la estufa dejándola reposar por 3 horas para su lento enfriamiento, la mezcla de materia y agua se colocó en un recipiente desinfectado con sello hermético para evitar la pérdida de gases, la entrada de

aire o pérdida de partículas, se dejó reposar por tres días en un lugar oscuro, cabe mencionar que durante el tiempo de reposo de la mezcla dos veces al día se debía agitar para fomentar la liberación de los metabolitos secundarios en la infusión, de esta manera haciendo más concentrado el extracto, al cabo de los tres días con ayuda de un embudo y gasas se filtró la mezcla que habíamos realizado y se guardó en garrafones de 5 L a los cuales se etiquetaron para su identificación, se colocaron en un lugar oscuro para su almacenaje hasta su uso.

Cálculos para obtener el porcentaje de humedad de los Tejidos Vegetales Acuáticos:

La Ecuación (2) muestra el % Humedad= $\left(\frac{\text{Peso fresco} - \text{Peso seco}}{\text{Peso fresco}} \right) \times 100$

$$\text{Pirul Hoja} = \left(\frac{2102.6 \text{ g} - 1214.7 \text{ g}}{2102.6 \text{ g}} \right) \times 100 = 42.22 \%$$

$$\text{Pirul Fruto} = \left(\frac{1019.5 \text{ g} - 505.4 \text{ g}}{1019.5 \text{ g}} \right) \times 100 = 50.42 \%$$

$$\text{Cempasúchil Hoja} = \left(\frac{1025 \text{ g} - 595.8 \text{ g}}{1025 \text{ g}} \right) \times 100 = 41.87 \%$$

$$\text{Cempasúchil Flor} = \left(\frac{1210 \text{ g} - 675.2 \text{ g}}{1210 \text{ g}} \right) \times 100 = 44.19 \%$$

Cálculos para obtener el volumen final de los extractos:

Pirul Hojas = 500gr + 5 L = 2.680 L de extracto.

Pirul Frutos = 500gr + 5 L = 3.043 L de extracto

Cempasúchil Hojas = 500gr + 5 L = 1.48 L de extracto.

Cempasúchil Flor = 175gr + 5 L = 2.78 L de extracto.

4.4 Colecta de *Drosophila suzukii* en el cultivo de frambuesa

La colecta de *Drosophila suzukii* se realizó en una plantación comercial de frambuesa, la cual tiene un área productiva de 80 ha en diferentes etapas fenológicas para tener producción durante todo el año; dichas plantaciones se ubicaban en el pueblo San Clemente en el municipio de Pedro Escobedo, Querétaro. La colecta se realizó en el periodo de fructificación del cultivo, donde hay más presencia de la plaga, durante el mes de junio del 2025.

Se recolectaron frutos de buen aspecto (firmes, sanos, turgentes, pigmentación) pero con síntomas visibles de oviposición o daño físico ocasionado por la presencia de la plaga, así como frutos sobre maduros presentes en los primeros racimos de las plantas o en la superficie del suelo como consecuencia de su caída, estos frutos están infestados de larvas a días de pupar, se colectó 1 kg de frutos de diferentes lotes de producción para diversificar la muestra colectada y de esta manera llevar hospederos en diferentes etapas de crecimiento. Se colocaron en recipientes desinfectados, cerrados con una malla fina para permitir la respiración de las larvas o pupas, se colocaron sanitas con agua azucarada para conservar la humedad de los frutos y evitar su deshidratación.

Para la recolección de adultos de *Drosophila suzukii* utilizamos una red de recolección, se colectaron en la parte basal y superior de las plantas, donde había más presencia de moscas, los individuos capturados se colocaron en frascos de vidrio desinfectados, cerrados con una malla fina para permitir la respiración de las moscas, se colocaron sanitas con agua azucarada y se agregaron frutos para que los adultos pudieran alimentarse durante su transporte al área de estudio. En el laboratorio se colocaron en jaulas de malla fina para su adaptación y proliferación de la plaga.

La identificación taxonómica de *Drosophila suzukii* se realizó con base en características morfológicas descritas en claves taxonómicas, considerando principalmente la presencia de manchas oscuras en el ápice de las alas de los machos y el ovipositor aserrado en las hembras.

4.5 Cría y acondicionamiento de *Drosophila suzukii* para pruebas biológicas

Los adultos de *Drosophila suzukii* obtenidos a partir de la colecta realizada en una plantación comercial de frambuesa ubicada en San Clemente, municipio de Pedro Escobedo, Querétaro. Se efectuó durante el periodo de la cosecha del cultivo, etapa en la que se presenta mayor cantidad de frutos susceptibles por el ataque de la plaga.

Después de dicha colecta, los insectos fueron trasladados al laboratorio de Investigaciones en Biodiversidad y Biotecnología Agrícola, ubicado en el edificio H del Departamento de Preparatoria Agrícola en la Universidad Autónoma Chapingo. Mantenidos bajo condiciones controladas para su adaptación y conservación hasta el momento de los bioensayos. Durante este periodo se procuró mantener condiciones ambientales estables, con el fin de reducir el estrés de los organismos y favorecer su supervivencia.

Se colocaron en jaulas rectangulares de malla fina, con las dimensiones de 40 x 20 x 20 cm, en dichas jaulas se llevó a cabo la cría y adaptación de las moscas y larvas. Se procuraba que en cada jaula hubiera una población de 200 a 400 individuos para facilitar su manejo.

Tanto a los adultos y larvas se alimentaban con frutos de frambuesa maduros, no se les cambio la dieta para evitar el estrés en los individuos, en cajas Petri colocábamos una sanita, la cual humedecíamos con agua azucara y la cantidad de aproximada de 5 a 10 frutos, dependiendo de su tamaño, dos veces por semana.

Los frutos que introducíamos para la alimentación de los adultos en cajas Petri, los separábamos en jaulas diferentes para el desarrollo de las larvas y para su metamorfosis a pupa, se etiquetaban adecuadamente para saber en qué etapa de desarrollo se encontraban las muestras (Figura 6).

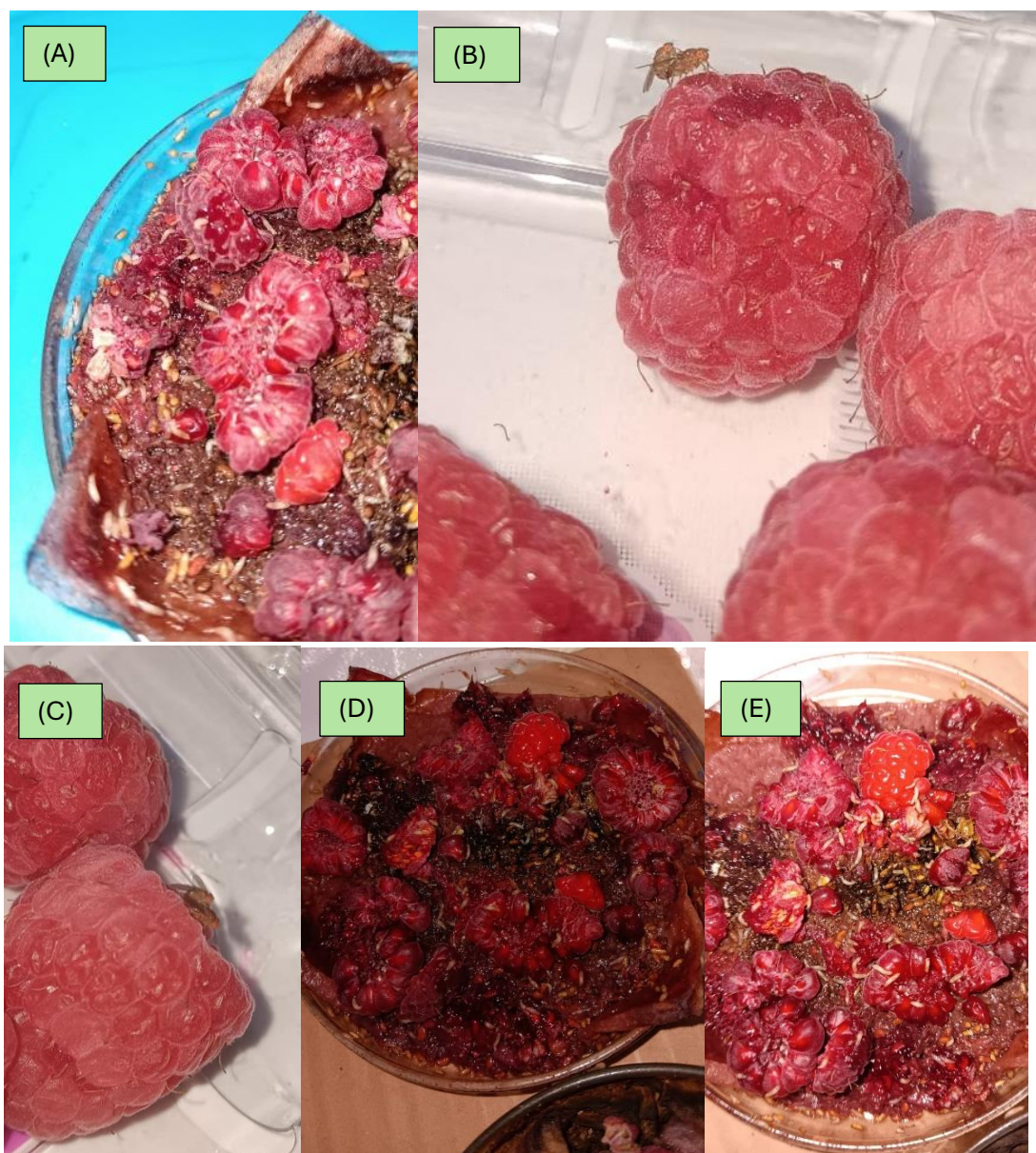


Figura 6. A) Larvas y pupas en proceso de metamorfosis; B y C) Reproducción de adultos; D y E) Larvas en diferentes instares.

4.6 Metodología de bioensayos con adultos de *Drosophila suzukii*

Para el bioensayo se utilizaron adultos de *Drosophila suzukii* obtenidos de la colecta realizada anteriormente y mantenidos bajo condiciones controladas de laboratorio para su adaptación y mantenimiento. Los insectos empleados

presentaron edad y tamaño homogéneos para disminuir la variabilidad experimental.

Con el propósito de determinar si el extracto vegetal presentaba efecto de control sobre *Drosophila suzukii*, inicialmente se realizó una prueba de letalidad al 50%, con la finalidad de evaluar la eficiencia del extracto en el control de esta plaga.

Para ello, de cada extracto se tomaron 50 ml de solución, dependiendo del tipo de extracto, éste se encontraba diluido en alcohol o en agua destilada. Posteriormente, los 50 ml del extracto se mezclaron con 50 ml de agua corriente, obteniendo una solución homogénea con una concentración final de 50% extracto y 50% agua como se muestra en la Figura 7.

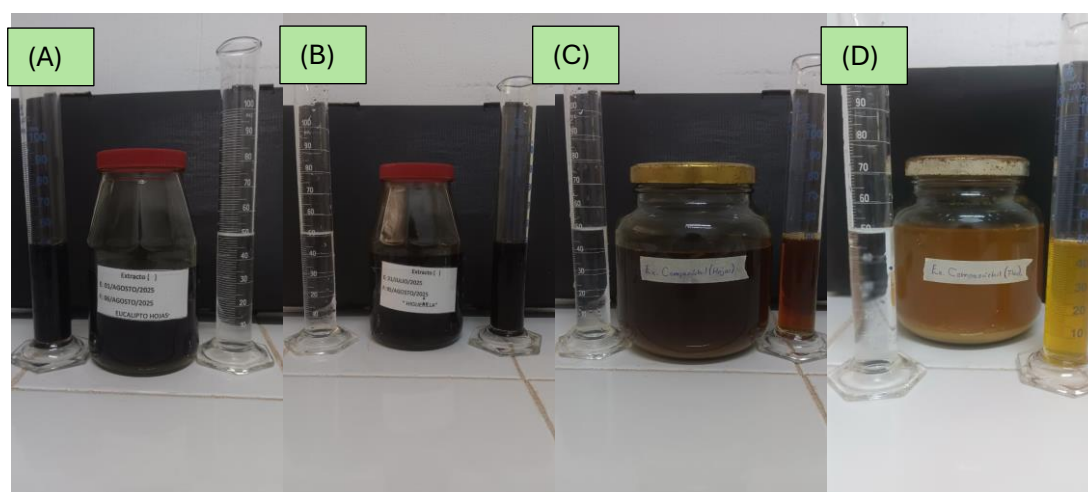


Figura 7. A y B) Extractos hidro etílicos (Eucalipto Hojas e Higuierilla); C y D) Extractos acuosos (Cempasúchil Hojas y Cempasúchil Flor).

La prueba de letalidad se realizó mediante el método de contacto directo utilizando 10 individuos adultos de *Drosophila suzukii*. Las moscas fueron sumergidas en la mezcla preparada durante dos intervalos de tiempo. Cada intervalo tuvo una duración de 40 segundos, obteniendo un tiempo total de exposición de 90 segundos de contacto directo con el extracto. Posteriormente, se evaluó la eficacia del extracto vegetal mediante la observación de la mortalidad de los insectos y el tiempo en que el extracto comenzó a presentar efecto letal. Las observaciones se realizaron durante un periodo de 24 horas posteriores al

contacto de la solución, evaluando el porcentaje de letalidad ocasionado por cada extracto vegetal sobre *Drosophila suzukii*. Los extractos que presentaron una mortalidad inferior al 60% de los individuos, fueron descartados para las siguientes etapas evaluación de los bioensayos, debido a que las concentraciones utilizadas posteriormente en el experimento serían menores, por lo que no se espera un efecto letal significativo sobre la plaga.

4.7 Preparación de concentraciones y evaluación de bioensayos con extractos vegetales para el control de *Drosophila suzukii*.

El extracto hidro-etílico fue preparado utilizando 500 g de materia vegetal seca en una solución compuesta por 500 ml de agua destilada y 500 ml de etanol, obteniéndose un volumen final fue variado. Sin embargo, es importante considerar que el volumen final y el rendimiento de extracción pueden variar entre especies vegetales debido a diferencias en la composición y capacidad de liberación de metabolitos; sin embargo, todas las muestras fueron procesadas bajo la misma metodología experimental.

Las concentraciones utilizadas en los bioensayos fueron expresadas en partes por millón (ppm), debido a que esta unidad permite estandarizar la relación entre la cantidad de materia vegetal utilizada y el volumen total del solvente empleado durante la extracción. Bajo esta relación masa/volumen, la concentración teórica del extracto madre correspondió a g/L, equivalente a ppm.

Metodología para la determinación de la concentración

La concentración de materia seca presente en las soluciones de los extractos vegetales se determinó mediante el método gravimétrico de evaporación del disolvente. Para ello, se utilizó un vaso de precipitados limpio y seco, cuyo peso vacío fue registrado previamente utilizando una balanza analítica (g).

Posteriormente, se transfirieron 10 ml del extracto vegetal al vaso de precipitados y se pesó el volumen final. La muestra se colocó sobre una parrilla de calentamiento ajustada a una temperatura de 50 °C con el fin de favorecer la

evaporación del disolvente sin provocar la degradación térmica de los compuestos presentes en el extracto.

La evaporación se mantuvo hasta la eliminación completa del disolvente y la obtención de un residuo seco. Una vez finalizado este proceso, el vaso de precipitados se dejó enfriar a temperatura ambiente y posteriormente se pesó nuevamente en la balanza analítica.

La cantidad de materia seca contenida en la muestra se obtuvo mediante la diferencia entre el peso final del vaso con el residuo seco y el peso inicial del vaso vacío, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{Materia seca} = (\text{Peso del vaso} + \text{extracto}) - (\text{Peso inicial del vaso})$$

El resultado obtenido representa la cantidad de sólidos disueltos presentes en los 10 ml de extracto analizados. A partir de este valor fue posible estimar la concentración de materia seca expresada en mg para después extrapolarla a partes por millón (ppm).

Cada determinación se realizó por duplicado y se calculó el promedio para reducir el error experimental y obtener una estimación más precisa de la concentración de los extractos vegetales.

Cabe mencionar que el rendimiento final de extracción puede variar entre especies vegetales debido a diferencias en el contenido de compuestos solubles y metabolitos secundarios; sin embargo, todas las muestras fueron procesadas bajo la misma metodología experimental y bajo la misma relación masa/volumen, permitiendo mantener uniformidad en las concentraciones nominales evaluadas.

Fórmulas para hacer la conversión de unidades de los extractos hidro etílicos (Cuadros 7):

$$\text{mg} = \text{g} \times 1000$$

- 1) Cempasúchil Flor = $0.35 \text{ g} \times 1000 = 350 \text{ mg}$.
- 2) Eucalipto Hojas = $0.90 \text{ g} \times 1000 = 900 \text{ mg}$.
- 3) Eucalipto Frutos = $0.95 \text{ g} \times 1000 = 950 \text{ mg}$.

4) Higuera Hojas = 1.05 g x 1000= 1050 mg.

5) Tabaco = 1.05 g x 1000= 1050 mg.

Cuadro 7. Cuantificación de sólidos totales presentes en los extractos vegetales hidro etílicos.

Extractos	No. Vasos	Peso de Vasos (g)	Peso Vaso + Extracto (g)	Diferencia Extracto (g)	Conversión (mg)
Cempasúchi I Flor	1	28.4	28.8	0.4	350
	2	27.8	28.2	0.3	
Eucalipto Hojas	1	50.9	51.8	0.9	900
	2	66.9	67.8	0.9	
Eucalipto Frutos	1	49.9	50.9	1	950
	2	49.8	50.7	0.9	
Higuera Hojas	1	51.6	52.6	1	1050
	2	67.6	68.7	1.1	
Tabaco	1	27.7	28.8	1.1	1050
	2	28	29	1	

Fórmulas para hacer la conversión de unidades de los extractos acuosos (Cuadro 8):

mg= g x 1000

1) Cempasúchil Hojas = 0.35 g x 1000= 350 mg.

2) Cempasúchil Flor = 0.30 g x 1000= 300 mg.

3) Pirul Hojas = 0.30 g x 1000= 300 mg.

4) Pirul Fruto = 0.40 g x 1000= 400 mg.

Cuadro 8. Cuantificación de sólidos totales presentes en los extractos vegetales acuosos.

Extractos	No. Vasos	Peso de Vasos (g)	Peso Vaso + Extracto (g)	Diferencia Extracto (g)	Conversión (mg)
Cempasúchi l Hojas	1	76.4	76.7	0.3	350
	2	74	74.4	0.4	
Cempasúchi l Flor	1	69.9	70.2	0.3	300
	2	75.4	75.7	0.3	
Pirul Hojas	1	68.9	69.2	0.3	300
	2	72.1	72.3	0.3	
	1	73.8	74.2	0.4	
Pirul Fruto	2	74.5	74.7	0.4	400

Preparación de concentraciones de extractos vegetales y evaluación de su efecto insecticida:

A partir de las concentraciones iniciales se prepararon diluciones seriadas decimales (1:10) utilizando agua corriente como diluyente. Para la primera dilución se mezclaron 10 ml del extracto original con 90 ml de agua, obteniéndose una concentración equivalente al 10 % de la concentración inicial. Posteriormente, se tomaron 10 ml de esta primera dilución y se mezclaron nuevamente con 90 ml de agua para obtener una segunda dilución con una concentración diez veces menor. Finalmente, el mismo procedimiento se repitió para generar una tercera dilución (Figura 8).

De esta forma se obtienen las tres concentraciones de los extractos y ocuparemos dos testigos uno positivo a base de un químico convencional Exalt (spinetoram) y un testigo negativo a base de 70% alcohol y 30% agua (Figura 10).

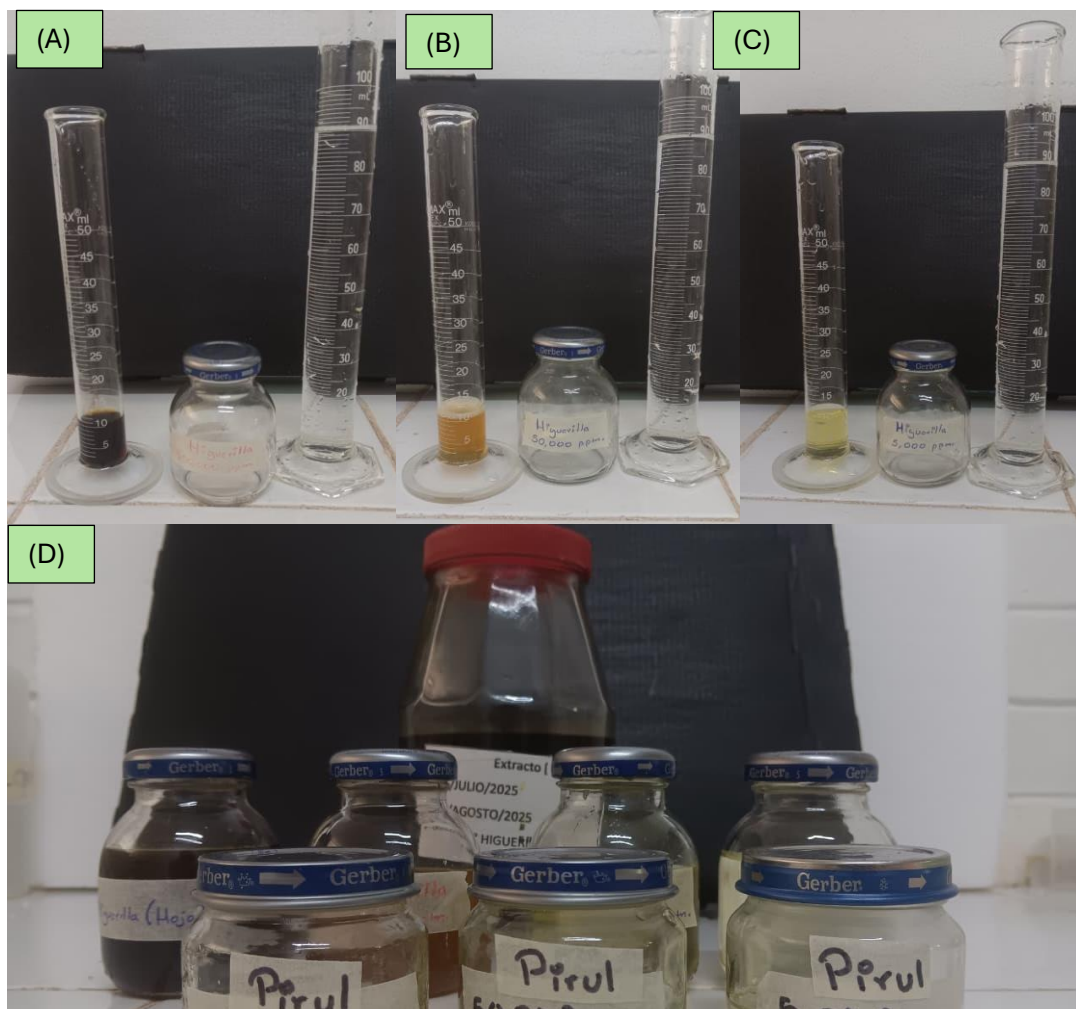


Figura 8. A) Concentración a 3,000 ppm; B) Concentración a 300 ppm; C) Concentración a 30 ppm; D) Concentraciones del extracto de pirul.

Cálculos (Cuadros 9 y 10)

1. Cálculo de la materia seca total recuperada:

Para estimar la cantidad total de materia seca contenida en el volumen recuperado durante la extracción se utilizó la siguiente ecuación:

$$CT = \frac{C \times V}{1000}$$

Donde:

- CT= materia seca total (mg)
- C= concentración inicial (ppm)
- V= volumen recuperado del extracto (ml)

2. Cálculo de la concentración inicial en ppm

La concentración se determinó considerando la cantidad de materia seca obtenida en 10 ml de extracto:

$$\text{ppm} = \frac{\text{mg} \times 1000}{\text{mL}}$$

Cuadro 9. Caracterización de los extractos vegetales hidro etílicos mediante la determinación de materia seca y concentración inicial.

Extractos	Volumen Total (ml)	Materia seca (mg)	Concentración inicial (ppm)
Cempasúchil			
Flor	334	11,690	35,000
Eucalipto			
Hojas	600	54,000	90,000
Eucalipto			
Frutos	180	17,100	95,000
Higuerilla			
Hojas	568	59,640	105,000
Tabaco	790	82,950	105,000

Cuadro 10. Caracterización de los extractos vegetales acuosos mediante la determinación de materia seca y concentración inicial.

Extractos	Volumen Total (L)	Materia seca (mg)	Concentración inicial (ppm)
Cempasúchil			
Hojas	1.48	51,800	35,000
Cempasúchil			
Flor	2.78	83,400	30,000

Pirul Hojas	2.68	80,400	30,000
Pirul Fruto	3.043	121,720	40,000

3. Cálculo de las diluciones seriadas 1:10 (Cuadros 11 y 12).

Las concentraciones de trabajo se obtuvieron mediante diluciones seriadas decimales (1:10), mezclando 10 ml de la solución anterior con 90 ml de agua.

La concentración final se calculó mediante:

$$C_2 = C_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)$$

Donde:

- C_1 = concentración inicial
- V_1 = volumen tomado (10 ml)
- V_2 = volumen final (100 ml)

Cuadro 11. Concentraciones derivadas de las diluciones 1:10 realizadas a los extractos vegetales hidro etílicos.

Extractos	Dilución 1 ppm	Dilución 2 ppm	Dilución 3 ppm
Cempasúchil			
Flor	3,500	350	35
Eucalipto Hojas	9,000	900	90
Eucalipto Frutos	9,500	950	95
Higuerilla Hojas	10,500	1,050	105
Tabaco	10,500	1,050	105

Cuadro 12. Concentraciones derivadas de las diluciones 1:10 realizadas a los extractos vegetales acuosos.

Extractos	Dilución 1	Dilución 2	Dilución 3
Cempasúchil			
Hojas	3,500	350	35
Cempasúchil			
Flor	3,000	300	30
Pirul Hojas	3,000	300	30

Pirul Fruto	4,000	400	40
-------------	-------	-----	----

Establecimiento de los bioensayos:

Con las concentraciones previamente obtenidas, se establecieron los bioensayos utilizando frascos de vidrio previamente desinfectados y etiquetados para la correcta identificación de cada tratamiento. Como fuente de alimento se colocó un fruto fresco de frambuesa dentro de cada unidad experimental. Los frascos fueron cubiertos con una malla fina que permitió la ventilación adecuada y evitó el escape de los insectos durante el periodo de evaluación.

En cada unidad experimental se introdujeron 10 adultos de *Drosophila suzukii*. El diseño experimental incluyó tres concentraciones por extracto y tres repeticiones por concentración, dando un total de nueve unidades experimentales por tratamiento. Adicionalmente, se incluyó un testigo negativo, constituido por una solución de alcohol al 70 % y agua al 30 % para los extractos hidroalcohólicos, así como agua para los extractos acuosos. También se utilizó un testigo positivo basado en el insecticida comercial Exalt® (spinetoram), con el propósito de comparar la eficacia de los extractos vegetales frente a un producto químico convencional.

Para evaluar la actividad bioinsecticida de los extractos se compararon dos métodos de exposición: aspersión directa sobre los adultos e inmersión del fruto.

Método de aspersión:

La aspersión (Figura 9 A y B) se realizó con el objetivo de simular la aplicación de un insecticida en condiciones de campo para el control de adultos de *Drosophila suzukii*. En cada unidad experimental se aplicaron 2 ml de la solución correspondiente, ya fuera extracto vegetal o solución testigo, utilizando las tres concentraciones evaluadas. Se efectuaron dos aplicaciones durante el experimento: la primera al inicio de la evaluación y la segunda 36 horas después de la aplicación inicial.

Método de inmersión del fruto:

La inmersión del fruto se evaluó como una alternativa de control en postcosecha. Para ello, cada fruto de frambuesa fue sumergido durante cinco minutos en la solución correspondiente a cada tratamiento. Se procuró evitar daños físicos en los frutos que pudieran favorecer la alimentación, oviposición o reproducción de los adultos. Posteriormente, los frutos fueron colocados dentro de los frascos experimentales sobre papel absorbente humedecido y acompañados de una fuente de agua azucarada para reducir la deshidratación durante el periodo de evaluación.

En ambos métodos de exposición se registró la mortalidad (Figura 9C) de los adultos de *Drosophila suzukii* a las 12, 24, 48 y 72 horas posteriores a la primera aplicación de los extractos o a la inmersión de los frutos. Con los datos obtenidos se calculó el porcentaje de mortalidad para cada tratamiento y tiempo de evaluación.

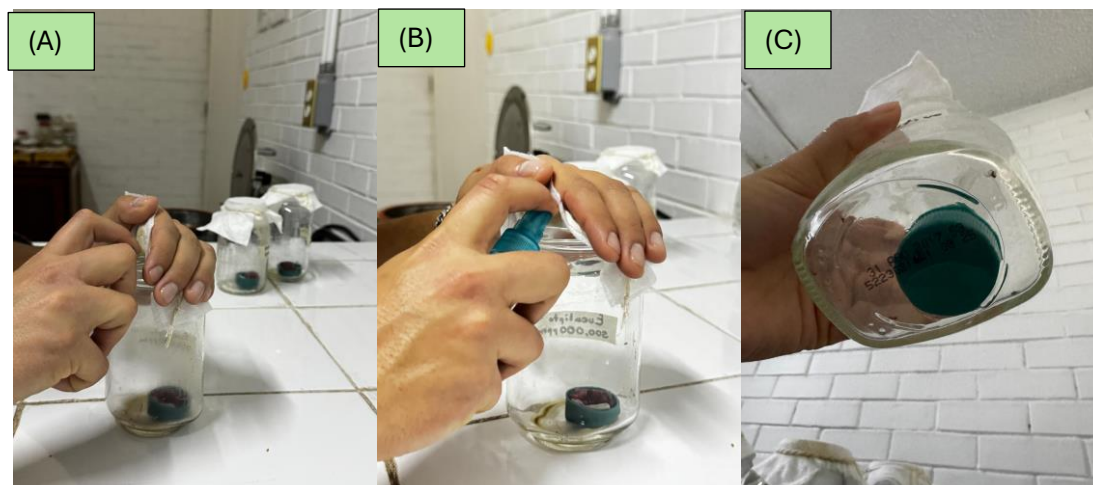


Figura 9. A y B) Aplicación de extractos vegetales por el método de aspersión; C) Mortalidad del extractos.

Calculo de la dosis aplicada en los bioensayos del Testigo positivo:

Según en la ficha técnica mostrada en la Figura 10 menciona que la dosis recomendada es de 350 ml de producto en 950 L de agua/ha. Por lo tanto, para determinar la cantidad equivalente de producto necesaria para preparar 100 ml de solución en laboratorio, se utilizó una relación de proporcionalidad directa con la siguiente formula:

$$X = \frac{D \times V_l}{V_c}$$

Donde:

- X= volumen de producto requerido (ml)
- D= dosis comercial recomendada (ml)
- V_l = volumen a preparar en laboratorio (ml)
- V_c = volumen de agua recomendado en campo (ml)

Cálculos:

$$X = \frac{350 \text{ ml} \times 100 \text{ ml}}{950,000 \text{ ml}} = 0.036 \text{ ml} = 36.8 \text{ } \mu\text{l}.$$

Por lo tanto, para preparar 100 ml de solución con una concentración equivalente a la dosis comercial de 350 ml por 950 L de agua, se requieren 0.0368 ml (36.8 μ l) del producto comercial. Este volumen garantiza que la concentración utilizada en los bioensayos sea proporcional a la recomendada para aplicaciones en campo.

CULTIVO	PLAGA	DOSIS	RECOMENDACIÓN	TOLERANCIAS EPA/LMR**
Arándano Grosella (3) Fresa Frambuesa Zarzamora (1)	Trips <i>Frankliniella occidentalis</i>	200 – 330 mL/ha	Realizar dos aplicaciones al follaje, a intervalo de 8 días; para asegurar un mejor control es necesario agregar un surfactante a razón de 0.25% v/v. Volumen de aplicación 300 L de agua/ha	Arándano 0.04 ppm Grosella 0.25 ppm Fresa 1.0 ppm Frambuesa y Zarzamora 0.7 ppm
Arándano (3) Fresa Frambuesa Zarzamora (1)	Mosca del vinagre de las alas manchadas <i>Drosophila suzukii</i>	350 - 400	Realizar una aplicación al follaje; volumen de aplicación 950 – 1,050 L de agua/ha	Arándano 0.04 ppm Fresa 1.0 ppm Frambuesa y Zarzamora 0.7 ppm
Limonero Lima Naranja Tangerino Toronjo Cítrico Mandarino (1)	Psílido Asiático de los cítricos <i>Diaphorina citri</i>	25-50 mL/100 L de agua	Realizar una aplicación al follaje cuando se detecte la presencia de la plaga. Volumen de aplicación 450 L de agua/ha.	0.3 ppm
Garbanzo Frijol Haba Chicharo (21)	Gusano soldado <i>Spodoptera exigua</i> Gusano de la cápsula <i>Heliothis virescens</i> , <i>Heliothis zea</i>	100 -200 mL/ha	Realizar una aplicación al follaje; agregar a la mezcla un surfactante a razón de 2 mL/L de agua. Volumen de aplicación 170-270 L de agua/ha.	0.3 ppm

Figura 10. Dosis recomendada del producto químico Exalt para el cultivo de frambuesa.

4.7.1 Análisis estadístico

Se realizará un análisis de varianza bajo un diseño experimental completo al azar; con 5 tratamientos y 9 repeticiones, con un total de 45 unidades experimentales. En cada unidad experimental tendrá a 10 individuos adultos para su evaluación y análisis. Para el análisis principal se consideró la mortalidad a 72 h y se aplicó ANOVA por tratamiento. De igual manera se realizará una prueba de comparación múltiple (DUNCAN, $P < 0.05$) mediante el programa Statistical Analysis System (SAS). Adicionalmente, se realizó un ANOVA factorial para evaluar el extracto, el método de aplicación, la concentración e interacciones, y se estimó la mortalidad corregida mediante la fórmula de Abbott cuando el testigo negativo fue válido. De igual manera se realizó una prueba de Tukey para comparación de medias y prueba de Kruskal-Wallis como respaldo no paramétrico.

4.8 Resultados y discusión

4.8.1 Prueba de mortalidad 50% de los extractos vegetales

Los resultados muestran que todos los extractos vegetales evaluados presentaron actividad insecticida sobre adultos de *Drosophila suzukii*, ya que todos superaron el 70% de mortalidad (¡Error! No se encuentra el origen de la



Figura 11. A y B) Evaluación de letalidad de los extractos; C) Aplicación del extracto a *Drosophila suzukii*; D) Eliminando los excesos de extracto; E) Inmersión de las moscas en el extracto.

Esto nos indica que los extractos contienen compuestos bioactivos capaces de generar efectos tóxicos sobre la plaga (Figura 11). Los extractos de hoja de eucalipto y tabaco presentaron el mayor porcentaje de mortalidad (100%),

seguidos por higuera hojas y fruto de eucalipto con 90% de mortalidad. El extracto de flor de cempasúchil presentó la menor mortalidad (70%)

Cuadro 13. Extractos hidro etílicos, porcentaje de mortalidad en *Drosophila suzukii*.

Porcentaje De Mortalidad De Los Extractos Hidro Etílicos			
Extracto	No. De Moscas Vivas	No. De Moscas Muertas	% Mortalidad
Higuera Hojas	10	9	90
Eucalipto Hojas	10	10	100
Eucalipto Frutos	10	9	90
Tabaco	10	10	100
Cempasúchil Flor	10	7	70

Los resultados obtenidos muestran que los extractos acuosos evaluados presentaron una eficacia insecticida muy baja sobre adultos de *Drosophila suzukii* (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). La mayoría de los tratamientos no provocaron mortalidad en los insectos, indicando ausencia o baja disponibilidad de compuestos bioactivos con efecto letal bajo este método de extracción.

Cuadro 14. Extractos acuosos, porcentaje de mortalidad en *Drosophila suzukii*.

Porcentaje De Letalidad De Los Extractos Acuosos			
Extracto	No. De Moscas Vivas	No. De Moscas Muertas	% Mortalidad
Pirul Hoja	10	0	0
Pirul Fruta	10	0	0
Cempasúchil Flor	10	1	10
Cempasúchil Hoja	10	0	0

Si tratamos de comparar el comportamiento de los podemos decir que los extractos hidro etílicos presentaron porcentajes de mortalidad considerablemente superiores en comparación con los extractos acuosos, evidenciando que el

solvente empleado influye directamente sobre la extracción de metabolitos secundarios. En los extractos hidro etílicos, los tratamientos de hoja de eucalipto y tabaco alcanzaron el 100% de mortalidad, incluso el extracto con menor eficacia, correspondiente a flor de cempasúchil, presentó un 70% de mortalidad. Por lo contrario, los extractos acuosos mostraron resultados considerablemente inferiores, registrando mortalidades entre 0% y 10%. Los extractos de hoja y fruto de pirul, así como hoja de cempasúchil, no provocaron mortalidad en los insectos evaluados, mientras que únicamente flor de cempasúchil presentó una mortalidad mínima del 10%.

El alcohol utilizado en los extractos hidro etílicos probablemente favoreció la extracción de metabolitos responsables del efecto tóxico sobre los adultos de *Drosophila suzukii*. Esto coincide con lo reportado por Pavela (2016), quien menciona que los solventes orgánicos permiten obtener una mayor concentración de compuestos bioactivos en extractos vegetales destinados al control de insectos, los resultados permiten concluir que el método de extracción es un factor determinante en la eficacia insecticida de los extractos vegetales, por lo tanto, los extractos acuosos no se evaluarán en los bioensayos debido a su ineficacia en el control de *Drosophila suzukii* (Pavela, 2016).

Al analizar los datos de mortalidad alcanzado por las hojas de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) y el tabaco (*Nicotiana tabacum*) en el extracto hidroetílico, los resultados guardan una estrecha correlación con el perfil fitoquímico de estas especies. Las hojas de eucalipto son ricas en monoterpenos cíclicos, principalmente el 1,8-cineol (eucaliptol), una molécula altamente volátil capaz de penetrar los espiráculos respiratorios del insecto. De acuerdo con Hummelbrunner y Isman (2001), los monoterpenos ejercen una acción neurotóxica fulminante sobre los insectos al actuar como inhibidores competitivos de la enzima acetilcolinesterasa (AChE), interrumpiendo la sinapsis del sistema nervioso central, lo que explica la muerte de los adultos a las pocas horas de contacto físico (Hummelbrunner y Isman, 2001).

Por otra parte, la efectividad total del tabaco se atribuye a la presencia del alcaloide nicotina. Este metabolito actúa de forma específica sobre los receptores nicotínicos de acetilcolina (nAChR) en la membrana postsináptica de las moscas, manteniéndolos abiertos de manera irreversible y desencadenando convulsiones, parálisis flácida y, finalmente, la muerte del espécimen (Casida y Durkin, 2013). Asimismo, la higuera (*Ricinus communis*), que reportó un competitivo 90 % de letalidad, sustenta su bioactividad en la acción combinada de la ricinina (alcaloide) y ácidos grasos específicos que alteran la permeabilidad cuticular del díptero, un mecanismo de toxicidad por contacto celular que ha sido validado en plagas afines (Ramos-López et al., 2010).

4.9 Bioensayos de los extractos hidro etílicos del método de “Aspersión”

El análisis de varianza (ANOVA) (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), mostró que la variable evaluada (mortalidad), indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, no solamente nos da esta información, sino que también proporciona evidencia de que algunos extractos vegetales tuvieron actividad insecticida real sobre *Drosophila suzukii*. Esto es importante porque demuestra el potencial de ciertos extractos vegetales como una alternativa para el manejo de esta plaga en cultivos de frambuesa.

Los resultados obtenidos mostraron un valor de $F = 4.94$ y una probabilidad asociada de $p = 0.0007$, fue menor al nivel crítico establecido, indicando diferencias estadísticas significativas entre tratamientos al nivel de significancia del 5%. Por lo tanto, se concluye que al menos uno de los tratamientos evaluados produjo una respuesta significativamente diferente respecto a los demás tratamientos.

Cuadro 15. Análisis de Varianza de los Bioensayos (ANOVA).

Origen	Grados de libertad	Suma de cuadrados	de Cuadrado de la media	de Valor F	Pr > F
--------	--------------------	-------------------	-------------------------	------------	--------

Modelo	6	161.7904492	26.9650749	4.94	0.0007
Error	40	218.4444444	5.4611111		
Total	46	380.2348936			
corregido					

Los tratamientos con mayor mortalidad pueden considerarse un con potencial para integrarse en programas de manejo integrado de plagas (MIP), especialmente en sistemas agrícolas donde se busca reducir el uso de insecticidas químicos convencionales, Además, el efecto diferencial entre tratamientos sugiere que los extractos vegetales contienen compuestos bioactivos con distinta capacidad insecticida, repelente o tóxica sobre los adultos de la plaga y de igual manera, reducir los problemas asociados a residuos químicos en frutos.

Las diferencias observadas entre tratamientos pueden atribuirse a la presencia de metabolitos secundarios con actividad insecticida presentes en los extractos vegetales. Diversos estudios han demostrado que compuestos como alcaloides, terpenos, flavonoides y compuestos fenólicos participan en los mecanismos de defensa natural de las plantas frente al ataque de insectos herbívoros y plagas agrícolas. Estos metabolitos poseen efectos tóxicos, repelentes y antialimentarios, además de interferir en procesos fisiológicos esenciales de los insectos, tales como el sistema nervioso, la alimentación, la respiración y el desarrollo larvario (Gutiérrez et al., 2008; Arango, 2013; Lustre Sánchez, 2022).

En el caso del tabaco, la nicotina actúa como un compuesto neurotóxico que afecta el sistema nervioso de los insectos, provocando alteraciones fisiológicas y mortalidad (Robinson, 1981). Diversos estudios han demostrado que estos compuestos afectan procesos fisiológicos esenciales en los insectos, incluyendo el sistema nervioso, la alimentación, la movilidad y el desarrollo (Pavela, 2016).

4.10 Comparación de medias de los tratamientos

Las medias de mortalidad obtenidas mostraron diferencias importantes entre tratamientos, destacando el tratamiento 6 (Testigo Positivo (Spinetoram)) con la mayor mortalidad promedio (10.00), seguido de los tratamientos 5 (Tabaco) y 2 (Eucalipto Hoja), mientras que los tratamientos 3 (Eucalipto Fruto) y 4 (Testigo Negativo (70% alcohol + 30% agua)) presentaron los valores más bajos, lo que indica una menor mortalidad de los extractos (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Cuadro 16. Comparación de medias de los extractos (Bioensayos).

Extractos Hidro Etílicos Método de Exposición “Aspersión”		
Extracto	Tratamiento	Media
Testigo Positivo (Spinetoram)	6	10.0000
Tabaco	5	7.7778
Eucalipto Hoja	2	6.8889
Higuerilla	1	6.2222
Testigo Negativo (70% alcohol + 30% agua)	7	4.2000
Cempasúchil Flor	4	3.5556
Eucalipto Fruto	3	3.4444

Estos resultados sugieren que algunos extractos vegetales tuvieron una mayor eficacia insecticida sobre *Drosophila suzukii*, provocando mayores porcentajes de mortalidad en comparación con otros tratamientos (Figura 12).

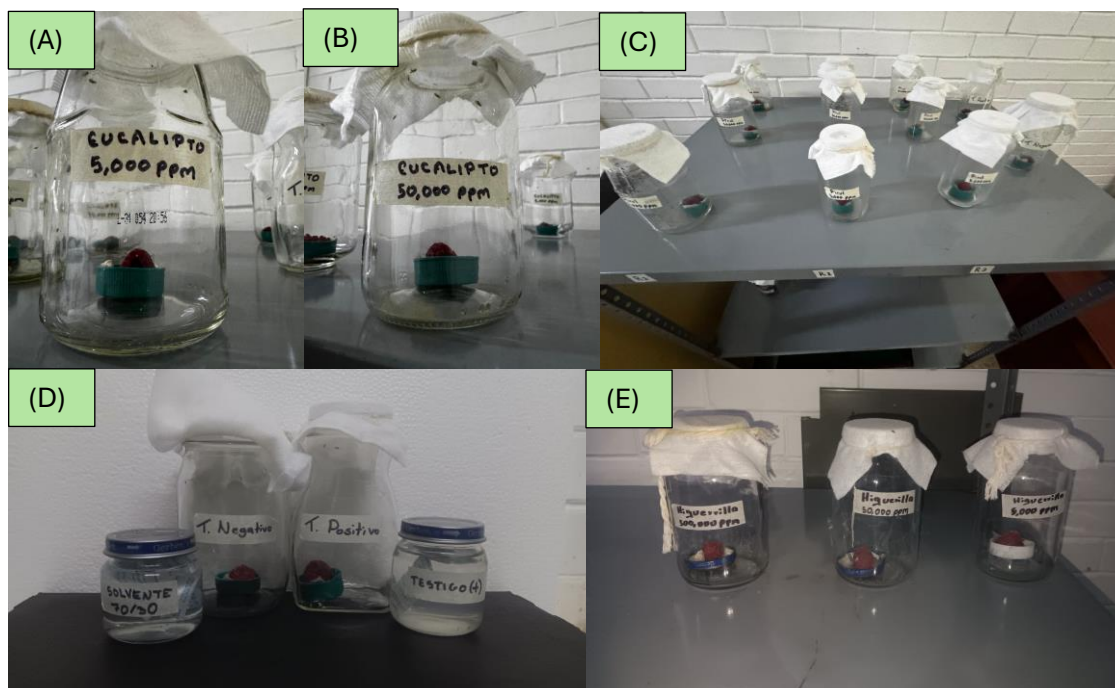


Figura 12. A y B) Bioensayos de eucalipto hoja a diferentes concentraciones; C) Bioensayos de Pirul con todas las repeticiones y testigos; D) Testigos negativo y positivo; E) Una repetición de los bioensayos de higuierilla.

La comparación de medias obtenida mediante el método de exposición por aspersión mostró diferencias en la mortalidad de adultos de *Drosophila suzukii* entre los extractos hidro etílicos evaluados. El tratamiento testigo positivo (Spinetoram) presentó la mayor mortalidad, confirmando la eficacia del insecticida comercial para el control de la plaga. Estos resultados coinciden con lo reportado por el autor Bruck et al. (2011), quienes mencionan que Spinosad y Spinetoram presentan alta eficacia insecticida sobre adultos de *Drosophila suzukii* (Bruck et al., 2011).

Por lo tanto, el uso de extractos botánicos puede contribuir a disminuir la utilización de insecticidas sintéticos, reducir residuos químicos en frutos y disminuir los impactos negativos sobre el ambiente y organismos benéficos (Molina & Pérez, 2018).

4.11 Distribución y dispersión de los tratamientos.

La separación observada entre tratamientos superiores e inferiores indica que algunos extractos vegetales, tuvieron actividad insecticida significativa sobre *Drosophila suzukii*. Los tratamientos correspondientes a tabaco, hoja de eucalipto e higuera presentaron mayores valores de mortalidad respecto a los tratamientos de cempasúchil flor y fruto de eucalipto, evidenciando una mayor eficacia insecticida.

La separación observada (Figura 13) entre tratamientos superiores e inferiores coincide con los resultados obtenidos en el análisis de varianza, el cual mostró diferencias estadísticas significativas ($p = 0.0007$). Asimismo, el tratamiento testigo positivo presentó la mayor mortalidad, validando la sensibilidad biológica del bioensayo, mientras que el testigo negativo mostró baja mortalidad, indicando que el efecto letal observado en los tratamientos vegetales se atribuye principalmente a los compuestos bioactivos presentes en los extractos.

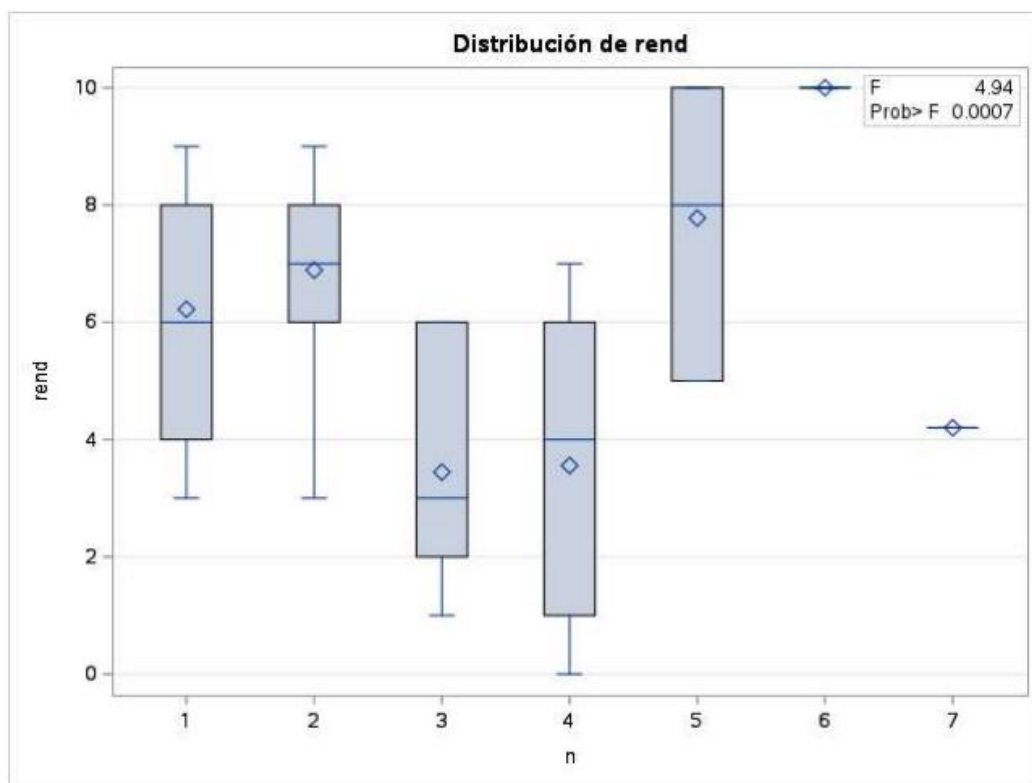


Figura 13. El diagrama de cajas mostró diferencias importantes en la mortalidad de adultos de *Drosophila suzukii* entre tratamientos.

Al respecto, Robertson et al. (2017) señalan que cuando un bioensayo por contacto exhibe una separación de cajas paramétricas tan limpia y un valor de p notablemente inferior al umbral crítico ($\alpha = 0.05$), se valida la consistencia del protocolo de aplicación, demostrando que las dosis en partes por millón (ppm) aplicadas fueron capaces de desencadenar respuestas fisiológicas diferenciales y reproducibles en el sistema biológico del díptero (Robertson et al., 2017).

4.12 Prueba de Comparación Múltiple de DUNCAN

Como se observa en la Figura 14 los tratamientos cubiertos por una misma barra pertenecen al mismo grupo estadístico, y entre ellos no existen diferencias significativas, sin embargo, los tratamientos que no comparten barra sí presentan diferencias estadísticas. La barra roja cubre principalmente al tratamiento 6 (Testigo positivo Spinetoram). Esto indica que el tratamiento 6 presentó la mayor mortalidad y fue estadísticamente superior respecto a los tratamientos inferiores. Este control se asocia a la alta afinidad receptora de las moléculas sintéticas de última generación. Los espinosinos poseen una baja permeabilidad cuticular restrictiva y una velocidad de translocación axónica que satura rápidamente el sistema nervioso del insecto, superando la velocidad de absorción que característicamente muestran las mezclas complejas de metabolitos secundarios crudos (García-Gutiérrez et al., 2012).

La barra azul agrupa a los siguientes tratamientos: T5 (Tabaco); T2 (Eucalipto hoja); T1 (Higuerilla) y parcialmente el T7 (Solvente + agua). Esto indica que estos tratamientos presentaron mortalidades intermedias y estadísticamente similares entre sí. Aunque cabe mencionar esto es muy importante porque sugiere que algunos extractos vegetales tuvieron actividad insecticida considerable especialmente los extractos de tabaco y hoja de eucalipto, acercándose parcialmente al efecto del insecticida comercial. De acuerdo con Isman y Grieneisen (2014), cuando un extracto botánico crudo logra posicionarse en un estrato estadístico intermedio adyacente al de un producto de síntesis química a las 72 horas de exposición, se evidencia un alto valor como insumo

biorracional, ya que, a diferencia de las moléculas puras, los extractos vegetales mitigan el desarrollo de resistencia al actuar simultáneamente sobre múltiples sitios diana del insecto (Isman y Grieneisen, 2014),

La barra verde agrupa a los siguientes tratamientos: T7 (Testigo negativo); T4 (Cempasúchil flor) y T3 (Eucalipto fruto). Estos tratamientos presentaron las menores mortalidades, esto indica que estos extractos tuvieron baja eficacia insecticida, menor concentración de compuestos bioactivos, o menor susceptibilidad de la plaga a dichos extractos. La ineficacia del fruto de eucalipto en comparación con su contraparte foliar resalta la compartimentación de los metabolitos en la planta; las estructuras reproductivas o de reserva suelen acumular menores densidades de aceites esenciales defensivos que los tejidos fotosintéticos (Pekas et al., 2017).

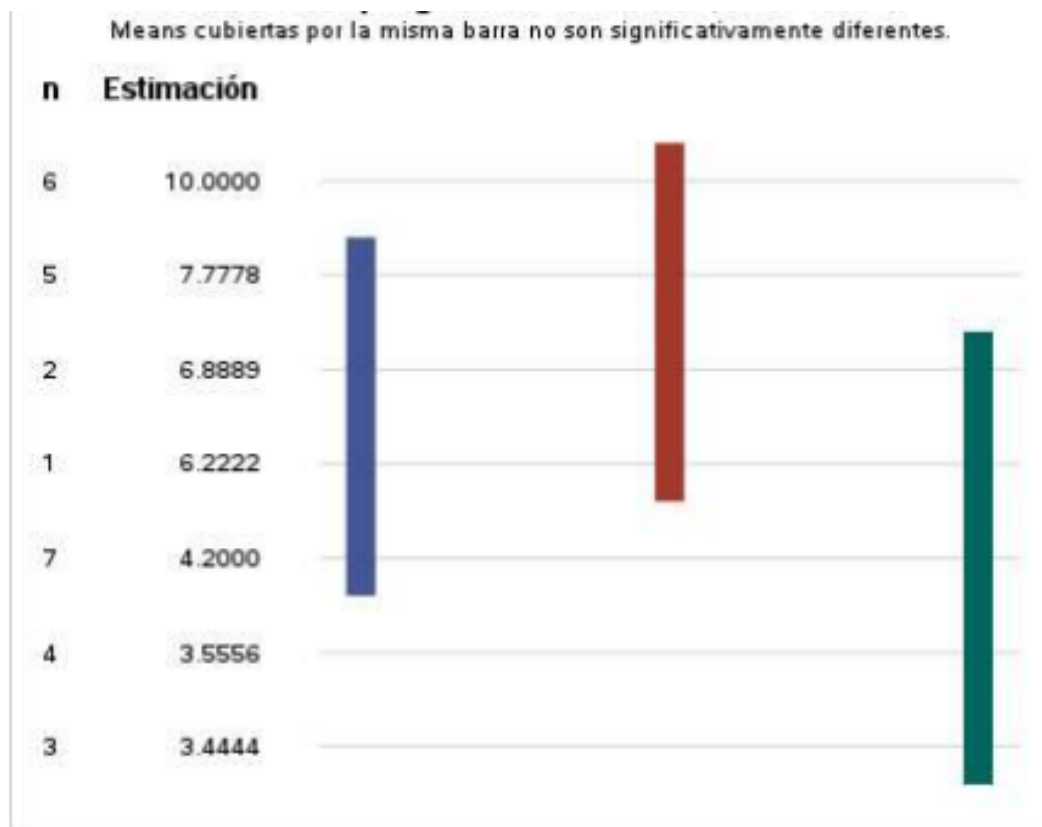


Figura 14. Prueba de comparación múltiple de Duncan realizada en SAS para la variable mortalidad de adultos de *Drosophila suzukii*.

4.13 Bioensayos de extractos del método de “Inmersión del fruto en extracto”

El análisis estadístico mostró que únicamente el tratamiento 6 (Testigo Positivo) presentó diferencias significativas respecto al resto de los tratamientos (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), debido a que registró una mortalidad considerablemente superior sobre adultos de *Drosophila suzukii*. Los tratamientos restantes presentaron porcentajes de mortalidad bajos y estadísticamente similares entre sí. La variabilidad explicada por el modelo fue superior a la variabilidad del error experimental, evidenciando que algunos tratamientos tuvieron mayor eficacia insecticida sobre los adultos evaluados (Cuadro 17).

Cuadro 17. Análisis de varianza (ANOVA).

Origen	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	6	86.85825060	14.47637510	9.80	<0.0001
Error	40	59.11111111	1.4777778		
Total corregido	46	145.9693617			

Aunque el coeficiente de variación fue elevado (99.19%), las diferencias entre tratamientos fueron suficientemente amplias para detectarse estadísticamente, lo cual demuestra el potencial insecticida de algunos extractos vegetales sobre la plaga.

Por lo tanto podemos decir que la estabilidad molecular de los extractos en superficies vegetales juega un rol determinante. Mientras que el spinetoram está formulado industrialmente con coadyuvantes y protectores solares que estabilizan la molécula ante factores ambientales, los extractos vegetales crudos carecen de estas defensas. Como señalan Khater (2012), los principios activos volátiles como el 1,8-cineol del eucalipto o la misma nicotina del tabaco

experimentan tasas aceleradas de evaporación y fotodegradación oxidativa cuando quedan expuestos en capas delgadas sobre la superficie húmeda de un fruto maduro (Khater, 2012). Esto explica por qué el modelo del ANOVA posee la robustez matemática para detectar la superioridad del testigo químico (Valor $F = 9.80$), pero discrimina negativamente a los extractos, sugiriendo que para esta vía de exposición postcosecha se requeriría el uso de formulaciones diferentes o concentraciones significativamente mayores a las evaluadas.

4.14 Prueba de comparación múltiple de DUNCAN

La prueba de comparación múltiple (Figura 15) mostró que el tratamiento 6 presentó la mayor mortalidad promedio y formó un grupo estadístico independiente, indicando diferencias significativas respecto al resto de los tratamientos. Por el contrario, los tratamientos restantes compartieron el mismo grupo estadístico, evidenciando ausencia de diferencias significativas entre ellos. Sin embargo, algunos tratamientos mostraron cierta actividad biológica al provocar mortalidad parcial en los insectos evaluados, lo cual sugiere la posible presencia de metabolitos secundarios con efecto insecticida leve.

La ausencia de diferencias estadísticas entre estos tratamientos puede atribuirse a la baja mortalidad observada, alta variabilidad experimental y reducido número de repeticiones, factores que limitan la capacidad estadística para detectar diferencias reales entre medias. Cuando las respuestas biológicas son bajas y las diferencias entre tratamientos son pequeñas, la probabilidad de detectar diferencias estadísticas disminuye (Steel, 1997).

La imposibilidad matemática de la prueba de Duncan para subdividir este bloque inferior en subgrupos se vincula estrechamente con un compromiso de potencia estadística, también conocido como el riesgo de cometer un error Tipo II (aceptar una hipótesis nula que en realidad es falsa). Al respecto, Quinn y Keough (2002) señalan que cuando el tamaño del efecto (la diferencia real entre las mortalidades de dos extractos) es pequeño y la varianza intrínseca es alta, las pruebas de comparaciones múltiples conservadoras tienden a asimilar las medias hacia el

grupo de control, exigiendo umbrales de replicación mucho más estrictos para romper la homogeneidad de la barra (Quinn y Keough, 2002).



Figura 15. Prueba de comparación múltiple mostró que el tratamiento 6 presentó.

Por lo tanto, la homogeneidad observada en la Figura 16 no necesariamente decreta la ausencia total de biomoléculas en los extractos de tabaco o eucalipto bajo este sistema, sino que evidencia que la concentración umbral o la vía de ingestión indirecta no generaron un gradiente de respuesta lo suficientemente amplio para superar el ruido del error experimental de la técnica de inmersión.

4.15 Eficacia bioinsecticida de Tabaco y Eucalipto contra *Drosophila suzukii*

El análisis de los bioensayos mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos en la mortalidad acumulada a 72 h. El ANOVA global indicó efecto de tratamiento ($F=15.255$; $gl=54,110$; $p=3.80e-32$; $\eta^2=0.882$), y la prueba de

Kruskal-Wallis confirmó diferencias entre grupos ($H=143.51$; $p=4.73e-10$). Estos resultados permitieron aceptar la hipótesis de que al menos un extracto vegetal produjo un efecto bioinsecticida diferencial sobre adultos de *Drosophila suzukii*, lo cual coincide con lo reportado quien señala que los insecticidas botánicos poseen metabolitos secundarios capaces de afectar la supervivencia y comportamiento de insectos plaga (Isman, 2020). De igual manera, se mencionan que los extractos vegetales representan alternativas sustentables debido a sus propiedades tóxicas, repelentes y antialimentarias sobre insectos agrícolas (Lengai et al., 2020).

El método de aplicación explicó una proporción importante de la respuesta. En el ANOVA factorial, la aspersión fue significativamente superior a la inmersión del fruto ($F=108.59$; $p=4.39e-15$). También se detectó efecto del extracto ($F=4.65$; $p=0.0025$) y de la interacción extracto x método ($F=4.17$; $p=0.0048$), lo que indicó que la eficacia dependió de la especie vegetal y de la forma de exposición. La concentración no fue significativa de manera global ($p=0.0998$), por lo que no se observó una respuesta dosis-dependiente uniforme en todos los extractos.

El mejor tratamiento fue tabaco por aspersión a 10,500 ppm, con 100 % de mortalidad a 72 h y mortalidad corregida por Abbott de 100 %. Este tratamiento fue significativamente superior a su testigo negativo local ($p=0.0008$). En segundo término, eucalipto hoja por aspersión a 9,000 ppm alcanzó 83.3 % de mortalidad y también superó a su testigo negativo ($p=0.0029$). Tabaco por aspersión a 10,500 ppm y eucalipto hoja por aspersión a 9,000 ppm también fueron superiores al testigo negativo, aunque con mortalidades menores (

). La elevada mortalidad observada puede atribuirse a la presencia de alcaloides en tabaco y compuestos terpénicos en eucalipto, los cuales poseen actividad neurotóxica e insecticida sobre diversos insectos plaga (Batish et al., 2008; Isman, 2020).

En contraste, los tratamientos significativos de tabaco y eucalipto hoja mantuvieron diferencias claras frente a sus respectivos testigos, aunque se

recomienda repetirlos con controles más estables antes de formular una recomendación de campo (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Cuadro 18. Tratamientos de extractos vegetales significativamente superiores al testigo negativo local a 72 h.

Extracto	Método	Concentración	Mortalidad 72 h (%)	Testigo negativo (%)	p Tuke y	Interpretación
Tabaco	Aspersión	10,500 ppm	100.0	36.7	0.0008	Mayor y significativo
Eucalip to hoja	Aspersión	9,000 ppm	83.3	23.3	0.0029	Mayor y significativo
Tabaco	Aspersión	1,050 ppm	76.7	36.7	0.0203	Mayor y significativo
Eucalip to hoja	Aspersión	900 ppm	63.3	23.3	0.0382	Mayor y significativo

Cuadro 19. Principales efectos estadísticos observados en los bioensayos.

Fuente de variación	F	P	Interpretación
Tratamiento global a 72 h	15.255	3.80e-32	Diferencias significativas entre tratamientos
Extracto	4.649	0.0025	Diferencias entre especies vegetales
Método de aplicación	108.592	4.39e-15	Aspersión superior a inmersión

Concentración	2.395	0.0998	No significativa de forma global
Extracto x método	4.173	0.0048	La respuesta dependió del método
Tiempo	69.263	1.80e-32	La mortalidad aumentó con el tiempo

En conjunto, los resultados señalaron que el control de *Drosophila suzukii* con extractos vegetales fue más consistente mediante aspersión. Los tratamientos de tabaco y eucalipto hoja deberán priorizarse en una etapa posterior de validación, preferentemente con ajustes en el manejo de solventes, aumento de repeticiones y evaluación de fitotoxicidad en fruto y follaje antes de su aplicación en campo. Se destaca que, aunque los insecticidas botánicos son alternativas prometedoras dentro del manejo integrado de plagas, aún es necesario optimizar formulaciones y validar su eficacia en condiciones comerciales (Isman, 2020).

4.16 Conclusiones

Con base en los resultados estadísticos obtenidos en los bioensayos de efectividad biológica en laboratorio, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_3), emitiendo las siguientes conclusiones:

Los bioensayos realizados demostraron que los extractos hidro etílicos presentaron mayor eficacia insecticida sobre adultos de *Drosophila suzukii* en comparación con los extractos acuosos. La aspersión fue el método de aplicación más efectivo, mientras que la inmersión del fruto mostró baja eficacia general.

El efecto determinante del solvente extractor, en el sistema de extracción hidroetanolítico optimiza de manera contundente la desorción y solubilización de los metabolitos secundarios con actividad biocida en comparación con las

infusiones acuosas, las cuales no alcanzaron los umbrales mínimos de efectividad biológica (mortalidades < 10%) en las pruebas preliminares.

Los tratamientos con mayor potencial bioinsecticida fueron tabaco a 10, 500 ppm y eucalipto hoja por aspersión a 9,000 ppm, aunque de igual manera el extracto de higuerilla mostro buenos resultados a esta misma concentración. Estos extractos superaron significativamente a sus testigos negativos y presentaron mortalidades de 100 y 83.3 %, respectivamente, a las 72 horas, estos extractos poseen el potencial para incorporarse como alternativas sustentables en programas de manejo integrado para el control de *Drosophila suzukii*.

El método por aspersión la única vía viable para movilizar y estabilizar las densidades de metabolitos secundarios neurotóxicos (como la nicotina en el tabaco y el 1,8-cineol en las hojas de eucalipto), superando de forma drástica la ineficacia metabólica de las infusiones acuosas convencionales.

Se concluye que los extractos fitoquímicos constituyen una alternativa biorracional con alto potencial de integración para el Manejo Integrado de Plagas (MIP) de *Drosophila suzukii* en cultivos de alto valor como la frambuesa. Sin embargo, el éxito biológico de estos extractos no es absoluto, sino que se encuentra estrictamente condicionado por una interacción entre la afinidad del solvente extractor, la especie u órgano vegetal empleado y el método operativo de exposición en el campo.

4.17 Literatura citada

- Arango, M. C. (2013). *Productos naturales vegetales y su interacción planta-insecto*. Universidad Nacional de La Plata. https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/155452/Documento_completo.pdf
- Asplen, M. K., Anfora, G., Biondi, A., Choi, D. S., Chu, D., Daane, K. M., Gibert, P., Gutierrez, A. P., Hoelmer, K. M., Hutchison, W. D., Isaacs, R., Jiang, Z. F., Kárpáti, Z., Kimura, M. T., Pascual, M., Philips, C. R., Plantamp, C., Pontj, L., Véték, G., ... & Desneux, N. (2015). Invasion biology of *Drosophila suzukii*: A global perspective and future priorities. *Journal of Pest Science*, 88(3), 469–494. <https://doi.org/10.1007/s10340-015-0681-z>
- Batish, D. R., Singh, H. P., Kohli, R. K., & Kaur, S. (2008). *Eucalyptus* essential oil as a natural pesticide. *Forest Ecology and Management*, 256(12), 2166–2174. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.08.008>
- Bruck, D. J., Bolda, M., Tanigoshi, L., Klick, J., Kleiber, J., DeFrancesco, J., Gerdeman, B., & Spitler, H. (2011). Laboratory and field comparisons of insecticides to reduce infestation of *Drosophila suzukii* in berry crops. *Pest Management Science*, 67(11), 1375–1385. <https://doi.org/10.1002/ps.2242>
- Casida, J. E., & Durkin, K. A. (2013). Neuroactive insecticides: Targets, selectivity, and resistance. *Annual Review of Entomology*, 58, 99–117. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153645>
- Cini, A., Ioriatti, C., & Anfora, G. (2012). A review of the invasion of *Drosophila suzukii* in Europe and a draft research agenda for integrated pest management. *Bulletin of Insectology*, 65(1), 149–160.
- García-Gutiérrez, C., González-Maldonado, M. B., & Cortez-Mondaca, E. (2012). Uso de insecticidas biorracionales en el manejo integrado de plagas agrícolas. *Revista Ra Ximhai*, 8(3), 29–38.
- Gutiérrez, A. P., Ortega, M. D., & Colaboradores. (2008). Efecto tóxico de *Verbena officinalis* sobre insectos plaga. *Revista Colombiana de Entomología*, 34(1), 44–50. (Nota: Asegúrate de revisar el número de páginas exacto de este artículo en tu documento original).
- Hummelbrunner, L. A., & Isman, M. B. (2001). Acute, synergistic and antagonistic effects of essential oil constituents on armyworm (*Spodoptera litura*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(2), 715–720. <https://doi.org/10.1021/jf000743a>

- Isman, M. B. (2020). 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. (2014). Botanical insecticides: From common knowledge to practical application. *Industrial Crops and Products*, 62, 287–293. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.06.055>
- Khater, H. F. (2012). Prospects of botanical biopesticides in insect pest management. *Pharmacologia*, 3(12), 641–656. <https://doi.org/10.5567/pharmacologia.2012.641.656>
- Lengai, G. M. W., Muthomi, J. W., & Mbega, E. R. (2020). Phytochemical activity and role of botanical pesticides in pest management for sustainable agricultural crop production. *Scientific African*, 7, Artículo e00239. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00239>
- Lustre-Sánchez, H. (2022). Los superpoderes de las plantas: Los metabolitos secundarios en su adaptación y defensa. *Revista Digital Universitaria*, 23(2). <https://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2022.23.2.10>
- Molina-Rodríguez, J. M., & Pérez-Guerrero, S. (2018). *Drosophila suzukii en frutos rojos: Técnicas para su control*. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA).
- Pavela, R. (2016). History, presence and perspective of using plant extracts as commercial botanical insecticides and farm products for protection against insects. *Plant Protection Science*, 52(4), 229–241. <https://doi.org/10.17221/31/2016-PPS>
- Pekas, A., Tena, A., & Aguilar, A. (2017). Spatiotemporal variation of secondary metabolites in plant organs and its consequences for herbivore subpopulation dynamics. *Chemoecology*, 27(4), 139–151. <https://doi.org/10.1007/s00049-017-0241-1>
- Ramos-López, M. A., Pérez-S., S., Rodríguez-Hernández, C., Guevara-Olvera, L., & Zavala-Sánchez, M. A. (2010). Activity of *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *African Journal of Biotechnology*, 9(9), 1359–1365.
- Rattan, R. S. (2010). Mechanism of action of insecticidal secondary metabolites of plant origin. *Phytomedicine*, 17(5), 329–338. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2010.01.008>

- Regnault-Roger, C., Vincent, C., & Philogène, J. T. (2012). Essential oils in insect control: Low-risk analytical alternatives in a changing world. *Annual Review of Entomology*, 57, 405–424. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120710-100552>
- Robertson, J. L., Jones, M. M., Olguin, E., & Alberts, B. (2017). *Bioassays with arthropods* (3rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315152349>
- Robinson, T. (1981). *The biochemistry of alkaloids* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-02324-2>
- Walsh, D. B., Bolda, M. P., Goodhue, R. E., Dreves, A. J., Lee, J., Bruck, D. J., Walton, V. M., O'Neal, S. D., & Zalom, F. G. (2011). *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae): Invasive pest of ripening soft fruit expanding its geographic range and damage potential. *Journal of Integrated Pest Management*, 2(1), G1–G7. <https://doi.org/10.1603/IPM10010>