UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA

EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DEL BIOINSECTICIDA OBTENIDO DE: SANTA MARÍA *(TANACETUM PARTHENIUM L.)* PARA EL BIOCONTROL DE: GORGOJO DE MAÍZ *(SITOPHILUS ZEAMAIS M.)* EN GRANOS ALMACENADOS.

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero Biotecnólogo

AUTOR: GUSTAVO XAVIER VÉLEZ SARMIENTO

TUTOR: ING. VICENTE HERNÁN AVILÉS LANDÍVAR, MGTR.

Cuenca - Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Gustavo Xavier Vélez Sarmiento con documento de identificación N° 0105505168, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 09 de septiembre del 2022

Atentamente,

Gustavo Xavier Vélez Sarmiento

0105505168

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

Yo, Gustavo Xavier Vélez Sarmiento con documento de identificación N° 0105505168, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Trabajo Experimental: "Evaluación de la aplicación del bioinsecticida obtenido de: Santa María *(Tanacetum parthenium L.)* para el biocontrol de: gorgojo de maíz *(Sitophilus zeamais M.)* en granos almacenados.", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Biotecnólogo, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Cuenca, 09 de septiembre del 2022

Atentamente,

Gustavo Xavier Vélez Sarmiento

0105505168

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Hernán Vicente Avilés Landívar con documento de identificación N° 0101401040, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DEL BIOINSECTICIDA OBTENIDO DE: SANTA MARÍA *(TANACETUM PARTHENIUM L.)* PARA EL BIOCONTROL DE: GORGOJO DE MAÍZ *(SITOPHILUS ZEAMAIS M.)* EN GRANOS ALMACENADOS., realizado por Gustavo Xavier Vélez Sarmiento con documento de identificación N° 0105505168, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental, que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 09 de septiembre del 2022

Atentamente,

Ing. Vicente Hernán Avilés Landívar, Mgtr.

0101401040

DEDICATORIA

A mi esposa e hijo por ser esos pilares fundamentales en esta etapa de mi vida, por su apoyo incondicional, paciencia, cariño y amor son parte de mi vida, han estado en todo momento brindándome su apoyo.

A mis padres Hernán y Rosalinda, por su apoyo incondicional, paciencia, esfuerzo, amor y su bendición durante toda mi formación personal y académica, guiándome por el buen camino y enseñándome muchos valores.

A mis hermanos, tíos y abuelos, por brindarme su cariño, consejos y estar siempre en mis mejores y peores momentos.

A mis suegros y cuñados y toda la familia de mi esposa que me apoyaron en todo momento.

Gustavo Xavier Vélez

AGRADECIMIENTO

A Dios, por su bendición y fortaleza de lograr mi sueño profesional.

Agradecer a mis padres Hernán y Rosalinda, por su total apoyo, paciencia, amor, sacrificio a cumplir una de mis metas importantes en mi vida, el esfuerzo que pasaron para llevar a una etapa profesional.

A mi esposa que me brindó su apoyo incondicional, siempre levantándome con sus consejos y amor, fue un pilar fundamental en esta etapa de mi vida.

Al Ing. Hernán Avilés, quien fue mi tutor en este trabajo de titulación, por la ayuda, consejos, guía, paciencia, logrando un mejor resultado en trabajo experimental.

A todos los docentes de la carrera de Biotecnología, por la guía, enseñanzas, amistad y compromiso hacia los estudiantes, el tiempo empleado para cada uno de los estudiantes, será recordado con mucho agradecimiento y aprecio

A mis compañeros de la carrera de biotecnología por todo ese tiempo de aprendizaje y enseñanzas, aprecio y cariño, todos esos momentos serán guardados con mucho cariño y respeto

.

Gustavo Xavier Vélez

RESUMEN

Se reconoce que el insecto -*Sitophilus zeamais M*-, es uno de los mayores problemas a los que se enfrentan actualmente los productores de maíz en el Ecuador, lo cual, para su control utilizan insecticidas químicos, que, por su ocasional uso, los insectos logran crear resistencia, contaminación al ambiente y daños a la salud por lo que, actualmente se están empleando bioinsecticidas para el control este tipo de plaga. Por lo tanto, la presente investigación tuvo el objetivo de evaluar la aplicación del bioinsecticida obtenido de Santa María -*Tanacetum parthenium L.*- para el biocontrol de: Gorgojo de Maíz -*Sitophilus zeamais M*- en granos almacenados. Para lograrlo se implementó un nivel de investigación de tipo experimental y orden cuantitativo, para la correcta interpretación de los datos obtenidos. El diseño de investigación estuvo compuesto por procesos de extracción de aceite esencial - *Tanacetum parthenium L.*-, a diferentes concentraciones, 2 mL de aceite equivale a 5 % v/v, 3 mL de aceite esencial que equivale a 7,5% v/v y la última 5mL de aceite esencial equivale a 12,5 % v/v en un contenido neto de 40 mL de bioinsecticida con sus componenetes, la elaboración de bioinsecticida de -*Tanacetum parthenium L*-. para luego emplear una serie de tratamientos con su testigo referencial que permitieron identificar la efectividad del bioinsecticida sobre el insecto -*Sitophilus zeamais M*-. Obteniendo el mejor resultado con la concentración de 5mL de aceite esencial 12,5% v/v, con masa inicial de 5 kg debido a que, los granos de maíz presentaron el menor porcentaje de daño en los tratamientos con masa de 4,91; 4,92 y 4,94 kg a los 45 días de biocontrol con sus respectivas réplicas. Por lo cual, se considera como aquel que se aleja más del testigo referencial con masas de 4,70; 4,60; 4,60 kg respectivamente, siendo una alternativa ecológica para el biocontrol de esta plaga.

Palabras Claves: Bioinsecticida; -*Tanacetum Parthenium L-; -Sitophilus Zeamais M-;* Granos de Maíz almacenado.

ABSTRACT

It is recognized that the insect -*Sitophilus zeamais M*-, is one of the biggest problems currently faced by corn producers in Ecuador, which, for its control, use chemical insecticides, which, due to their occasional use, insects They manage to create resistance, contamination to the environment and damage to health, which is why bioinsecticides are currently being used to control this type of insect. Therefore, the present investigation had the objective of evaluating the application of the bioinsecticide obtained from Santa María -*Tanacetum parthenium L.*- for the biocontrol of: Corn Weevil -*Sitophilus zeamais M*- in stored grains. To achieve this, a level of research of an experimental type and quantitative order was implemented, for the correct interpretation of the data obtained. The research design was composed of essential oil extraction processes -*Tanacetum parthenium L.*-, at different concentrations, 2 mL of oil is equivalent to 5% v/v, 3mL of essential oil is equivalent to 7,5 v/v and the last 5mL of essential oil is equivalent to 12.5 v/v in a net content of 40 mL of bioinsecticide with its components, the elaboration of bioinsecticide -*Tanacetum parthenium L*-. to then use a series of treatments with its reference control that allowed to identify the effectiveness of the bioinsecticide on the insect -*Sitophilus zeamais M*-. Obtaining the best result with the concentration of 5mL of essential oil 12,5% v/v, with an initial mass of 5 kg, because the corn grains presented the lowest percentage of damage in the treatments with a mass of 4,91; 4,92 and 4,94 kg at 45 days of biocontrol with their respective replicas. Therefore, it is considered as the one that is further away from the reference control with masses of 4,70; 4,60; 4,60 kg respectively, being an ecological alternative for the biocontrol of this pest.

Keywords: Bioinsecticide; -*Tanacetum Parthenium L-; -Sitophilus Zeamais M-;* Stored corn grains.

ÍNDICE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR II

CERTIFICACIÓN IV

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD II

DEDICATORIA V

AGRADECIMIENTO VI

RESUMEN VII

ABSTRACT VIII

ÍNDICE IX

ÍNDICE DE FIGURAS XIII

ÍNDICE DE TABLAS XIV

CAPITULO 1 1

INTRODUCCIÓN 1

1.1 Antecedentes 2

1.2 Planteamiento del Problema 3

1.3 Pregunta de investigación 5

1.4 Delimitación del problema 5

1.5 Justificación 6

1.6 Objetivos 7

1.6.1 General 7

1.6.2 Específicos 7

1.7 Hipótesis 7

1.7.1 Hipótesis alternativa 7

1.7.2 Hipótesis nula 8

CAPITULO 2 9

MARCO TEÓRICO 9

2.1 Marco Conceptual 9

2.1.1 Aceites esenciales 9

2.1.2 Biocontrol (con vegetales) 9

2.1.3 Bioinsecticida 9

2.1.4 Gorgojo De Maíz -Sitophilus Zeamais M.- 9

2.1.5 Insecticidas 9

2.1.6 Insecticidas botánicos o plaguicidas 10

2.1.7 Maíz -Zea mays L- 10

2.1.8 Santa María -Tanacetum Parthenium L.- 10

2.2 Marco De Referencial 10

2.3 Bases Teóricas 12

2.3.1 Maíz -Zea mays L- 12

2.3.2 Taxonomía del maíz 13

2.3.3 Descripción del Grano de maíz 14

2.3.3.1 Composición química del grano 16

2.3.3.2 Peso y porte del grano de maíz -*Zea mays L*- 16

2.3.3.3 Producción de maíz en el Ecuador 16

2.3.3.4 Producción de variedad "*Zhima" en Ecuador* 17

2.3.4 Plagas y enfermedades que afectan al maíz 19

2.3.5 Gorgojo del maíz -Sitophilus zemais Mostchulsky- 19

2.3.5.1 Taxonomía del Gorgojo del maíz -*Sitophilus zemais Mostchulsky*- 20

2.3.5.2 Morfología de -*Sitophilus zemais Mostchulsky*- 20

2.3.5.3 Ciclo de vida del Gorgojo del maíz -*Sitophilus zemais Mostchulsky*- 21

2.3.5.4 Daños que provoca el -*Sitophilus zemais Mostchulsky M.*- 22

2.3.6 Santa María -Tanacetum parthenum L- 23

2.3.6.1 Definición de la Santa María -*Tanacetum parthenum L*-.....24

2.3.6.2 Taxonomía Santa María -*Tanacetum parthenum L*- 24

2.3.6.3 Usos y aplicaciones de la Santa María -*Tanacetum parthenum L*-.....25

2.3.6.4 Composición química de -*Tanacetum parthenum L*-.....25

2.3.7 Insecticidas químicos 26

2.3.8 Efectos de los insecticidas en la salud y medio ambiente 27

2.3.8.1 Insecticidas botánicos.....28

2.3.8.2 Familias de plantas con poder insecticidas de uso más frecuente.....29

2.3.8.3 Metabolitos secundarios.....30

2.3.8.4 Método de destilación 32

CAPÍTULO 3 35

MARCO METODOLÓGICO 35

3.1 Nivel de investigación.....35

3.2 Diseño de investigación 35

3.2.1 Extracción de aceite esencial - Tanacetum parthenium L.-. 35

3.2.2 Crianza de Gorgojo de maíz 36

3.2.3 Elaboración de bioinsecticida de -Tanacetum parthenium L-.....36

3.2.4 Preparación de las muestras 37

3.2.5 Tratamientos del grano de maíz de variedad “Zhima” 38

3.2.6 Limpieza y pesaje del grano de maíz de variedad “Zhima” 38

3.2.7 Diseño de experimental 39

3.3 Población y muestra 40

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos 41

3.5 Variables 41

3.6 Método de manejo estadístico de datos 42

3.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos 42

CAPÍTULO 4 43

RESULTADOS Y DISCUSIÓN 43

4.1 Extracción del aceite esencial 43

4.2 Crianza del Gorgojo de maiz 44

4.3 Elaboración del bioinsecticida de -*Tanacetum parthenium L*-. 46

4.4 Determinación de efectividad de bioinsecticida -*Tanacetum parthenium L*- 51

4.4.1 Análisis de normalidad 54

4.4.2 ANOVA 57

4.4.3 Interpretación de los resultados estadísticos 59

CAPÍTULO 5 63

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 63

5.1 Conclusiones 63

5.2 Recomendaciones 64

BIBLIOGRAFÍA 65

ANEXOS 76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Partes del grano de maíz 15

Figura 2 Gorgojo del maíz -Sitophilus zemais Mostchulsky-.....21

Figura 3 Ciclo de vida del Gorgojo del maíz -Sitophilus zemais Mostchulsky-.....22

Figura 4 Daños que provoca el Gorgojo del maíz -Sitophilus zemais Mostchulsky- 23

Figura 5 Estado de floración de Santa María -Tanacetum parthenum L- 25

Figura 6 Métodos de extracción 34

Figura 7 Flujo del diseño estadístico.....39

Figura 8 Ubicación, parroquia Turquí.....40

Figura 9 Contenido porcentual %V/V de los bio-insecticidas utilizados.....48

Figura 10 Masas referentes de cada tratamiento 49

Figura 11 Test para análisis de normalidad.....56

Figura 12 Comparación grafica.....58

Figura 13 Gráfica de intervalos y medias.....59

Figura 14 Gráfica de residuos para las masas estimados 61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Principales componentes del aceite esencial -Tanacetum parthenium-.....12

Tabla 3 Plagas que afectan al maíz.....19

Tabla 4 Formulación de fumigantes registradas en Ecuador.....27

Tabla 5 Latitud y longitud de la ubicación en cuestión.....41

Tabla 6 Comparativa entre (Espinoza, 2021) y (Vélez, 2021) 47

Tabla 7 Información recolectada sobre masa estimada durante 45 días de aplicación de bioinsecticida en diferentes concentraciones. 52

Tabla 8 Información recolectada sobre la perdida de granos afectados durante 45 días de aplicación de bioinsecticida 52

Tabla 9 Tratamientos realizados.....54

Tabla 10 Análisis de Varianza.....57

Tabla 11 Medias estimadas.....57

Tabla 12 Comparaciones en parejas de Tukey 58

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador el cultivo del maíz es de gran importancia económica y social ya que contribuye a la nutrición humana y forma parte del balance alimentario animal (Alberto, 2016). La producción de maíz varía desde cerca del nivel del mar hasta tierras altas montañosas -3.200 m sobre el nivel del mar-, suelos fértiles, suelos pobres, pedregosos, planos o inclinados, colinas y cerros, con precipitaciones que varían de 63 a 6.000 mm/año en rendimiento.

El mayor componente del PIB[1] de Ecuador es la agricultura -17,5%-, con cadenas de maíz que representan el 3% del PIB agrícola, un cultivo que se desarrolla en aproximadamente 500.000 hectáreas. La mitad de ellos están sembrados en la costa de maíz amarillo cristalino duro en la parte inferior de la cadena del maíz, y la otra mitad corresponde a la sierra ecuatoriana, donde se cultiva maíz de altura, que es bueno para el sustento de los pequeños agricultores. (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, 2014).

Una de las plagas que causa mayores pérdidas es -*Sitophilus zeamais Motschulsky*-[2] que puede infectar el 10% del grano en la cosecha *(Cerna et al., 2010, p. 24)* y si la infestación continúa cuando se encuentra almacenada, 6 meses serían suficientes para causar 90% a 100% de daño de grano.

En la mayoría de los casos, el uso de insecticidas químicos es una opción para reducir las pérdidas causadas por estas plagas, sin embargo, su uso irracional puede conducir a la degradación

[1] Se reconoce como el Producto Interno Bruto que posee cada país, es una magnitud macroeconómica que expresa el valor monetario de la demanda final de bienes y servicios producidos (Mordecki & Ramírez, 2018).

[2] Es un insecto coleóptero perteneciente a la familia de los cactus. Es una plaga importante en el cultivo y almacenamiento de maíz y otros granos (Cerna et al., Evaluación de aceites y extractos vegetales para el control de Sitophilus zeamaiz y su efecto en la calidad de semilla de maíz, 2010).

de las comunidades de vida silvestre, la contaminación del agua y el suelo, el desarrollo de resistencia a las plagas y el aumento de los costos de producción *(Juárez, et al., 2010).*

Debido a las consecuencias del uso de pesticidas sintéticos, "los aceites esenciales son una alternativa para el control de plagas asociadas a los granos almacenados" (Aros et al., 2019). Por lo que, el propósito de la presente investigación evaluar la aplicación del bioinsecticida obtenido de Santa María[3] -*Tanacetum parthenium L.*- para el biocontrol de: Gorgojo de Maíz -*Sitophilus zeamais M*-. en granos almacenados.

1.1 Antecedentes

El autor Cayuela (2018) realizo un estudio donde evaluó plantas con aceites esenciales como repelentes e insecticidas, como el eucalipto -Eucalyptus spp-, hierba luisa -*Cymbopogon spp.*-,menta -*Mentha spp,* geranio -*Geranium ssp.*-, y mirtos de miel -*Melaleuca spp*. Por lo cual, las propiedades de estas plantas, compuestos individuales o moléculas aromáticas, contiene un alto porcentaje de actividad repelente, incluyen: el *α-pineno, alcanfor, el limoneno, 1,8-cineol, terpinoleno, el citronelal, terpinoleno, el citronelol* y el timol, *β- cariofileno.*

Del mismo modo, Granados (2016) realizo un estudio, la aplicación de polvo vegetal de *M. pulegium* sobre -*S.zeamais*- a 0,03 (p/p) de concentración granos de maíz almacenados, por lo cual, presento datos de mortalidad del 30%, sin embargo, al emplear concentración del 0,4% -p/p- se demostró a los 10 días el 40%, posteriormente, observo a los 15 días un cambio significativo, al presentar mortalidad de 64% y 82.66 % respectivamente.

El trabajo en laboratorio de Russo (2013) observó que el aceite de eucalipto -*E. melliodora*- pulverizado sobre papel filtro, se pudo observar que la concentración en la segunda hora es de 0,64 µl/cm² se demostró mayor porcentaje de repelencia -70%- y en granos de maíz pulverizados con

[3] Hierba perenne, también conocida como hierba de Santa María, balsámica y menta de coca (Tapia, 2013).

este mismo aceite se observó que a con la segunda hora la concentración de 0,15 µl/g se obtuvo el mayor porcentaje -76%-. Lo cual, estos resultados indican que el aceite de eucalipto tiene efectos repelentes sobre -*S. zeamais*-, coincidiendo con Russo (2013), en donde también confirma la actividad repelente del eucalipto sobre gorgojo de maíz, inclusive recomienda su uso como método de prevención para evitar los daños de esta plaga.

Siguiendo un mismo enfoque, Zurita (2017), observó que, la ruda y el marco causaron tasas de mortalidad del gorgojo del maíz de 53,35 % y 41,65 %, respectivamente, lo que sugiere que estas especies de plantas se pueden usar junto con otras estrategias de manejo para los granos almacenados. Sin embargo, se necesitan estudios para evaluar los efectos de diferentes concentraciones con el fin de optimizar su uso.

1.2 Planteamiento del Problema

La producción de granos de maíz a nivel mundial es atacada por plagas responsables de las perdidas entre 6 a 10%, lo cual, esa cantidad de granos alcanzaría para alimentar a 120 millones de personas anualmente. Estos insectos tienen la capacidad de propagarse en el maíz en su temprano desarrollo y en el almacenamiento provocando graves consecuencias (Hernandez & Escalona, 2014).

Para el año 2020 según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (2020) la superficie de cosecha del maíz en el país de Ecuador fue de 355,913 hectáreas, lo cual, ocupa una producción de 1,357,627 toneladas métricas. El maíz duro seco-grano seco: 1.801,766 toneladas con un rendimiento de 6,56 -t/ha-. El maíz suave seco-grano seco: fue de 61.256 toneladas con un rendimiento de 1,37 -t/ha-, en cuanto al maíz suave – en choclo-: fue de 74.324 toneladas con un rendimiento de 4,03 -t/ha-. De esta producción la mayor parte es almacenada, procesada o consumida en el periodo del año, por lo tanto, los granos postcosecha son almacenados punto

crítico para el desarrollo de plagas, lo cual se ve afectado a pequeños productores en sus ingresos económicos por la venta de los granos que ayuda en mantenimiento de la familia (Bonilla Bolaños & Singaña Tapia, 2019).

De acuerdo a (García D. , 2009) la perdida de los granos durante el almacenamiento en el principal problema postcosecha[4], por lo cual, las perdidas en este periodo tienen un alto porcentaje y pueden ir variando dependiendo de la zona. Lo cual, en zonas frías el efecto de los insectos en granos almacenados es menor que en zonas cálidas o templadas.

Para el control del gorgojo de maíz -*Sitophilus zeamais*-*;* la principal forma es mediante insecticidas[5] altamente tóxicos -*ej. organofosforados, piretroides*- y fumigantes -*fosfina*-, lo cual, son perjudiciales para la salud, contaminación del ambiente, provocan resistencia al desarrollo de poblaciones (ATSDR, 2016). Sin embargo, en Ecuador se desconoce o no se dispone de alternativas de control para esta plaga que sean amigables con el medio ambiente y la salud, lo cual, por ello, existe la preocupación de restaurar el trabajo con herramientas adicionales de control que sean efectivas y tengan un menor impacto en la vida de los productores y los agroecosistemas (Zurita Vásquez, 2017).

Los principios activos de la -*Tanacetum parthenium*-, son los responsables de conferirle numerosas propiedades. Entre ellos se encuentran: aceite esencial, flavonoides -*luteolol, apigenol, quercetol*-, cumarinas, mucílagos, principios amargos –matricina- y sales minerales -8-11%-. Los aceites esenciales producen efectos antiinflamatorios, y sedantes suaves, que se ven favorecidos por las cumarinas y los flavonoides. La mucosidad tiene un efecto calmante, junto con los aceites

[4] Manejo adecuado de la conservación de diversos productos agrícolas para determinar la calidad y su posterior comercialización o consumo (García D. , 2009).

[5] Un compuesto utilizado para matar insectos como el gorgojo de maíz -*Sitophilus zeamais*-.

esenciales, tienen un efecto reepitelizante. Por lo cual, los principios amargos son responsables de su actividad aperitiva, digestiva y colerética. En uso externo es antiinflamatorio, analgésico, cicatrizante y antiséptico (Espinoza L. , 2021).

La planta Santa María -*Tanacetum parthenium*- con propiedades insecticidas es una alternativa ecológica para el control del gorgojo de maíz -*Sitophilus zeamais*-, lo cual, se sabe muy poco sobre su forma de evaluación, aplicación, concentración y eficiencia. Según lo establece *Lopez et al., (2008)* el conocimiento de esta y otras informaciones proveerá especialmente a los pequeños productores de maíz de herramientas adicionales para el control del gorgojo del maíz, alternativas menos tóxicas que evitarán pérdidas económicas durante el almacenamiento de granos de maíz en el Ecuador y que podrían ser incorporadas dentro de los programas de manejo integrado de esta plaga.

1.3 Pregunta de investigación

- ¿La aplicación de un bioinsecticida a nivel de almacenamiento de campo en diferentes dosificaciones a base de -*Tanacetum partheniun L.*- inhibe y controla el desarrollo del gorgojo de maíz -*Sitophilus zeamais M-?*

1.4 Delimitación del problema

- **Espacio:** Cuenca
- **Tiempo:** Año 2022
- **Fenómeno a investigar:** Evaluar el Bioinsecticida obtenido de Santa María -*Tanacetum Parthenium L.*- para el biocontrol del Gorgojo De Maiz -*Sitophilus Zeamais M.*- En granos almacenados.

1.5 Justificación

La importancia del maíz en el Ecuador reside en la demanda y alto consumo de este elemento en nuestras ciudades. Según Espinoza (2021) los granos almacenados son parte importante de la dieta de quienes se dedican a la agricultura para consumo humano y animal en las zonas rurales, y también se utilizan como fuente de ingresos económicos, por lo que una infestación de insectos en la mazorca representaría una pérdida de diversidad de maíz.

El gorgojo de maíz -*Sitophilus zeamais M*- es uno de los insectos que mayor daño provoca en granos almacenados, debido a que, genera perforaciones que dañan por completo una cosecha, por lo que, su control con insecticidas de alta toxicidad se utiliza frecuentemente *(Devine et al., 2008).*

Por lo tanto, es indispensable idear nuevos métodos de combate de plagas en los que se evite al máximo el uso de químicos dañinos o compuestos similares *(Gómez Mejía, 1986).* Lo cual, para el uso de insecticidas ha predominado compuestos que atacan el sistema nervioso central del insecto o interrumpen su crecimiento y desarrollo, primando sobre todo compuestos organoclorados, carbamatos, organofosforados -como el malatión-, entre otros. Sin embargo, la importancia del trabajo a realizar y hace en la formulación de un bioinsecticida eficiente con base en el uso de -*Tanacetum parthenium*-, una planta perenne, herbácea, aromática y medicinal, perteneciente a la familia de las Compuestas *(Singh et al., 2011).*

Sus ingredientes activos según *Anter, et al., (2007)* contienen partenolida y tenetina, el primero es una lactona sesquiterpénica que se encuentra naturalmente en sus flores y fruto. Por lo cual, ayuda a aliviar dolores de cabeza y en el tratamiento de la migraña crónica, además ha reportado avances en la inhibición del desarrollo de células leucémicas en algunos pacientes, aunque es necesario ampliar un poco más dichos estudios.

1.6 Objetivos

1.6.1 General

Evaluar la aplicación del bioinsecticida obtenido de Santa María -*Tanacetum parthenium L.*- para el biocontrol de: Gorgojo de Maíz -*Sitophilus zeamais M*-en granos almacenados.

1.6.2 Específicos

- Establecer las dosificaciones adecuadas de cada componente del bioinsecticida de -*Tanacetum parthenium L*- mediante un análisis comparativo de la formulación obtenida por Espinoza (2021), para el biocontrol de -*Sitophilus zeamais M*- en los granos almacenados.
- Evaluar el bioinsecticida mediante aplicaciones periódicas en los tratamientos con sus respectivas dosificaciones generando una base de datos, para la verificación de efectos inhibitorios y de control sobre -*Sitophilus zeamais M*-.
- Valorar estadísticamente el biocontrol logrado en los diferentes tratamientos con bioinsecticida, mediante un software estadístico, para la determinación de la dosificación más eficiente.

1.7 Hipótesis

1.7.1 Hipótesis alternativa

La aplicación de bioinsecticida obtenido de Santa María -*Tanacetum parthenium L*- inhibe y controla el desarrollo de Gorgojo de Maíz en granos almacenados razón por la cual puede ser considerado como un sustituto a plaguicidas químicos.

1.7.2 Hipótesis nula

La aplicación de bioinsecticida obtenido de Santa María -*Tanacetum parthenium L*- no causa efectos favorables cuantificables en el desarrollo de Gorgojo de Maíz en granos almacenados razón por la cual no puede ser considerado como un sustituto a plaguicidas químicos.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Conceptual

2.1.1 Aceites esenciales

Se reconocen como aquellas sustancias aromáticas naturales responsables la fragancia de las flores y otros órganos vegetales, se utilizan frecuentemente para la elaboración de Bioinsecticidas (López, 2004).

2.1.2 Biocontrol (con vegetales)

Es una alternativa natural y amigable con el medio ambiente que involucra el uso de microorganismos benéficos -MB- como hongos, bacterias, nematodos y virus, vegetales, que pueden reducir de manera temporal o permanente las poblaciones de plagas a densidades más bajas *(Viera et al., 2020).*

2.1.3 Bioinsecticida

El término biopesticida se usa comúnmente para productos de control de plagas, principalmente en la agricultura, donde se deriva de organismos vivos o vegetales (Arteaga, 2017).

2.1.4 Gorgojo De Maíz -Sitophilus Zeamais M.-

El gorgojo del maíz -*Sitophilus zeamais Motsch*- es una plaga que afecta principalmente al maíz almacenado y puede causar daños a gran escala si no se controla *(Juárez et al., 2010).*

2.1.5 Insecticidas

Los insecticidas son compuestos utilizados para controlar o matar insectos portadores de enfermedades (Gobierno de México, s.f).

2.1.6 Insecticidas botánicos o plaguicidas

Se utilizan como plaguicidas botánicos para realizar un correcto manejo integrado de plagas, tienen propiedades que reducen los costos de producción, por ser productos no persistentes, tienen la menor resistencia a las plagas, no ocasionan daños a organismos benéficos y se biodegradan rápidamente (Jiménez & Manzanares, 2020).

2.1.7 Maíz -Zea mays L-

Para *Guamán, et al., (2020)* el maíz *-Zea mays L.-* es el único grano que se puede utilizar como alimento humano o animal en cualquier etapa del desarrollo o producción de la planta.

2.1.8 Santa María -Tanacetum Parthenium L.-

Se reconoce como una planta botánica que contiene sesquiterpenos, lactosa, aceites volátiles, pegliptina y taninos, que actúan como antiinflamatorio, antirreumático, digestivo y antihelmíntico *(Vázquez et al., 2011).*

2.2 Marco De Referencial

Los autores Sencia y Solano (2021) realizaron la investigación titulada ***"Uso de plaguicidas botánicos para el manejo de las plagas de gorgojos de cultivos y granos almacenados"*** teniendo como enfoque principal realizar un análisis del uso de pesticidas botánicos para manejar plagas en granos almacenados. Los métodos aplicados incluyeron revisiones sistemáticas basadas en 3 categorías básicas como fisiología del gorgojo, propiedades de las plantas con potencial insecticida, y modo de acción. Los resultados mostraron que estos insectos desarrollan una anormalidad llamada diapausa anormal, que puede matar de hambre a los insectos durante años, dejándolos completamente sin desarrollar, además de dos genes, rph1, que son resistentes a ciertos pesticidas sintéticos y rph2. Lo cual, las plantas, que muestran un alto potencial en el control de este tipo de plagas, los metabolitos que componen el aceite o extractos vegetales, cuando se combinan,

producen un fuerte efecto sinérgico, siendo los más representativos -*Apiaceae, Asteraceae, Compositae, Cupressaceae, Labiatae, Lauraceae, Myrtaceae, Piperaceae, Poaceae, Rutaceae y Zingib- eraceae* y la presencia de alcaloides, carbohidratos, fiteteroles, compuestos fenólicos, flavonoides, saponinas, taninos, actúan sobre diversos órganos del insecto, provocando su inmovilidad, atacando el sistema nervioso para destruir su sistema inmunológico, posibilitando el control integrado de plagas de forma sostenible.

Por otro lado, Espinoza (2021) realizó la investigación titulada ***"Formulación bioinsecticida a partir de Santa María -Tanacetum Parthenium L.- para controlar el ataque del Gorgojo de Maíz -Sitophilus Zeamais Motschulsky- a granos almacenados".*** Es estudio fue de carácter cuantitativo aplicando un diseño experimental. El autor afirma que, con base en los resultados mostrados, el biopesticida podría ser utilizado como un método alternativo para el control del de insectos en los granos almacenados del maíz, ya que provoca mortalidad, repelencia y no afecta la capacidad de germinación de las semillas de maíz. Se identificaron los constituyentes químicos por cromatografía en el laboratorio de la Universidad de Bolívar donde se implementó un 99,91% del aceite esencial de -*parthenocarpus*-, los principales constituyentes fueron -*monoterpeno alcanfor*- [37,85%], -*canfeno*- [10,23%], -*p-cimeno*- [8,11%] y -*acetato de bornilo*- [5,63%], contabilizando para el identificado 61,82% del número total de ingredientes. Los mismos que fueron utilizados en las formulaciones de biopesticidas, como polisorbato 20, agua miliq y acetona para diferentes bioensayos, y no interfieren con el ciclo de vida del -*Sitophilus zeamais M*.-, Por lo tanto, los resultados de afectación obtenidos en cada uno de los insectos analizados se provocaron por el aceite escencial -*Tanacetum parthenium L.*-.

Tabla 1

Principales componentes del aceite esencial -Tanacetum parthenium L.-

Numero	Compuesto	RT (min)	%
1	α-Pineno	9,758	3,05
2	Canfeno	10,541	10,23
3	p-cimeno	14,913	8,11
4	Crisantenona	21,282	3,98
5	Alcanfor	22,853	37,85
6	Acetato de transcrisantenilo	28,734	2,13
7	Acetato de bornilo	31,996	5,63

Nota: Información adapta de la tesis publicada por Espinoza (2021)

Realizado por: Autor (2022)

2.3 Bases Teóricas

2.3.1 Maíz -Zea mays L-

El maíz -*Zea mays L.*- es un cereal ampliamente utilizado a nivel mundial para consumo humano y alimentación animal. Junto con la papa y la tapioca, es la materia prima más importante para la obtención de almidón, jarabe de glucosa y bebidas alcohólicas. Para el consumo humano, se encuentran disponibles en diversos tipos de alimentos[6]. Según *Guamán et al., (2020)* debido a su alto contenido de almidón, la harina y la sémola de maíz son una fuente importante de calorías en las dietas de los países de América Central y del Sur, donde este grano es un alimento básico.

La clase -*Zea mays L.*, es uno de los granos que más se cultivan en el mundo, debido a sus diversos componentes nutritivos. Puede desarrollarse en una amplia variedad de climas, desde tropical a templado, desde el nivel del mar hasta altitudes de 300 metros sobre el nivel del mar (Hernández & Soto, 2012).

[6] El maíz sirve para la alimentación como harina de maíz, aceite de germen, productos para el desayuno y maíz dulce enlatado (Hernández & Soto, 2012).

2.3.2 Taxonomía del maíz

La clasificación del maíz puede ser botánica o taxonómica, comercial, estructural, especial y en función de su calidad (Cabreizo, 2012).

a) Botánica

- Reino: Plantae
- Subreino: Tracheobionta
- División: Magnoliophyta
- Clase: Monocotyledoneae
- Orden: Poales
- Familia: Poaceae
- Género: Zea
- Especie: Mays
- Nombre científico: *Zea mays L* (Guacho, 2014).

b) Estructural

El maíz se divide en grupos determinados por su patrón de composición del endospermo, calidad, la cantidad. Estos son, maíz cristalino, maíz dulce, maíz dentado, y maíz feculento, mismo que se muestran a continuación en palabras de (Guacho, 2014):

-*Zea mays indentata*-, también conocido como maíz dentado, tiene cantidades variables de endospermo córneo (duro) y harinoso (blando). La parte córnea se encuentra en los costados y parte trasera del grano, mientras que la parte pulverulenta se encuentra en la zona central y superior del grano. Se caracteriza por depresiones o "dientes" en la corona del grano, que son causados por la contracción del endospermo en polvo a medida que se seca. Se utiliza principalmente para la alimentación humana y las hojas se utilizan para la alimentación animal (Guacho, 2014).

-*Zea mays indurada*-, Se llama maíz duro porque contiene una gruesa capa de endospermo cristalino que recubre un pequeño centro de harina. Además, las partículas son suaves, redondas y cristalinas (Guacho, 2014).

-*Zea mays amiláceo*-, conocido como maíz harinoso, se caracteriza por un endospermo harinoso, en lugar de cristalino. Común en la región de los Andes de América del Sur (Guacho, 2014).

-*Zea mays saccharata*-, conocido como maíz dulce o chulpi, en este tipo de maíz, la conversión de azúcar en almidón se retrasa durante el desarrollo del endospermo. Otra de sus características es su madurez temprana, mazorca pequeña y alto contenido de azúcar en el grano (Guacho, 2014).

-*Zea mays tunicata*-, conocido como maíz túnica, se caracteriza porque cada grano está envuelto en una vaina. Como otros tipos de maíz, la mazorca está cubierta de "spaths". Se utiliza como germoplasma en programas de fitomejoramiento (Guacho, 2014).

2.3.3 Descripción del Grano de maíz

Es uno de los cereales más grandes y, como se mencionó anteriormente, uno de los más se produce en el mundo. El fruto de esta planta, llamado mazorca[7], está se llena de granos aplanados y grandes, colocados en ejes paralelos alrededor de su eje vertical. Los granos de maíz son cariópside desnuda, cuyas partes principales son el pericarpio, el endospermo, el germen y el funículo (Martínez & Jímenez, 2013).

Pericarpio. Constituye la parte exterior del grano y representa el 5-6% del peso total del grano, es resistente al agua y al vapor. No es el alimento deseados por los insectos y los microbios. Se divide en capas externas: Exocarpio, Mesocarpio y Endocarpio, y las internas están compuestas

[7] La mazorca se encuentra formada a partir de un grano grueso y apretado en el que se cultiva el fruto de algunas plantas, especialmente el maíz (Martínez & Jímenez, 2013).

por Células cruzadas y Células tubulares, que actúan como dispositivos de conducción para que el grano absorba agua (Martínez & Jímenez, 2013).

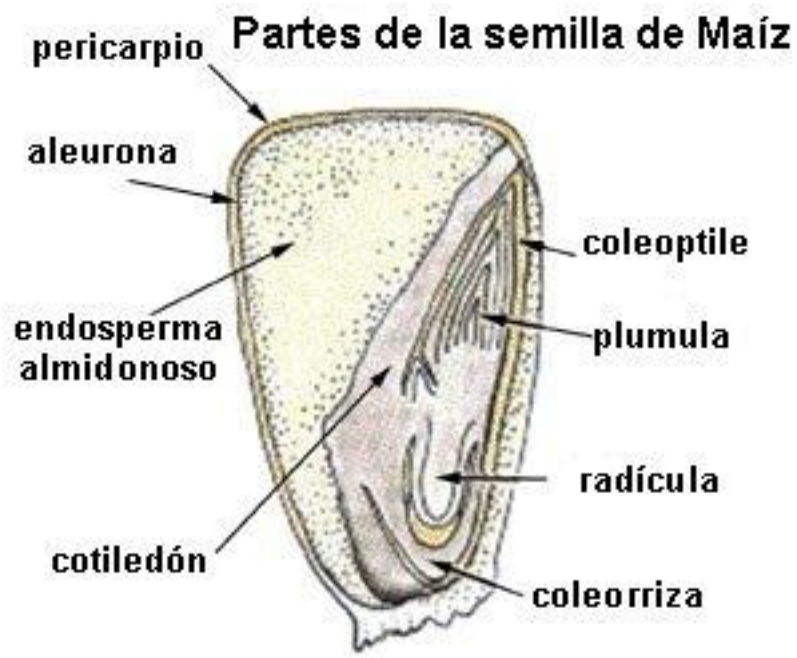
Endospermo. Representa alrededor del 80-82% del peso total del grano seco en la mayoría de las variedades de maíz y es una fuente de almidón y proteína para la germinación de semillas. Consta de tres tipos de células: Capa de aleurona, El endospermo corneo y endospermo harinoso (Martínez & Jímenez, 2013).

Embrión/Germen. Representa entre el 8 y el 12% del peso del grano. Está conformado por: Escutelo y Eje embrionario (Martínez & Jímenez, 2013).

Funículo. Se ubica en la parte inferior del grano y actúa como sombrerete para la raíz del grano; también para formar la mazorca se ocupa como punto de conexión con el corazón (Martínez & Jímenez, 2013).

Figura 1

Partes del grano de maíz



Nota. Imagen obtenida del sitio web Suspartes.com (s.f)

2.3.3.1 Composición química del grano

Los granos de maíz están compuestos por una variedad de nutrientes, y según Méndez y Páez (2014), “el maíz contiene 13% de proteína y 7% de grasa y es rico en betacarotenos, vitaminas A, B, E, hierro, potasio y fibra” (p. 14)

2.3.3.2 Peso y porte del grano de maíz *-Zea mays L-*

Según lo establece el autor Acosta (2020) “el peso del grano puede variar mucho, de aproximadamente 19 a 30 g por cada 100 granos” (pág. 6).

Por otro lado, *Endicott, et al., (2020)* explica que, una mazorca de maíz típica tiene de 500 a 800 granos, según las prácticas de producción y las circunstancias favorables.

El peso promedio del grano al 15,5 % de humedad es de aproximadamente 0,012 oz -350 mg-, con un rango de 0,007 a 0,015 oz. -de 200 a 430 mg-.

Una tonelada estándar pesa 56 libras -25,5 kg- y contiene aproximadamente 90.000 granos, 59.000 a 127.000 granos por tonelada -2,3 a 5 millones de granos por tonelada métrica- (Endicott et al., 2020).

2.3.3.3 Producción de maíz en el Ecuador

El maíz es un cultivo muy importante en el Ecuador ya que juega un papel relevante en la seguridad alimentaria de la población. El 80% del maíz amarillo duro utilizado para la producción de alimentos balanceados se produce principalmente en las zonas costeras y es el primer cultivo temporal importante en relación con la superficie -300.000 hectáreas-. Su producción y rendimientos han seguido creciendo durante los últimos 20 años, debido al uso de semillas certificadas -híbrida- y técnicas de manejo transferidas a los agricultores por empresas privadas, el Ministerio de Agricultura y Ganadería y el Iniap (Hernández, 2019).

Por otro lado, Ecuador produjo en 2017 alrededor de 1,2 millones de toneladas de maíz en más de 200.000 hectáreas de tierra en el país, según estadísticas de la Corporación Tierra Fértil en el Cantón Ventanas, Los Ríos. La producción se ha mantenido sin cambios durante los últimos tres años, con incrementos en Loja, Los Ríos y Santa Elena (Castillo M. , 2018).

Asimismo, según *Hasang et al., (2021)* la producción de maíz de Ecuador es de aproximadamente 500.000 hectáreas y es el único cultivo que se siembra en todo el país. En 2018, la superficie nacional de siembra de maíz duro y seco fue de 383.399 hectáreas.

Por otro lado, la producción de maíz de Ecuador se encontraba muy bien en 2021, con 1,6 millones de toneladas de maíz producidas en 373.587 hectáreas, según una encuesta de Espac. No obstante, esta situación no se repetirá en 2022, ya que la producción de maíz podría caer hasta un 35 % a solo 1.1 millones de toneladas. La escasez y los altos precios de la urea debido a la guerra de Ucrania y otros disturbios han llevado a algunos productores de maíz a cambiarse al cultivo de cacao (Ministerio de Agricultura , 2021).

2.3.3.4 Producción de variedad "*Zhima" en Ecuador*

En cuanto a la Sierra del Ecuador el cultivo del maíz es uno de los más importantes por la superficie sobre la que se cultiva y su papel como parte fundamental de la dieta de la población ecuatoriana *(Yanez et al., 2013).*

La distribución de algunas de las variedades de maíz más cultivadas en las provincias de la sierra ecuatoriana se debe a los gustos y costumbres de los agricultores. Por lo tanto, el maíz amarillo en polvo se consume en la sierra norte -Carchi, Imbabura, Pichincha-, el maíz en polvo blanco se cultiva en el centro -Tungurahua, Chimborazo y especialmente Bolívar-, se cultivan los

maíces blanco harinosos y en la sierra sur -Cañar y Azuay- el maíz denominado *"Zhima"*[8]. *(Yanez et al., 2013).*

Por otro lado, la producción de maíz se da en toda la sierra Ecuatoriana, alcanzando 253.050 ha, superando ampliamente a otros tipos de cultivos comunes del callejón Interandino. Clasificadas en dos zonas, divididas de acuerdo al tipo de grano que se cultivan en cada una de ellas. Estas zonas son:

CENTRO: Comprende las provincias de Tungurahua, Chimborazo y Bolívar donde se siembran maíces de grano blanco harinoso -Blanco Blandito y Cuzco Ecuatoriano-.

SUR: Comprende las provincias de Cañar, Azuay y Loja donde se siembran la variedad *Zhima*, además de estos maíces en todas las zonas se siembra el maíz Morocho Blanco, disminuyendo poco a poco durante el pasar de los años. (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, 2014)

El maíz base de donde se origina el maíz Shima mejorado la cual su semilla es usada actualmente en la provincia y parroquia destinada al estudio presenta las siguientes características: Suelen encontrarse a 2.720 metros sobre el nivel del mar y son polvorientas, grandes y blancas con mazorcas cilíndricas con 8 a 10 hileras de mazorcas finas, además también se encuentra en toda la sierra ecuatoriana. (INIAP, 2003) Zhima 153 maíz blanco es un híbrido mejorado creado por ingenieros del INIAP -Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias- en la Estación Experimental "Chuquipata" en agosto de 1992. (INIAP, 2003)

Se ha convertido en uno de los alimetnos principales en Cañar y Azuay y una de las zonas que más se lo produce. Además, el producto es muy utilizado en los principales platos típicos de la cocina de la provincia como el mote pillo, mote sucio, mote pata, etc (Balarezo, 2014).

[8] Es una variedad del Maiz producida en el Ecuador, específicamente en la ciudad de Azuay (Yanez et al., 2013).

2.3.4 Plagas y enfermedades que afectan al maíz

Para Segura y Andrade (2011) el cultivo de maíz presenta diferentes plagas y enfermedades descritas a continuación.

Tabla 2

Plagas que afectan al maíz

Plagas	Efectos
Cogollero *(Spodopterafrugiperda)*	Provoca mayores problemas en las etapas iniciales del cultivo.
Gusano de la mazorca *(Heliotis sp.)*	Ataca los granos en la mazorca.
Tierreros *(Agrotis sp.)*	Afectan la primera etapa de la planta.
Afidos *(Rhopulosiphum maidis)*	Atacan las hojas y propagan virus.
Gorgojos *(Sitophilus zeamais)*	Ataca los granos en almacenaje.

Nota. Información adaptada de la tesis de grado realizada por (Segura & Andrade, 2011)

Realizado por: Autor (2022)

2.3.5 Gorgojo del maíz -Sitophilus zemais Mostchulsky-

El gorgojo del maíz -*Sitophilus zeamais Motschulsky*-, es una plaga importante que afecta a todos los cereales (García S. , 2021). Estos insectos tienen una gran capacidad de vuelo, lo que les permite infestar seriamente los cultivos. El mayor daño lo hace cuando la hembra hace orificios en el grano para colocar los huevos en cada uno de estos, cubriéndolos con secreciones que hacen que los agujeros sean imperceptibles además de proteger los huevos.

Del mismo modo, el gorgojo del maíz, es considerado una plaga peligrosa[9] para el maíz almacenado porque provoca la perforación del grano, los que afecta directamente a la producción. *(Abdullahi et al., 2014).* En América Latina, las pérdidas por el ataque de este gorgojo en los granos de maíz almacenados oscilan entre el 15 y el 25% en Perú, el 20% en Panamá, el 10 y el 30% en Ecuador y el 50% en Guatemala (Kumar & Kalita, 2017). El uso de plantas más simple para el

[9] En palabras de (García S. , 2021) entre los insectos que provocan un mayor daño al maíz se encuentra el -Sitophilus zemais Mostchulsky- debido a que, causan perforaciones provocando que el grano no pueda recuperar su estado inicial por lo que, ya no resulta comestible.

control de plagas de granos almacenados es realizar un control por medio de aceite escncial principalmente obtenido de la planta Santa María (Espinoza L. , 2021).

2.3.5.1 Taxonomía del Gorgojo del maíz -*Sitophilus zemais Mostchulsky*-

La Taxonomía según Tapia (2013) es:

- Nombre común: Gorgojo del maíz
- Nombre científico: *Sitophilus zemais*
- Orden: Coleópteros
- Familia: Curculionidae
- Reino: Animal
- Clase: Insecta

2.3.5.2 Morfología de -*Sitophilus zemais Mostchulsky*-

Tiene una cabeza que sobresale en forma de pico, un pecho cónico alargado y manchas ovaladas en la espalda (Tapia, 2013). Tiene piezas bucales para masticar al final de una probóscide, que puede ser relativamente grande o larga y estrecha, dependiendo de la especie, las antenas son escondidas en surcos a lo largo del hocico, el cuerpo ovalado está cubierto por una piel exterior dura y áspera, y hay una sutura medial en la parte inferior de la cabeza (Tapia, 2013). A menudo de tamaño pequeño en comparación con otros escarabajos, los curculiónidos suelen estar cubiertos de escamas o pelo, pero pueden estar casi desnudos.

Los gorgojos adultos suelen ser de color opaco. Su tamaño puede variar de 1,5 a 3,5 mm de longitud -excluyendo la cara- dependiendo de la especie (Tapia, 2013). Las especies varían ampliamente en color, así como en forma y estructura.

Figura 2

Gorgojo del maíz -Sitophilus zemais Mostchulsky-

Nota. Imagen obtenida del portal de imágenes de la Universidad de Harvard (s.f). https://www.forestryimages.org/browse/orgthumb.cfm?org=122779

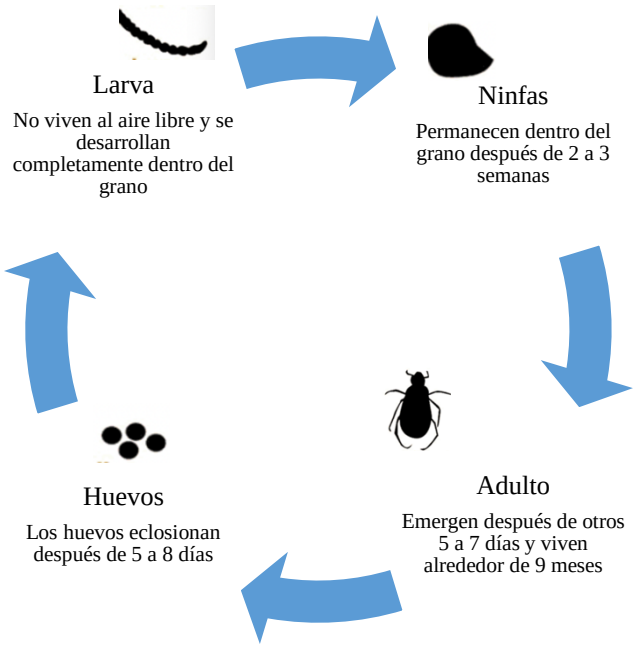
2.3.5.3 Ciclo de vida del Gorgojo del maíz -*Sitophilus zemais Mostchulsky*-

Según lo establece el autor Tapia (2013) el gorgojo del maíz puede prosperar en condiciones de humedad[10] La hembra pone alrededor de 200 huevos, 2 o 3 por día, colocando cada huevo en un pequeño agujero en el grano. A 18-20°C los huevos eclosionan después de 5 a 8 días, depositando pequeñas larvas blancas sin patas. Mudan cuatro veces y eventualmente se convierten en ninfas dentro del grano después de 2 a 3 semanas. Los adultos emergen después de otros 5 a 7 días y viven alrededor de 9 meses. El ciclo de vida completo dura 6 meses a una temperatura de 15°C y un contenido de humedad en el grano igual a 11,3%.

[10] Condiciones climáticas superiores al 9,5 % de humedad y temperaturas que oscilan entre los 13 y los 35 °C (Tapia, 2013).

Figura 3

Ciclo de vida del Gorgojo del maíz -Sitophilus zemais Mostchulsky-



Realizado por: Autor (2022)

2.3.5.4 Daños que provoca el -*Sitophilus zemais Mostchulsky M.*-

El daño directo ocurre cuando los insectos comen el grano, alimentándose del embrión o el endospermo, lo que resulta en pérdida de peso, germinación reducida y nutrientes reducidos. Como resultado, su precio de mercado cae (Kumar & Kalita, 2017). Otro daño directo es la contaminación de heces, redes formadas por polillas y cuerpos de insectos o partes de los mismos. También causan daños a estructuras de madera, accesorios y equipos, proporcionando escondites para otros insectos y estableciendo así focos de infestaciones. Los daños indirectos incluyen el aumento de temperatura

y humedad, la transmisión de parásitos a humanos y animales, y el rechazo del producto por parte de los compradores (Kumar & Kalita, 2017).

Figura 4

Daños que provoca el Gorgojo del maíz -Sitophilus zemais Mostchulsky-

Realizado por: Autor (2022)

Otros daños indirectos son el calentamiento y la migración de la humedad, la distribución de parásitos a los seres humanos y a los animales, y el rechazo del producto por parte de los compradores. Los granos pueden calentarse como resultado directo de un ataque de insectos[11] (Tapia, 2013). Se reconoce que temepraturas en grados relativamente altos puede provocar una mayor frecuencia de este tipo de insectos.

2.3.6 Santa María -Tanacetum parthenum L-

La Santa María -*Tanacetum parthenium L.*-, es una planta medicinal perenne y aromática. Nativo de los Balcanes, ahora está ampliamente distribuido en muchas partes del mundo, tanto

[11] A este fenómeno se le denomina bolsa de calor, debido a que los granos poseen una baja conductividad térmica y las pequeñas cantidades de calor generadas por los insectos no se disipan (Tapia, 2013).

cultivado en jardines y huertos, y huertos como escapada de cultivo -asilvestrada. Es una planta de la familia de las compuestas “margaritas” (Rzedowski & Rzedowski, 2010).

2.3.6.1 Definición de la Santa María -*Tanacetum parthenum L*-

La planta -*Tanacetum parthenium*- es una hierba, de 20 a 60 cm de altura, erecta y muy ramificada, con pelos y glándulas -principalmente en los tallos más jóvenes-. Hojas alternas, pecioladas, de hasta 10 cm de largo, elípticas a ampliamente ovadas, segmentos meristemáticos, meristemas, cubiertos de pelos, y con fosa glandular en la superficie.

Los autores (Rzedowski & Rzedowski, 2010) establecen lo siguiente:

Cabezuela/Flores: Cada cabezuela, aunque parezca una flor, es en realidad una inflorescencia de pequeñas flores sésiles dispuestas sobre un receptáculo convexo sin brácteas -paleas-, es decir, desnudas, y ese grupo de flores está rodeado por el exterior de un involucro casi hemisférico compuesto por alrededor de 50 brácteas dispuestas en 2 filas, las brácteas externas son lineales y las brácteas internas son oblongas, de hasta 4 mm de longitud.

Frutos y semillas: El fruto es seco y no se abre -no se agrieta-, contiene una sola semilla, llamada aquenio -o cipsela-, cilíndrica, de cerca de 1,5 mm de largo, tiene de 5 a 10 bordes longitudinales, y es glabra; en la parte superior del fruto hay una sola semilla llamada pappus estructura en forma de una pequeña corona.

2.3.6.2 Taxonomía Santa María -*Tanacetum parthenum L*-

Según (Hanan & Mondragón , 2006) la Taxonomía Santa María es la siguiente:

- Reino: Plantae
- Subreino: Traqueobionta -plantas vasculares-
- Superdivisión: Spermatophyta -plantas con semillas-
- División: Magnoliophyta -plantas con flor-

- Clase: Magnoliopsida -dicotiledóneas-
- Subclase: Asteridae
- Orden: Asterales.

Figura 5

Estado de floración de Santa María -Tanacetum parthenum L-

Realizado por: Autor (2022)

2.3.6.3 Usos y aplicaciones de la Santa María -*Tanacetum parthenum L*-

Las flores de la planta Santa María se asemejan a la manzanilla, con coronas blancas y botones amarillos. Las hojas son la parte medicinal y se utilizan principalmente para bajar la fiebre, tratar dolores de cabeza, artritis y problemas digestivos.

Tanto el British Medical Journal como la Harvard Medical School Health Charter han confirmado el éxito de -*Tanacetum parthenium*- en el tratamiento de la migraña. Además, se puede usar para otros fines, como antiinflamatorio, para aliviar la dismenorrea y como tópico para reducir la hinchazón durante las picaduras de insectos.

2.3.6.4 Composición química de -*Tanacetum parthenum L*-

Para Espinoza (2021) contiene aceites esenciales que están compuestos por una gran cantidad de sesquiterpenoides de tipo lactona, especialmente partenolida, los componentes

principales representan el 85% del contenido total de sesquiterpenos y flavonoides, y tienen una fuerte actividad antibacteriana.

Por otro lado, el screening fitoquímico realizado por *Fuertes et al. (2010)* explica que, -*Tanacetum parthenum L*- contiene esteroides saponínicos, triterpenoides y azasteroides; triterpenoides y esteroides libres; taninos; quinonas -naftoquinonas y antraquinonas- y alcaloides. Según Carpintero (2021) en el aceite esencial de -*Tanacetum parthenium*-, se identificaron ocho compuestos por índice de Kóvats y espectrometría de masas, que representan el 61,74% del total de aceites esenciales. El porcentaje de identificación es bajo debido a que el mayor porcentaje de compuestos no fueron identificados.

En cuanto a la composición química de la matricaria, se observaron cambios cuantitativos en los principales componentes. Los principales compuestos identificados fueron: alcanfor -46,12 %-, *ácido L-bornilacético* -5,32 %-, *p-cimeno* -2,67 %-, *canfeno* -2,41 %- y *crisanteno* -2,26 %- (Askin et al., 2013).

2.3.7 Insecticidas químicos

El Instituto Nacional de Salud Pública (s.f) reconoce a los insecticidas como "compuestos químicos utilizados para controlar o matar insectos portadores de enfermedades"

Para el control del gorgojo de maíz se ha utilizados por muchos años insecticidas sintéticos, actuando de forma preventiva y curativa para los granos de maíz almacenados, siendo el más utilizados el fumigante fosfina, se aplica cuando el grano se encuentra en tránsito o cuando es movido de un lugar a otro (Castillo H. , 2014).

En Ecuador, los fumigantes autorizados para el control de la infestación de -*Sitophilus zeamais M.*- en granos almacenados son la fosfina-fosfuro de magnesio y fosfuro de aluminidad (Agrocalidad, 2016).

La fosfina-*fosfuro de hidrógeno PH3*- es un gas incoloro que se difunde en el interior del grano y actúa en todas las etapas de desarrollo de los insectos y es letal incluso para las plagas primarias. La fosfina no tiene efecto residual, es decir, no brinda protección posterior y no afecta la capacidad de germinación de las semillas *(Morales et al., 2010).* La fosfina - *PH3* - es altamente tóxica para los humanos y animales. Debe evitarse el contacto con organismos no objetivo (Agrocalidad, 2016).

Tabla 3

Formulación de fumigantes registradas en Ecuador

Producto	Tipo	Unidades y peso en gramos	Gramos de fosfina
Gastoxin	FA	1 tableta; 3,0	1,0
Gastoxin	FA	1 pellet; 0,6	0,2

Nota. Información adaptada del estudio realizado por Espinoza (2021)

Realizado por: Autor (2022)

2.3.8 Efectos de los insecticidas en la salud y medio ambiente

Las restricciones de sostenibilidad en el uso de pesticidas incluyen impactos en la salud humana, los agroecosistemas -insectos beneficiosos-, el medio ambiente en general -especies, paisajes y comunidades que no son el objetivo- y las características que confieren resistencia a los pesticidas en las especies de plagas elegidas *(Devine et al., 2008).* Para todas estas categorías, es posible encontrar ejemplos de uso de pesticidas de manera catastrófica.

La Organización Mundial de la Salud estima que alrededor de 20.000 personas mueren cada año por exposición a pesticidas (OMS, 2020), pero estos químicos también protegen la producción, las ganancias y la salud pública.

Las personas que manipulan constantemente insecticidas sin el equipo adecuado o conocimientos necesarios han sufridos intoxicaciones (Urzúa, 2010). No solo los agricultores exponen su salud, sino tambien el resto de la población, debido a que, el uso constante de

insecticidas químicos provoca la que el agua se encuentre contaminada y asimismo, permanecen en el medio ambiente varios días (Naranjo, 2017).

Por otro lado, *Bureau et al., (1992)* explican que los plaguicidas provocan daños en la salud sexual y reproductiva de las mujeres ya que sus alto niveles tóxicos causan abortos o provocan partos prematuros. Un informe en el Chaco de Argentina, una región con cultivos de soja genéticamente modificados, encuentra que las tasas de defectos congénitos se cuadruplicaron, debido a contantes de fumigaciones con productos tóxicos (Naranjo, 2017).

Finalmente, según el Foro Económico Mundial (2014) la contaminación causada por el uso intensivo de insecticidas químicos es un reto ya que afectan gravemente al medio ambiente, entre los daños que causan encontramos:

- ✓ Contaminación del suelo y del agua, deforestación
- ✓ Reducción de la biodiversidad;
- ✓ Envenenamiento de animales salvajes, ganado y polinizador;
- ✓ Reducción de los rendimientos del suelo

2.3.8.1 Insecticidas botánicos

Los insecticidas botánicos se derivan de ciertas partes o ingredientes activos de las plantas. En los últimos años, varios productos de plantas medicinales han atraído mucha atención como sustitutos efectivos de los pesticidas sintéticos. Estos productos vegetales son muy efectivos, más económicos, biodegradables y más seguros que los pesticidas sintéticos. También son sustancias derivadas de plantas, ya sea de flores, hojas, tallos o raíces, y se han utilizado en el pasado para una resistencia altamente efectiva a insectos, plagas, parásitos y gorgojos. Según *Nava, et al.,*

(2012) si bien se usan en concentraciones muy bajas, el precio de ellos no puede competir con los productos orgánicos sintéticos lo cual dificulta su almacenamiento.

2.3.8.2 Familias de plantas con poder insecticidas de uso más frecuente

Familia Meliaceae. En general, los limonoides y los terpenoides son compuestos con propiedades insecticidas, es decir, moléculas activas contra los insectos. La mayoría de los extractos de estas plantas tienen efectos anti-apetito y reductores del crecimiento, pero no son tóxicos. (Mordue & Nisbet, 2000).

Familia Piperaceae. Es una fuente tradicional de especies insecticidas -pimienta blanca y negra- y de medicamentos. Estos compuestos son insecticidas y presentan una toxicidad aguda, y sus moléculas activas son la piperamida, seguida de los -*lignano-s* y el -*ácido benzoico*-. Además, la *Piperaceae* se caracteriza por la producción de sinergistas, es decir, cuando se combina con productos con efectos insecticidas, es capaz de producir un efecto mayor al esperado. (Mordue & Nisbet, 2000).

Familias Liliaceae -*Allium*-. En el caso de -*Allium*-, las moléculas volátiles de azufre se obtienen a partir de aminoácidos azufrados, que se almacenan en el citoplasma celular en forma de bipéctidos. (Mordue & Nisbet, 2000).

Familia Brassicaceae -*Crucíferas*-. Según (Mordue & Nisbet, 2000) los -*glucosinolatos*- son los compuestos de azufre más estudiados de la familia de las crucíferas y producen moléculas de azufrados volátiles durante la descomposición de los tejidos vegetales. Si bien a nivel mundial se han realizado numerosos estudios sobre procesos de extracción y formulación para el control de

plagas mediante plaguicidas orgánicos, existen pocos estudios sobre la aplicación de este tema en la agricultura en nuestro país.

2.3.8.3 Metabolitos secundarios

En los últimos años está volviendo el uso de plantas como fuente de plaguicidas, lo cual es seguro para el ser humano y el medio ambiente, ya que las plantas producen metabolitos secundarios como mecanismo de defensa de las plantas *(Celis et al., 2008).* Los Metabolitos Secundarias -M. S-, se producen después del crecimiento normal de los microorganismos, se acumula cuando las condiciones son desfavorables para el crecimiento, como los antibióticos. (Trease, 1991). Según Cuvi (2018) los metabolitos secundarios, son moléculas sintetizadas por ciertos microorganismos que suelen presentarse más adelante en el ciclo de crecimiento. (Mateos, 2014), cuyas características son:

a) No son necesarios para el crecimiento de los microorganismos que los producen.
b) En su estado natural, su función está dirigida a la supervivencia de la especie, pero cuando estos microorganismos se desarrollan en cultivo puro, los metabolitos no realizan esta tarea.
c) Además, estos compuestos se presentan como mezclas de productos químicamente

Los terpenoides. Los terpenoides, o isoprenoides, se derivan de la fusión de unidades de cinco carbonos denominadas isoprenos -C5- y se clasifican según el número de unidades de isopreno a partir de las cuales se forman. En las plantas, el isopreno básico utilizado para sintetizar terpenos es el pirofosfato de isopentenilo -IPP- o su isómero pirofosfato de dimetilalilo -DMAPP. Hay dos rutas sintéticas, una es la ruta del mevalonato en el citoplasma y la otra se denomina ruta DXP, que es independiente de la ruta del mevalonato y procede en el plástido. Los -*sesquiterpenos, triterpenos y politerpenos*- se producen en el citoplasma y el retículo endoplásmico, mientras que

los -*monoterpenos, diterpenos, tetraterpenos y* algunas *isoprenoquinonas*- se derivan de los plástidos *(Eisenreich et al., 2001).* Los -*monoterpenoides*-, como el mentol, son un agente antibacteriano, un repelente de insectos y las piretrinas, que actúan como venenos para el sistema nervioso de los insectos.

Los alcaloides. Los alcaloides son compuestos heterocíclicos, generalmente sintetizados a partir de aminoácidos como -*triptófano, tirosina, fenilalanina, lisina, arginina y ornitina*-, solos o en combinación con terpenoides. Aunque tiene efectos inhibitorios sobre el crecimiento de microorganismos patógenos, tiene la capacidad de insertarse en el ADN, detener la síntesis de proteínas, inducir la apoptosis e inhibir las enzimas metabolizadoras de carbohidratos (Wink, 1999). En general, la síntesis de alcaloides constitutivos aumenta por el daño causado por insectos depredadores. Sin embargo, otros alcaloides, como los derivados -*N-acilnicotínicos*- de -*Nicotiana sylvestris Speg.*- *y* -*Comes*- que se sintetizan de novo y solo se sintetizan cuando la planta se lesiona. La cantidad de derivados de nicotina acumulados en las hojas heridas es suficiente para reducir el consumo y el crecimiento de las larvas de -*Manduca sexta L*-. (Baldwin & Ohnmeiss, 1993).

Fenilpropanoides. Estos compuestos se caracterizan por tener un anillo aromático con uno o más grupos hidroxilo en su estructura y son sintetizados a partir de un precursor común, el ácido cinámico, el cual es sintetizado a partir de la fenilalanina por la actividad derivada de la fenilalanina amoniaco liasa. Por ejemplo, los -*fenilpropanoide-s* simples como el ácido cafeico, el ácido ferúlico y el ácido clorogénico, así como las -*antocianinas flavonoides*- que se encuentran en varias frutas y verduras, son poderosos antioxidantes que pueden consumir H2O2 y ayudar a regular el estado redox de las células durante momentos de estrés *(Rice et al., 1997).*

2.3.8.4 Método de destilación

Este es un método que requiere calor como fuente principal, ya que funciona para ingredientes activos termoestables, separa mezclas volátiles de mezclas no volátiles o no volátiles en función de la volatilidad o diferentes puntos de ebullición de los componentes de la planta (Sánchez, 2013).

Por Arrastre de vapor. Esta técnica de destilación al vapor se utiliza para separar sustancias que son insolubles en agua. Tienen un alto punto de ebullición y se descomponen durante la destilación. Del mismo modo, se utiliza para depurar sustancias que se encuentran contaminadas con gran cantidad de impurezas de resinas, y para separar sólidos que no arrastran debido a sus altos puntos de ebullición (Yurkanis, 2013). Esta técnica se utiliza para separar compuestos volátiles, insolubles en agua y ligeramente volátiles de aquellos productos no volátiles con los que se mezclan (Gonzales, 2004).

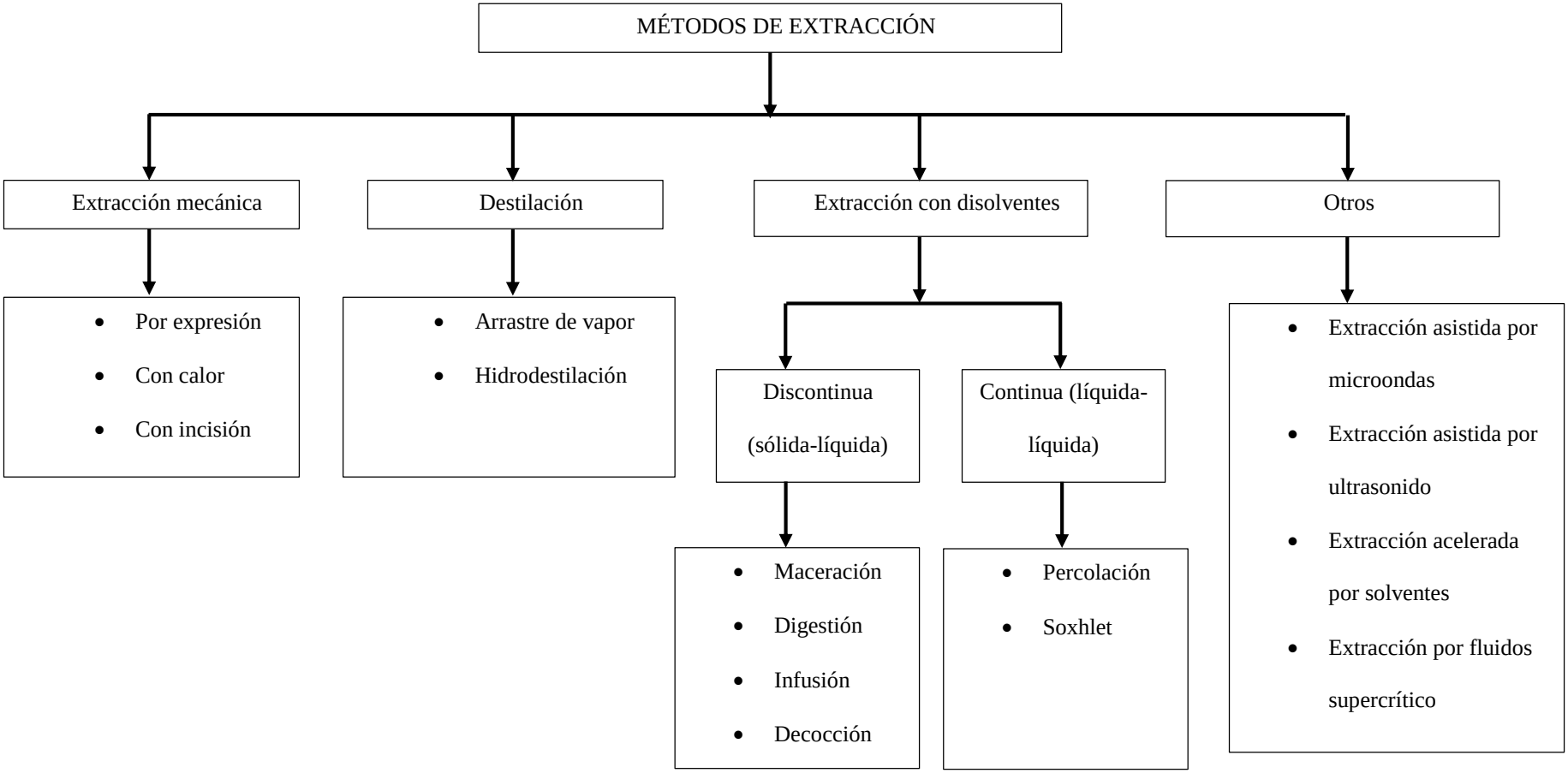
Este tipo de extracción solo funciona cuando si el vapor puede llegar a tener contacto directo con el material vegetal, haciendo que compuestos aromáticos se evaporen para posteriormente ser llevado al condensador, donde se condensan junto con el vapor de agua (Cuvi, 2018). Además, la temperatura del vapor hace que las células lleguen a desconponerse y liberan más compuestos esenciales.

Productos obtenidos con arrastre con vapor. En realidad, se obtienen dos productos en el proceso, uno es un aceite esencial, que durante mucho tiempo ha recibido atención general, y que muchas veces se recircula al calderín para reutilizar el agua, también puede contener sustancias odoríferas y de interés, a este producto se le conoce como hidrosol y existen algunos hidrosoles

que son de interés en la industria de aromas, bien sea como ingrediente o como precursores de otras clases de productos (Cuvi, 2018).

Figura 6

Métodos de extracción



Nota. Información adapatada del estudio de (Cuvi, 2018)

Realizado por: Autor (2022)

CAPÍTULO 3

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Nivel de investigación

El nivel de investigación pertinente es de tipo experimental y orden cuantitativo, donde se interpretarán los datos obtenidos durante su desarrollo, dando a conocer su posible efecto beneficioso de la aplicación de este aceite esencial -*Tanacetum parthenium L*- para el biocontrol de -*Sitophilus Zeamais M*- en granos almacenados y se aplicará una serie de procesos estadísticos que darán como opción la toma de decisiones.

3.2 Diseño de investigación

La investigación en cuestión se desarrolla bajo un panorama que se rige a la siguiente metodología:

3.2.1 Extracción de aceite esencial - Tanacetum parthenium L.-.

Debido a la sensibilidad de los compuestos aromáticos del -*Tanacetum parthenium L*-, según *Armijo et al., (2012) la* opción más óptima para la obtención del aceite esencial fue el arrastre de vapor. La materia prima fue recogida y almacenada en estado de floración de Santa María, en la parroquia Guapán, luego se lavaron y esterilizan con agua destilada con hipoclorito de sodio al 1%. Posteriormente, el material vegetal se seca a temperatura ambiente durante cuatro a cinco días, cuidándola del sol y finalmente se comenzó a cortar el material vegetal – ver anexo A.

La destilación al vapor se realizó en el Laboratorio la Universidad Politécnica Salesiana, con un equipo de destilación capaz de destilar 2 kg de materia prima -*Tanacetum parthenium L*- en un periodo de 2 horas, con la finalidad de realizar la separación de agua de aceites esenciales se

realizó en un decantador de 500 mL y purificación mediante centrífuga a 2.500 rpm durante 8 minutos – ver anexo B-.

Para la conservación de los aceites esenciales se utilizaron los frascos Ambar, el cual se lo utilizar con frecuencia para preservar este tipo de aceites dentro de un laboratorio. Según (CIS-LAB, 2015) los frasco ámbar evita o disminuye que pase mucha luz a través de los aceites esenciales, lo que ayuda a que estos aceites no se degraden demasiado rápido, ya que son volátiles.

3.2.2 Crianza de Gorgojo de maíz

En primer lugar, se debe exponer los granos a -6°C durante cuatro días antes de introducir adultos de -*Sitophilus zeamais*- para eliminar contaminantes que puedan existir (Domingues et al., 2020). Para establecer colonias para los tratamientos, se empleó el método descrito por *Cerna et al. (2010)*, quien establece que primero se deben extraer los insectos adultos no esterilizados de maíz infestado y colocarlos en recipientes de vidrio con granos de maíz sanos durante 8 días. Después del período de desove, se deben retirar los insectos adultos y la cámara de crianza con grano de desove se debe mantener a una temperatura de 25 ‡ 2 °C y un fotoperíodo de 18:6 horas luz: oscuridad hasta que se obtenga la siguiente generación – ver anexo C-.

La obtención y crianza de los insectos *Sitophilus zeamais* se realizó en la parroquia Tarqui [coordenadas -2.978659, -78.986298], y en los laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana, en cultivos de agricultores de la región que almacenan maíz de la variedad “Zhima” sin pesticidas químicos para evitar falsos resultados. Asimismo, en esta zona se obtienen granos de maíz para la cría de insectos – ver anexo D-.

3.2.3 Elaboración de bioinsecticida de -Tanacetum parthenium L-.

Para la formulación del bioinsecticida se usó la metodología descrita por Espinoza (2021) y haciendo un cuadro comparativo con ciertas modificaciones. Se agregó el aceite esencial -

Tanacetum parthenium L-. para cada formula gota a gota la cantidad de cada uno en una concentración %V/V en polisorbato 20 o monolaurato de polioxietilen (20) sorbitano, conocido también como Tween 20, el cual es un tensoactivo cuya ausencia de toxicidad permite su uso como detergente y como emulsionante. Para *Kothekar et al., (2007)* este tensoactivo es no iónico y aprobado por la Unión Europea Se utilizó además agua altamente destilada de un sistema Milli-Q®, esta se obtiene tras la producción de agua purificada y agua ultrapura en un solo equipo de fabricación -ver anexo E-.

3.2.4 Preparación de las muestras

Se procede a obtener la semilla de la variedad "Zhima" en la parroquia Tarqui y colocarlos mediante pesaje de 5 Kg de peso inicial por tratamiento en cajas de madera de 30 x 40 cm, donde este fue almacenado por un periodo de 45 días con sus respectivos tratamientos. Estos recipientes estuvieron ubicados aleatoriamente en condiciones ambientales normales -temperatura ambiente. Se trabajó con base en un sistema de comparación entre tratamientos y un testigo o blanco que permita la comparación y efectividad de la muestra – ver anexo F-.

En el presente estudio se analizaron 200 insectos sin sexar los cuales fueron tomados de la cámara de crianza con 4kg de granos de maíz sano, posteriormente se inoculo 20 insectos adultos sin sexar y 20 granos infectados en cada tratamiento incluyendo el testigo referencial – ver anexo G-.

En cuanto a los insectos, se recolectaron especímenes gorgo de maíz en 4 hectáreas en el área de Tarqui en las coordenadas -2.978659, -78.986298. Los adultos se identificaron mediante claves taxonómicas de Gorham (1999), los cuales se mantuvieron en frascos de vidrio de 1 L con maíz blanco nacional -*Zea mays L*- como sustrato alimentario a 27 ± 1 °C y HR de 70 ± 5 %.

Se procedió a colocar cada uno de los componentes dentro de vasos plásticos con 20 g de maíz, luego, para luego cubrirlos por medio de tapas perforadas y cubiertas con tela tul lo que ayudará a generar el intercambio gaseoso y evitar que los insectos escapen. Los contenedores se agitaron a mano durante dos minutos y se infestaron con 10 adultos en un diseño completamente al azar con 4 repeticiones por tratamiento, con resultados determinados después de 3 días en concentraciones de 0, 5, 1, 2 ,4% (Espinoza L. , 2021).

3.2.5 Tratamientos del grano de maíz de variedad "Zhima"

Para evaluar la eficacia del aceite esencial de -*Tanacetum parthenium -L* en el biocontrol de -*Sitophilus zeamais M*-, se han establecido varios tratamientos (cuatro aplicaciones prácticas con tres replicas) y un testigo referencial para contrastar las variables dependientes e independientes de la investigación. Se inicia con una carga original de 5 kg de material. – ver anexo H-

3.2.6 Limpieza y pesaje del grano de maíz de variedad "Zhima"

En este proceso de hizo la limpieza total de las cajas cada 15 días, retirando el polvo de los granos consumidos por el gorgojo de maíz y lo cual bajo su peso inicial de 5 kg. Conforme el insecto avanza en su desarrollo, reproducción y consumo de material, produce un consumo de grano y posterior limpieza del polvo residual de cada caja, se vuele a pesar, apreciando o la pérdida efectiva de masa en el sistema. Este polvo residual es el resultado del avance del insecto a través del grano de maíz, el cual forma una canalización dentro del grano para su facilidad de deglución debido a la forma de su probóscide. -ver Anexo I-

Del mismo modo, el pesaje del grano de maíz de variedad "Zhima" se lo realizó a través de una balanza**.** Del mismo modo, se tomó en consideración lo descripto por la FAO (s.f) quien

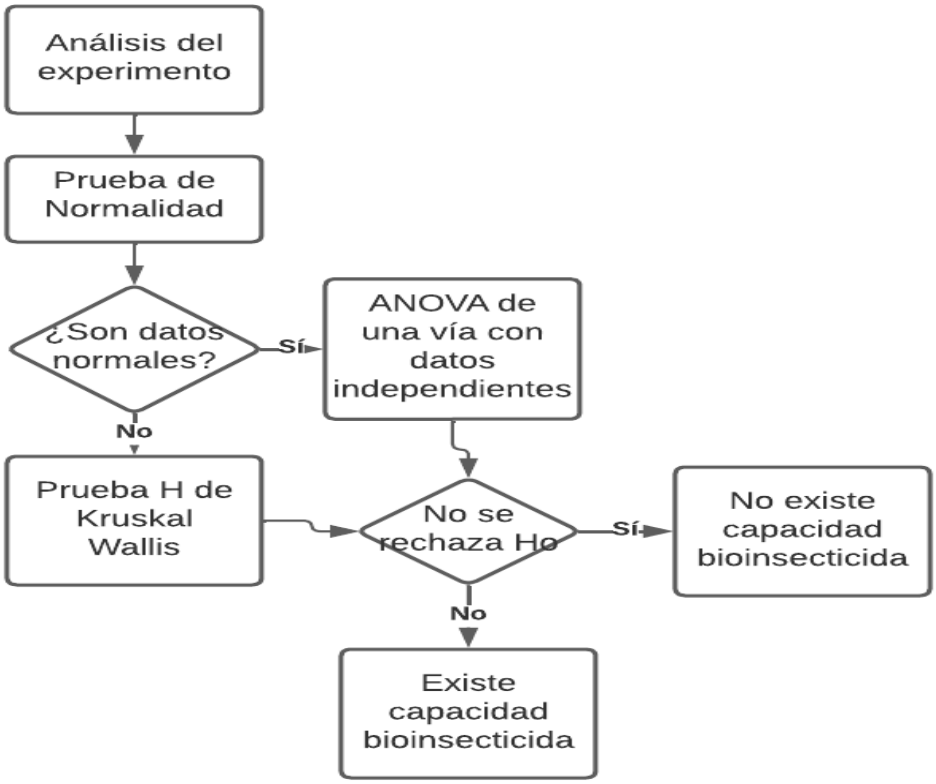
establece que, el tamaño y la forma del grano determinan su peso, asumiendo constantes factores como por ejemplos la textura de los granos de maíz y su densidad.

3.2.7 Diseño de experimental

Se buscó el diseño optimo con base en la información obtenida y se decidió seguir un esquema de trabajo similar al expuesto en el diagrama de flujo:

Figura 7

Flujo del diseño estadístico



Nota: El análisis de normalidad se lo realiza mediante un test similar a Shapiro-Wilk.

Realizado por: Autor (2022)

3.3 Población y muestra

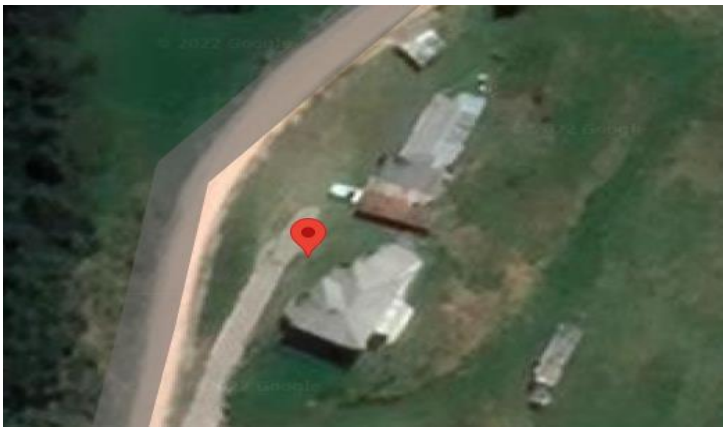
La población fue de 200 adultos sin sexar en la parroquia Tarqui, seleccionados aleatoriamente de maíz infestado, en cada caja de tratamientos se ubicaron 20 granos infectados con 20 adultos sin sexar.

La materia prima fue recolectada en estado de floración de Santa María, en parroquia de Guapan,

El experimento se llevó al cabo entre los meses de mayo-julio donde se inició una serie de análisis y aplicaciones del bioinsecticida, el cual se llevó a cabo la investigación se encuentra ubicada en la parroquia rural de Tarqui, cantón Cuenca, provincia del Azuay. Se trabajó con muestras de 5 Kg de peso inicial para cada tratamiento incluidos los testigos de granos secos de maíz, de la variedad “Zhima”. Se presume que la cantidad mínima necesaria es pertinente con base en investigaciones similares (Espinoza L. , 2021) aunque se realizarán variaciones.

Figura 8

Ubicación, parroquia Turquí



Nota: Imagen obtenida por medio del portal Google Earth

Tabla 4

Latitud y longitud de la ubicación en cuestión

Latitud	Longitud
-2.978659	-78.986298

Realizado por: Autor (2022)

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La investigación inició su desarrollo a través del uso de la técnica de inducción y deducción basada en la observación de los resultados que han sido obtenidos por autores similares y por la relación fuerte existente entre el biocontrol de algunos insectos fruto del uso de aceites esenciales. Se realizó un proceso experimental a nivel de campo, donde se trabajó con distintas concentraciones de 5, 7.5, y 12.5% de relación volumen-volumen entre el sustrato -aceite esencial de *Tanacetum parthenium*- y su solución. Este análisis experimental se basó principalmente en las diferentes masas estimadas a lo largo del proceso y que cambiaron debido a la inoculación previa de -*Sitophilus zeamais*-.

Las técnicas e instrumentos de recolección de datos, se iniciaron con una revisión bibliográfica de documentos, tesis, manuales científicos, revistas, artículos científicos tablas estadísticas e investigaciones afines, se realizó una observación documental mediante una matriz de datos donde se recolectará información por etapas. Adicionalmente, la parte experimental de proyecto fue evidenciado con un conjunto de instrumentos como, fotos, diarios de campo, matriz de datos, se usará posteriormente todos estos datos recolectados en programas estadísticos como: Minitab y R studio para iniciar con el análisis estadístico pertinente (Hurtado & Silvente, 2012).

3.5 Variables

- **Variables dependientes:** Numero y peso de granos afectados por Gorgojo de Maíz -*Sitophilus zeamais*-.

- **Variables independientes:** Aplicación a diferentes dosis de bioinsecticida en los respectivos tratamientos.

  Intervalos de aplicación del bioinsecticida
- **Variables intervinientes:** Temperatura, humedad, clima

3.6 Método de manejo estadístico de datos

Los datos obtenidos, fueron analizados, para posteriormente clasificarlos y tabularlos, con el objetivo de obtener resultados precisos. Por lo tanto, se utilizará el programa estadístico Minitab. Posteriormente se inició con un test de Anderson Darling para el análisis pertinente de la información, bajo la premisa de reconocer si los datos son estadísticamente normales. Posterior a ello, una vez conociendo dicha información se escogió un método paramétrico o no paramétrico según sea el caso. En caso de optar por métodos paramétricos se procedió a realizar un ANOVA de una sola vía utilizando el factor "bioinsecticida" bajo tres niveles de diferentes concentraciones.

3.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se buscó el diseño optimo con base en la información obtenida y se decidió seguir un esquema de trabajo similar al expuesto en el diagrama de flujo, esta representación gráfica es el algoritmo que se ha utilizado para estudiar la eficiencia del aceite esencial -*Tanacetum parthenium*- en el combate del gorgojo de maíz -*Sitophilus zemais*-, esto gracias al análisis de la normalidad de los datos, los supuestos de funciones paramétricas y tomando una decisión al respecto del estadístico más pertinente a la hora de estudiar el avance del gorgojo de maíz

Los datos obtenidos son el resultado de 4 tratamientos con 3 repeticiones dilatadas 15 días cada una. Los ensayos se han compilado en un estadístico tipo ANOVA que recolecta la información obtenida tras un ensayo de aplicación, conteo y muestra de un grupo de granos aislados en cajas para evitar factores de ruido.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Extracción del aceite esencial

La producción del aceite esencial se realizó en un periodo de 14 días consecutivos de trabajo y la adición de 23,5 kg de materia prima -*Tanacetum parthenium L.*-, desecado y listo para el arrastre de vapor. Se obtuvo 10 mL de aceite esencial. -anexo J-. La densidad relativa del aceite obtenido se calculó usando la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$\rho = \frac{0{,}94\ [g]}{1\ [ml]} = 0{,}94\ \left[\frac{g}{ml}\right]$$

$$m = \rho v$$

$$m = 0.94\left[\frac{g}{ml}\right] * 10[ml] = 9{,}4\ [g]$$

Estos datos han sido conseguidos con el manejo de un recipiente graduado y calibrado, el uso de balanzas analíticas, este dato se aproxima a los encontrados por autores que han realizado un trabajo análogo como Espinoza (2021).

Finalmente, Espinoza (2021) en su estudio sobre la formulación de un bioinsecticida a partir de Santa María –*Tanacetum parthenium*- se obtuvo una densidad de 0,93 g/mL, utilizando un equipo de destilación por arrastre de vapor coincidiendo con los resultados de los autores anteriormente mencionados.

Podemos calcular el porcentaje de rendimiento utilizando la siguiente ecuación: (Ovares, 2016).

$$\%\ rendimiento = \frac{Ma}{Mp}(100)$$

Donde Ma representa la masa de aceite esencial $[g]$ alcanzada durante el proceso y Mp la materia prima utilizada$[g]$. Estos valores se obtienen tras el proceso de destilación por arrastre de vapor. Se utilizaron 23,5 kg de materia prima en una masa estimada de 9,4 gramos de aceite esencial. El rendimiento del material es de aproximadamente un 0,04%. Un rendimiento relativamente bajo conforma el tiempo y el material utilizado.

$$\%rendimiento = \frac{9{,}4\ [g]}{23500\ [g]}(100) = 0{,}04\%$$

Esto concuerda con varios autores afines al tema que declaran un rendimiento por debajo de un 2% del peso del material vegetal utilizado como Espinoza (2021) obtuvieron un rendimiento del -*Tanacetum parthenium*- de 0,039, lo cual equivaldría al 0,04%, un resultado igual al de la presente investigación. Siguiendo un mismo enfoque el autor Shafaghat (2016), en su estudio sobre la composición química y la actividad antimicrobiana de los aceites esenciales de -*Tanacetum parthenium*- obtuvo un rendimiento del 0,8%.

Finalmente, en el estudio realizado por Bravo (2019), el cual se basó en determinar la actividad insecticida, repelente y antialimentaria del aceite esencial del molle -*Schinu molle*- en trips -*Frankliniella occidentalis*-. Obteniendo un rendimiento del aceite esencial situado en 0,10%. Es necesario aclarar que este autor utilizó el mismo equipo para la extracción del aceite que en el presente estudio.

4.2 Crianza del Gorgojo de maiz

En el estudio realizado por (Espinoza L. , 2021) se establecieron colonias para bioensayos seleccionando al azar 100 adultos sin sexar y colocándolos en una cámara de reproducción que contenía 2 kg de granos de maíz no infectados durante 5 días. Luego del período de desove, se retiraron los adultos y se mantuvo la cámara de desove a una temperatura de 25 ‡ 2°C y un

fotoperíodo de 18:6 horas luz: oscuridad hasta obtener la siguiente generación. Partiendo de esta metodología para el presente estudio se analizaron 200 insectos sin sexar los cuales fueron puestos en una cámara de crianza con 4kg de granos de maíz sano, posteriormente se inoculo 20 insectos adultos sin sexar y 20 granos infectados en cada tratamiento incluyendo el testigo referencial por un periodo de 10 días antes de aplicar el primer biocontrol, para que no exista resultados erróneos.

El proceso de identificación de insectos adultos es relativamente fácil, hacen un agujero al grano de maíz hasta llegar a su valor nutricional ovopositan los huevos en el interior en un lapso de tiempo de 15 a 17 días los adultos salen al exterior del grano, lo cual, los insectos utilizados fueron los que se encontraron en exterior del grano.

En el proceso de oviposición cada hembra deposita de 200 a 400 huevecillos. Antes de ovipositar, la hembra hace una perforación en el grano, enseguida deposita el huevecillo en esta cavidad y lo cubre con un fluido gelatinoso (BAYER, s.f).

También *Silveiro et al.*, (2003) indica que las hembras colocan uno o dos huevos en los agujeros que hacen en el interior del grano y luego los cubren con una mucosidad clara, lo que no concuerda con lo logrado en la crianza, ya que, en varios granos se observó el crecimiento de 5 a 6 insectos adultos, los cambios observados podrían ser debido a la cantidad de maíz empleado, temperatura.

La crianza se llevó a cabo en 45 días, lo cual, los resultados obtenidos no están entre los rangos propuestos, puede ser debido de las condiciones que se realizó la crianza, condiciones de temperatura, por lo que, a temperaturas bajas el desarrollo del insecto disminuye. Cuando alcanzan la edad adulta, perforan el grano y se introducen en la endosperma donde se encuentra el valor nutricional del grano. En los primeros 25 días se desarrolló la primera generación. Su ciclo de vida depende de la temperatura, pero varía entre 30 y 113 días (Silveiro et al., 2003). En regiones templadas, hay de 2 a 3 generaciones por año. –ver anexo K-

4.3 Elaboración del bioinsecticida de -*Tanacetum parthenium L*-.

Se inició con la comparación y elaboración del bioinsecticida según las especificaciones y formulación consideradas por Espinoza (2021). En este archivo se compila el proceso de fabricación y los ingredientes – agua pura Milli-Q®. - y -tween 20- utilizados para el diseño de un bioinsecticida evaluado experimentalmente. Se requiere en esencia la extracción durante 6 días aproximadamente de aceite esencial. Debido a la cantidad necesaria de material para hacer la extracción del aceite -de 12 kg- se logra obtener teóricamente 5 ml, siendo esto una curva exponencial que muestra menos obtención conforme aumenta el tiempo de exposición- la formulación del bioinsecticida contendrá trazas variables de este aceite, siendo la variación del mismo la principal variable independiente a considerar.

Se partió de esta formulación para las respectivas dosificaciones en los tratamientos, lo cual, ira variando las concentraciones de aceite esencial de -*Tanacetum parthenium L*-, obteniendo:

La primera dosificación de 16 mL de surfactante – Polisorbato 20 en un vaso de precipitación con agitación magnética, luego se adicionó 2 mL del ingrediente activo –aceite esencial -*Tanacetum parthenium L*- lentamente a temperatura ambiente, y por último se añadió 22 mL de agua pura Milli-Q®.

Luego se presenta la segunda dosificación de 16 mL de surfactante – Polisorbato 20 en un vaso de precipitación con agitación magnética, luego se adicionó 3 mL del ingrediente activo – aceite esencial -*Tanacetum parthenium L*- lentamente a temperatura ambiente, y por último se añadió 21 mL de agua pura Milli-Q®. –ver anexo L-.

Posteriormente, se obtuvo la tercera y última dosificación: 16 mL de surfactante – Polisorbato 20 en un vaso de precipitación con agitación magnética, luego se adicionó 5 mL del ingrediente activo aceite esencial -*Tanacetum parthenium L*- lentamente a temperatura ambiente,

y por último se añadió 19 mL de agua pura Milli-Q®, esta información de formulación para las respectivas dosificaciones partimos de (Espinoza L. , 2021).

A continuación se presenta un cuadro comparativo del bioinsecticida elaborado por (Espinoza L. , 2021) y el realizado en el presente estudio.

Tabla 5

Comparativa entre (Espinoza, 2021) y (Vélez, 2021)

Componente	(Espinoza L. , 2021)	(Vélez, 2022) Primera dosificación	(Vélez, 2022) Segunda dosificación	(Vélez, 2022) Tercera dosificación
Aceite esencial -*Tanacetum parthenium L-*	2mL	2mL	3mL	5mL
-*Surfactante* – *Polisorbato-*	16 mL	16 mL	16 mL	16 mL
Agua *pura Milli-Q®*	22 mL	22 mL	21 mL	19 mL

Nota. Adaptada de información obtenida de la tesis de (Espinoza L. , 2021) e información del presente estudio.

Realizado por: Autor (2022)

La aplicación se realizó bajo concentraciones de 2 mL, 3 mL y 5 mL del aceite esencial *de -Tanacetum Parthenium L-*, con los ingredientes del Bioinsecticida, Tween 20 y Agua *pura Milli-Q®* en un contenido neto de 40 mL – ver anexo M-.

En la presente ecuación se observa los porcentajes volumen-volumen para cada bioinsecticida fabricado con aceite esencial, según lo demostrado la siguiente ecuación:

$$\%\frac{V}{V} = \frac{Volumen\ soluto\ (100)}{Volumen\ solución}$$

$$\%\frac{V}{V} = \frac{2(100)}{40} = 5\%\frac{V}{V} Formula\ 1$$

$$\%\frac{V}{V} = \frac{3(100)}{40} = 7.5\%\frac{V}{V}\ Formula\ 2$$

$$\%\frac{V}{V} = \frac{5(100)}{40} = 12.5\ \%\frac{V}{V}\ Formula\ 3$$

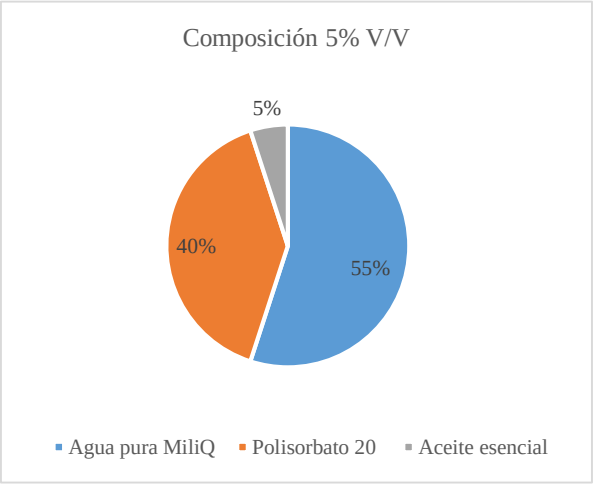
Estas ecuaciones exponen las concentraciones en volumen sobre volumen de cada uno de los Bioinsecticidas aplicados (Quílez, 2006).

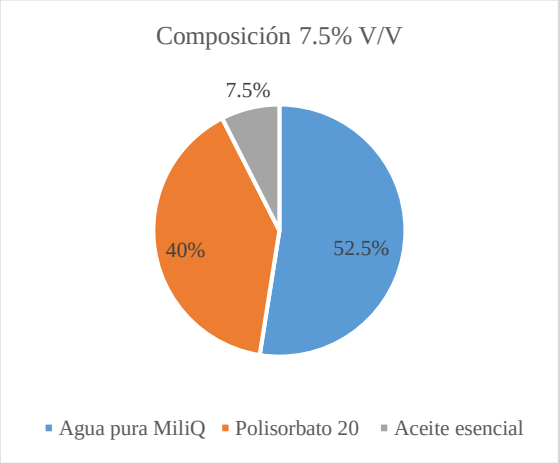
- Aplicación del bioinsecticida de -*Tanacetum parthenium*- cada 15 días, a los tratamientos con sus respectivas dosificaciones – ver anexo N-.
- Testigo referencial: se basará únicamente en granos colocados inicialmente sin dosificaciones.

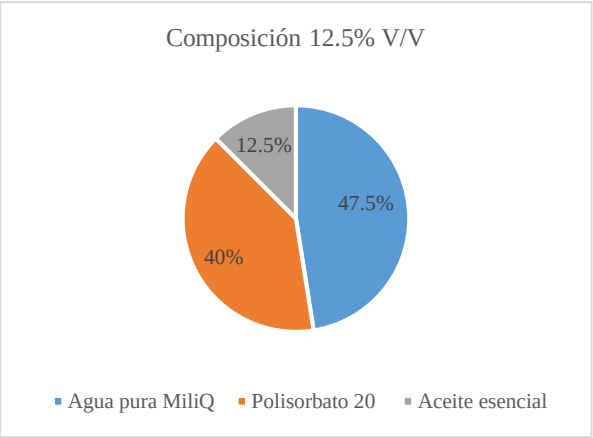
La composición porcentual de cada bioinsecticida aplica se muestra porcentualmente a continuación:

Figura 9

Contenido porcentual %V/V de los bio-insecticidas utilizados





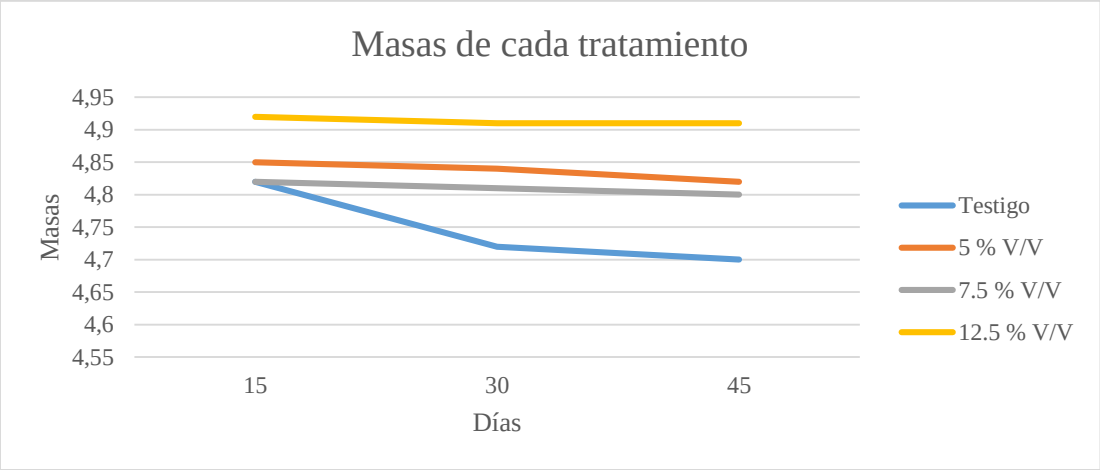


Nota: Detalle porcentual del contenido de los aplicativos fabricados a base de *Tanacetum Parthenium*.

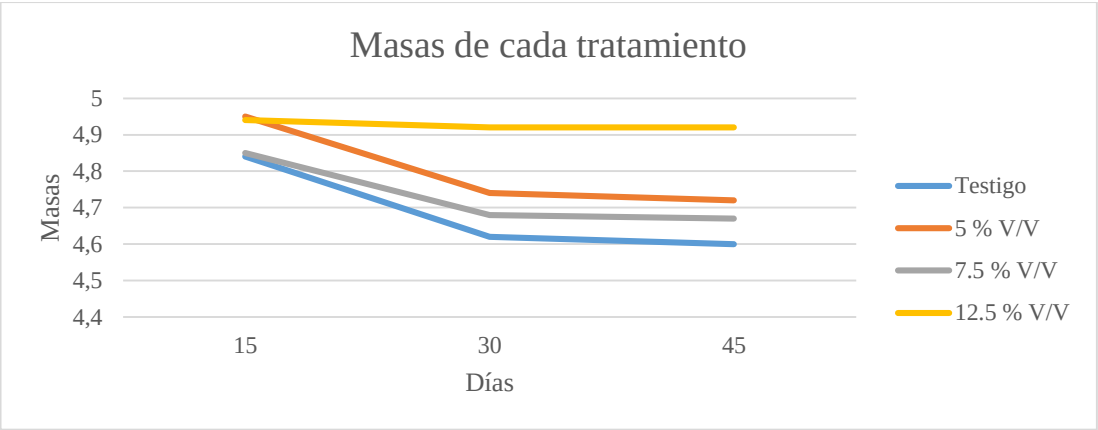
Realizado por: Autor (2022)

Figura 10

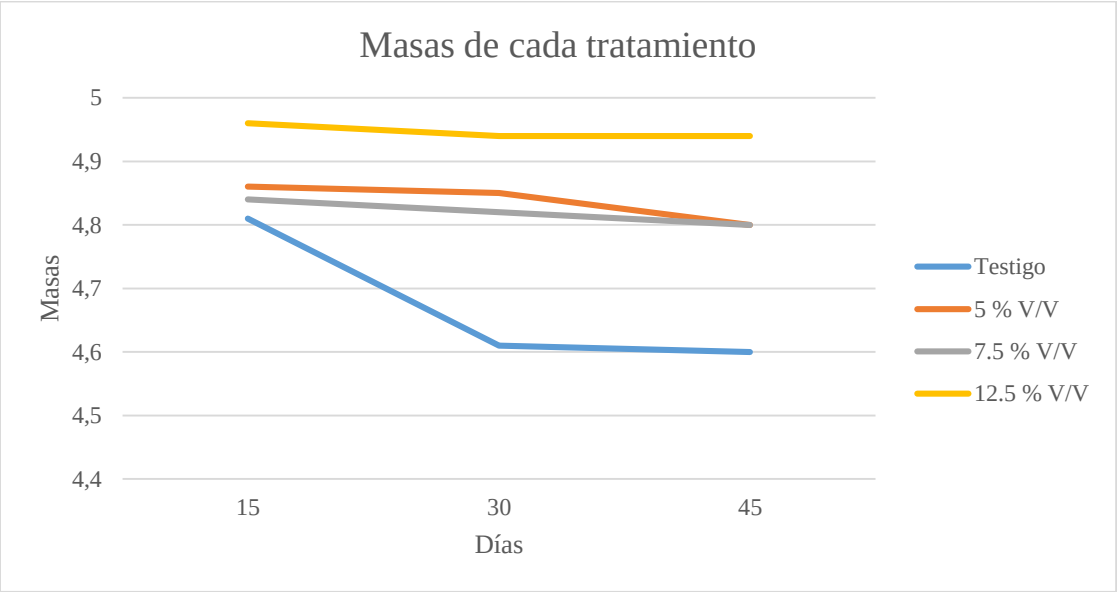
Masas referentes de cada tratamiento



Nota: La gráfica muestra la pérdida de masa durante los días en los cuales el insecto a consumido paulatinamente el grano. En esta imagen comprendemos como el tratamiento con mayor porcentaje de aceite esencial ha mantenido la masa casi constante a lo largo del tiempo, a diferencia del testigo (sin tratamientos) que ha mostrado un decrecimiento constante de la masa de grano presente. El cuadro muestra los datos obtenidos por la primera réplica (Gustavo Vélez, 2022)



Nota: La gráfica muestra la pérdida de masa durante los días en los cuales el insecto a consumido paulatinamente el grano. En esta imagen comprendemos como el tratamiento con mayor porcentaje de aceite esencial ha mantenido la masa casi constante a lo largo del tiempo, a diferencia del testigo (sin tratamientos) que ha mostrado un decrecimiento constante de la masa de grano presente. El cuadro muestra los datos obtenidos por la segunda réplica (Gustavo Vélez, 2022)



Nota: La gráfica muestra la pérdida de masa durante los días en los cuales el insecto a consumido paulatinamente el grano. En esta imagen comprendemos como el tratamiento con mayor porcentaje de aceite esencial ha mantenido la masa casi constante a lo largo del tiempo, a diferencia del testigo (sin tratamientos) que ha mostrado un decrecimiento

constante de la masa de grano presente. El cuadro muestra los datos obtenidos por la tercera réplica (Gustavo Vélez, 2022)

4.4 Determinación de efectividad de bioinsecticida -*Tanacetum parthenium L*-

Para determinar la efectividad del bioinsecticida sobre los insectos -*Sitophilus zeamais M.*, se requirió de un análisis del peso de cada tratamiento. Se inició con una carga másica de 5 kg tanto para los testigos como para los tratamientos. Conforme el insecto fue desarrollando, este consumía parte del maíz, cada 15 días estos tratamientos eran pesados nuevamente -esto después de limpiar todo el polvo restante, fruto del consumo por parte del -*Sitophilus zeamais M*-, como resultado, la masa original disminuía demostrando la proliferación de los insectos y su desarrollo viable ver anexo O-.

Los granos utilizados al comienzo del análisis bordean los 8.500 objetos aproximadamente con un peso inicial de 5 kg, se inoculo los insectos y granos afectados en los tratamientos en un periodo de 10 días, evidenciando así el desarrollo del insecto en los granos afectados colocados en cada tratamiento, posteriormente se procedió aplicar el primer biocontrol. En los primeros 15 días de tratamiento, tras una limpieza de polvo residual presente en las cajas, en el Testigo 1 se ha encontrado una reducción de la masa de 5 kg a 4,82 kg, en ese momento se realizó un conteo manual de granos afectados, dando un aproximado de 306 granos, esto congruente con la masa nos ayudó a trabajar este conteo, evitando un trabajo manual y utilizando la ecuación lineal 4. Esto se realizó en un periodo de 15 días donde los datos fueron recolectados y expuestos para la realización de los estadísticos de prueba. Con relación a esta metodología, cabe recalcar que el principal factor indicador de la efectividad o inactividad del aceite esencial de -*Tanacetum parthenium L.*- en diferentes concentraciones, dependerá directamente de las masas y granos afectados, estimados durante este periodo de tiempo, todos los factores de ruido que pudiesen alterar las operaciones

estadísticas o alterar los resultados de los mismos han sido reducidos al mínimo, manteniendo las mismas condiciones tanto en el pesaje como en la aplicación cotidiana del bioinsecticida, con ayuda de una matriz de datos de campo de cada biocontrol en los tratamientos. -Ver anexo P-

A continuación, se exponen los datos compilados durante este proceso de aplicación y análisis de información:

Tabla 6

Información recolectada sobre masa estimada durante 45 días de aplicación de bioinsecticida en diferentes concentraciones.

Ensayo	Replicas	Testigo	Tratamiento1 5%V/V	Tratamiento2 7.5%V/V	Tratamiento3 12.5%V/V
15 días	(1)	4,82 Kg	4,85 Kg	4,82 kg	4,92 kg
15 días	(2)	4,84 Kg	4,95 kg	4,85 kg	4,94 kg
15 días	(3)	4,81 Kg	4,86kg	4,84 kg	4,96 kg
30 días	(1)	4,72 kg	4,84 kg	4,81 kg	4,91 kg
30 días	(2)	4,62 kg	4,74 kg	4,68 kg	4,92 kg
30 días	(3)	4,61 kg	4,85 kg	4,82 kg	4,94 kg
45 días	(1)	4,70 kg	4,82 kg	4,80 kg	4,91 kg
45 días	(2)	4,60 kg	4,72 kg	4,67 kg	4,92 kg
45 días	(3)	4,60 kg	4,80 kg	4,80 kg	4,94 kg

Nota: Todos los ensayos empezaron con una masa inicial de 5 kg de maíz y una carga igual de insectos

Realizado por: Autor (2022)

Tabla 7

Información recolectada sobre la perdida de granos afectados durante 45 días de aplicación de bioinsecticida

Ensayo	Replicas	Testigo	Tratamiento1 5%V/V	Tratamiento2 7.5%V/V	Tratamiento3 12.5%V/V
15 días	(1)	8194	8245	8194	8364
15 días	(2)	8228	8415	8245	8398

15 días	(3)	8177	8262	8228	8432
30 días	(1)	8024	8228	8177	8347
30 días	(2)	7854	8058	7956	8364
30 días	(3)	7837	8245	8194	8398
45 días	(1)	7990	8194	8160	8347
45 días	(2)	7820	8024	7939	8364
45 días	(3)	7820	8160	8160	8398

Nota: Todos los ensayos empezaron con una masa inicial de 5 kg de maíz y una carga igual de insectos.

Realizado por: Autor (2022)

Debido a la complejidad de realizar un conteo grano a grano se ha seguido una ecuación para la predicción de cuantos granos afectados existirán conforme la masa es estimada. Esto podemos verlo en la siguiente operación:

$$Número\ de\ Granos = \frac{Masa\ estimada * Granos\ iniciales}{Masa\ inicial}$$

$$Número\ de\ granos = \frac{4{,}82\ [kg] * 8500}{5\ [kg]} = 8194$$

Esta ecuación está construida con base en crecimiento lineal *(Martínez-Juste et al., 2022),*al realizar el pesaje usando la balanza de tipo analítica donde nos indica que por cada 0,010 $[g]$ existe $[16\ o\ 17\ granos\ aproximadamente]$, esto lo verificamos haciendo un conteo manual de granos, podemos predecir la cantidad de granos afectados, sabiendo que en un inicio se disponía de 5 kg de granos en el sistema, realizando un conteo a mano de alrededor de 8,500 granos en un inicio. Las muestras en los tratamientos con sus respectivas dosificaciones de aceite esencial fueron pesadas en una balanza de tipo analítica cada 15 días por consumo y desarrollo de -*Sitophilus zeamais M.*- en un periodo de 45 días-ver anexo Q-. para posteriormente recolectar todos estos datos en una matriz previamente diseñada.

4.4.1 Análisis de normalidad

Se realizó un test similar a Saphiro Wilk para estudiar la normalidad de los datos compilándolos en una columna y analizando cada uno de los tratamientos realizados.

Tabla 8

Tratamientos realizados

Testigo	4,82 Kg
Testigo	4,84 Kg
Testigo	4,81 Kg
Testigo	4,72 kg
Testigo	4,62 kg
Testigo	4,61 kg
Testigo	4,70 kg
Testigo	4,60 kg
Testigo	4,60 kg
Tratamiento 5%V/V	4,85 Kg
Tratamiento 5%V/V	4,95 kg
Tratamiento 5%V/V	4,86kg
Tratamiento 5%V/V	4,84 kg
Tratamiento 5%V/V	4,74 kg
Tratamiento 5%V/V	4,85 kg
Tratamiento 5%V/V	4,82 kg
Tratamiento 5%V/V	4,72 kg
Tratamiento 5%V/V	4,80 kg
Tratamiento 7.5%V/V	4,82 kg
Tratamiento 7.5%V/V	4,85 kg
Tratamiento 7.5%V/V	4,84 kg
Tratamiento 7.5%V/V	4,81 kg
Tratamiento 7.5%V/V	4,68 kg
Tratamiento 7.5%V/V	4,82 kg
Tratamiento 7.5%V/V	4,80 kg

Tratamiento 7.5%V/V	4,67 kg
Tratamiento 7.5%V/V	4,80 kg
Tratamiento 12.5%V/V	4,92 kg
Tratamiento 12.5%V/V	4,94 kg
Tratamiento 12.5%V/V	4,96 kg
Tratamiento 12.5%V/V	4,91 kg
Tratamiento 12.5%V/V	4,92 kg
Tratamiento 12.5%V/V	4,94 kg
Tratamiento 12.5%V/V	4,91 kg
Tratamiento 12.5%V/V	4,92 kg
Tratamiento 12.5%V/V	4,94 kg

Nota: La información fue compilada de las tablas de análisis cada 15 días expuesta anteriormente.

Realizado por: Autor (2022)

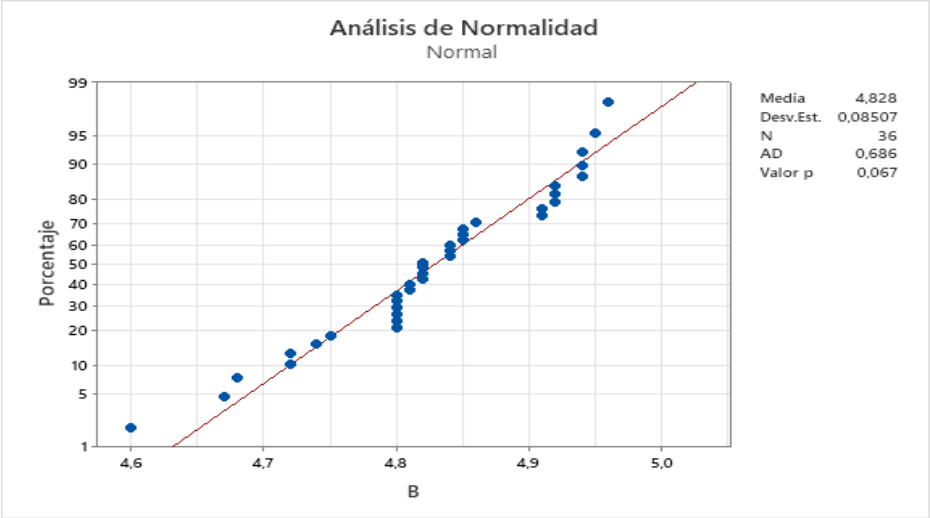
Para el análisis de normalidad se plantea la siguiente hipótesis:

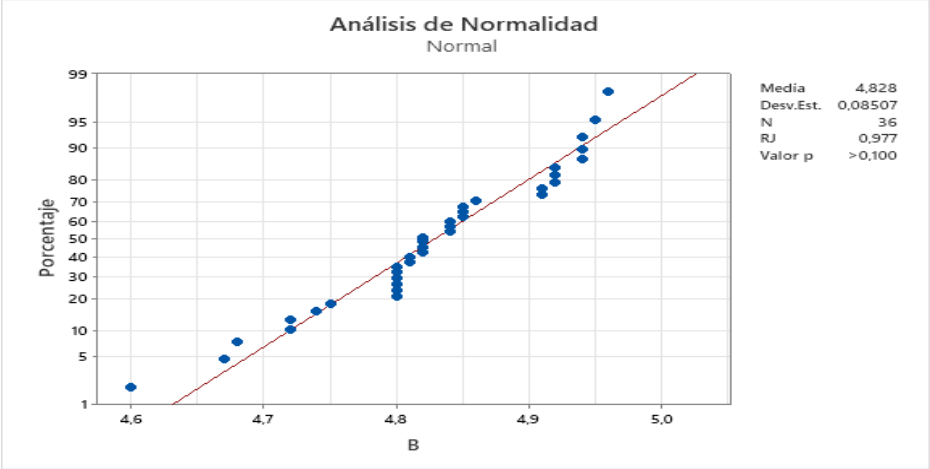
- Ho: Los datos corresponden a una distribución de tipo normal
- H1: Los datos corresponden a una distribución de tipo no normal

Utilizando una confiabilidad del 95% se ha determinado que los datos estimados siguen una distribución normal. La información obtenida nos muestra un valor p superior a 0,05, por ende podemos considerar a los datos con una distribución estadísticamente normal, conforme nuestra hipótesis nula dictaminaba (Porras, 2016; Herrera et al., 2012).

Figura 11

Test para análisis de normalidad





Nota*:* Se utilizó un test Anderson-Darling y un test Ryan-Joiner -similar a Shapiro Wilk-

Realizado por: Autor (2022)

Se usaron dos sistemas para el análisis de la normalidad, el test de Anderson Darling y el test de Ryan-Joiner -Similar a Shapiro-Wilk-. El modelo estadístico propuesto por Anderson-Darling se basa en la medición de datos según una distribución particular. Para un conjunto de datos y una distribución en particular, cuanto mejor se ajuste la distribución a los datos, más pequeña será esta estadística. En test de Ryan Joiner se evalúa la normalidad calculando la

correlación entre los datos y las puntuaciones normales de los datos. Si el coeficiente de correlación obtenido en el modelo estadístico presenta una puntuación cercana a 1, se considera que la población es normal. El estadístico de Ryan-Joiner evalúa la fuerza de esta correlación; si se encuentra por debajo del valor crítico apropiado, se rechaza la hipótesis nula de normalidad de la población. Esta prueba es similar a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk (Alin, 2010).

4.4.2 ANOVA

Una vez confirmada la normalidad de los datos, se realiza un ANOVA de un solo factor para estimar la efectividad del aceite esencial en el combate del gorgojo del maíz. Para este proceso se ha planteado las siguientes hipótesis:

- Ho: Los resultados obtenidos muestran medias de tratamientos iguales.
- H1: Las medidas obtenidas de los tratamientos no presentan relación o difieren unas de otras.

Todo esto con un nivel de confianza de un 95%. En este proceso se ha determinado lo siguiente:

Tabla 9

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
A	3	0,1353	0,045115	12,24	0,000
Error	32	0,1180	0,003686		
Total	35	0,2533			

Nota: Podemos observar los grados de libertad y el valor p estimado.

Realizado por: Autor (2022)

Tabla 10

Medias estimadas

A	N	Media	Desv. Est.	IC de 95%
Testigo	9	4,7711	0,0737	(4.7299; 4.8123)

Tratamiento 12.5%	9	4,92889	0,01691	(4.8876; 4.97011)
Tratamiento 5%	9	4,8256	0,06882	(4.7843; 4.8668)
Tratamiento 7.5%	9	4,7878	0,0661	(4.7466; 4.8290)

Nota: En el siguiente cuadro podemos observar las medias, la desviación estándar y los intervalos de confianza estimados según nuestros grados de libertad.

Realizado por: Autor (2022)

Para la diferenciación de los tratamientos se ha utilizado un test de comparación de parejas con el método de Tukey, donde hemos obtenido lo siguiente:

Tabla 11

Comparaciones en parejas de Tukey

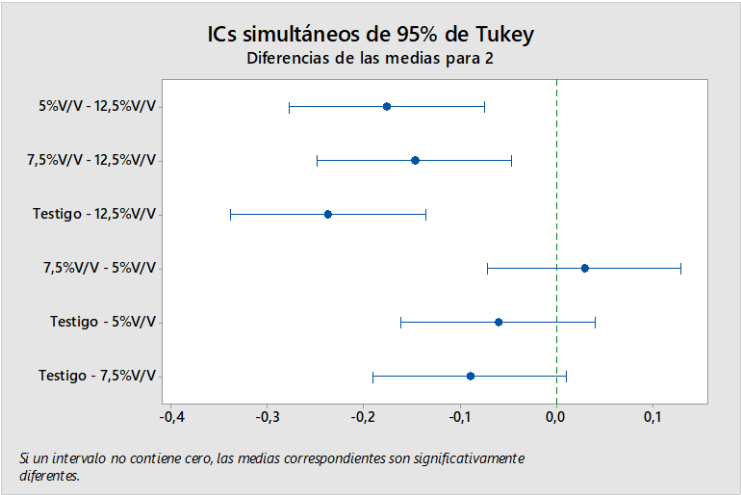
A	N	Media	Agrupación
Tratamiento 12.5%	9	4,92889	A
Tratamiento 5%	9	4,8256	B
Tratamiento 7.5 %	9	4,7878	B
Testigo	9	4,7711	B

Nota: ¨Las agrupaciones muestran como los intervalos de confianza son significativamente iguales para los tratamientos que comparten la letra B, y significativamente distintos para los que no comparten ninguna letra.

Realizado por: Autor (2022)

Figura 12

Comparación grafica



Nota: La grafica nos muestra como el tratamiento 12% V/V difiere con el testigo usado. Puede observarse una diferencia entras las medias testigos y 12,5% V/V

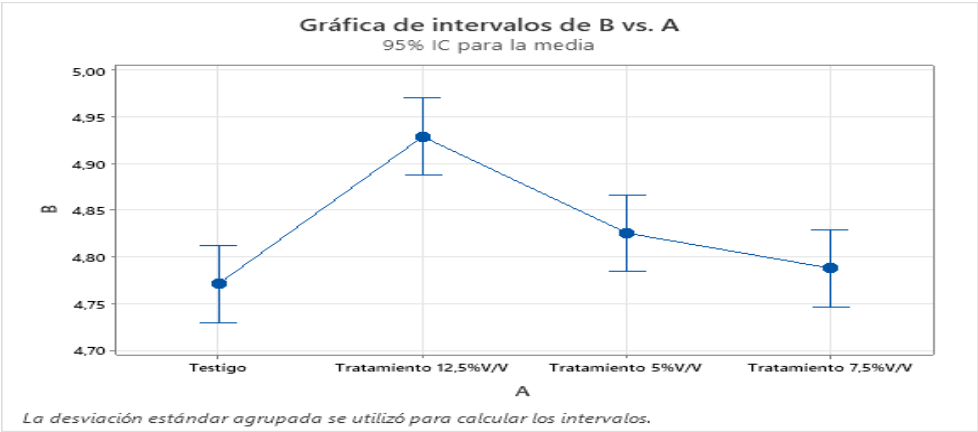
Elaborado por: Autor (2022)

4.4.3 Interpretación de los resultados estadísticos

Como se ha mencionado anteriormente, la diferencia másica entre los tratamientos después de la inoculación del gorgojo del maíz, son los elementos de referencia que nos ayudan a determinar la efectividad de los tratamientos antes mencionados. Parte importante del análisis, reside en observar las diferencias entre las medias alcanzadas de cada tratamiento y sus réplicas realizadas durante un periodo de 15 días. El ANOVA nos muestra una diferencia estadísticamente clara entre los tratamientos con mayor concentración de aceite esencial, estos tratamientos también nos muestran resultados similares con autores tal como Espinoza (2021), quien menciona una alta toxicidad en contacto por grano tratado con concentraciones de hasta 4% de aceite esencial, llegando hasta un 100% de toxicidad conforme la concentración llega a aumentar.

Figura 13

Gráfica de intervalos y medias



Nota: *Medias registradas durante los ensayos*

En la gráfica superior podemos observar cómo los intervalos y las medias se mantienen casi constantes para el testigo y los tratamientos de testigo, 5 y 7,5 % V/V respectivamente, difiriendo

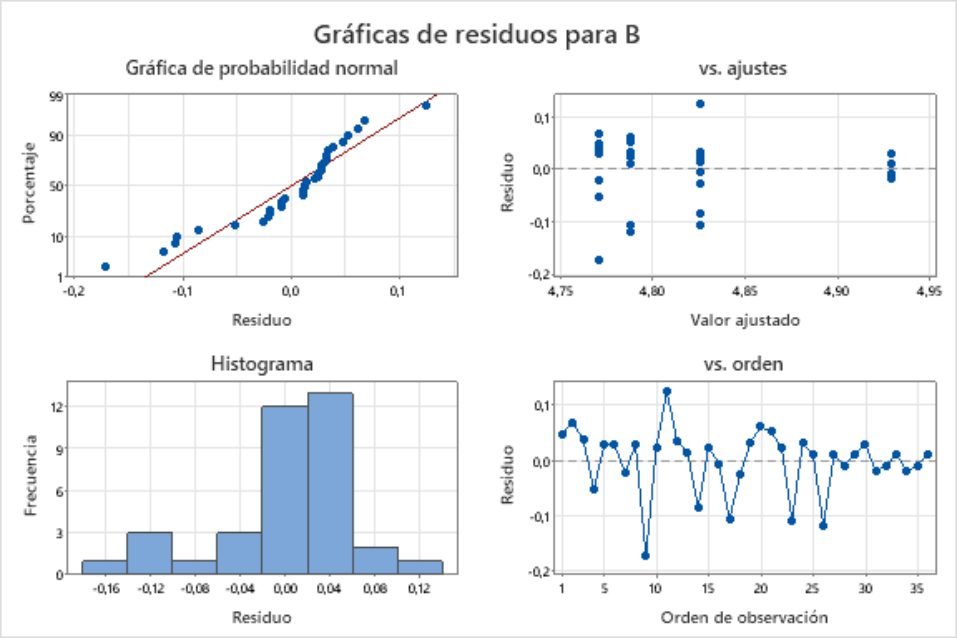
únicamente la media de 12,5 % V/V, esto observado con los datos después de la infección de los granos. La resultante de esta infección han sido granos vaciados, cuyo polvo ha sido desechado y se ha conservado los granos aun no afectados. Las medias obtenidas muestran una diferencia considerable en los pesos al hablar del tratamiento de %12,5 V/V, es decir, el bioinsecticida que contenía aproximadamente 5 mL de aceite esencial. Esto representa una efectividad estadísticamente observable del aceite concentrado en un %12,5 volumen de soluto sobre volumen de solución, considerando que la masa de este tratamiento era muy próxima a la masa de 5 kg original, a comparación de las demás medias que son estadísticamente similares y que se alejan de los 5 kg colocados al inicio. Mantener la masa original en el tratamiento antes mencionado demuestra que el gorgojo de maíz no ha afectado a su sustrato gracias a la acción del elemento colocado específicamente en esta concentración.

Estos resultados coinciden con autores que mencionan una toxicidad similar. Espinoza (2021), en una investigación reciente registra altos indices de toxicidad conforme la concentración del aceite esencial de -*Tanacetum parthenium L*- aumenta, obteniendo un índice de toxicidad en *Sitophilus zeamais M*, a partir de una concentración de 0,5 % de aceite esencial y el mayor efecto en una concentración de 4% de aceite esencial. Los sustratos usados como la acetona, polisorbato y agua miliq no han interferido en el comportamiento y desarrollo de *Sitophilus zeamais*, Mientras que la toxicidad aumenta exponencialmente conforme el aceite esencial es agregado, mostrando mejores resultados en concentraciones de 2 y 4 %. Para nuestra investigación una concentración de 12,5 % V/V ha mostrado los mejores resultados en campo, esto podría explicarse debido a factores externos no considerados dentro de un laboratorio o al momento de trabajar bajo condiciones un poco más regulables. La concentración más alta de aceite esencia ha sido la más efectiva y esto también coincide con investigadores similares como Granados et al., (2016),

mencionan también la efectividad del extracto acuoso de variantes de -*Tanacetum parthenium*- en el combate de lepidópteros plagas en diferentes variedades de plantas de interés agrícola.

Figura 14

Gráfica de residuos para las masas estimados



Nota: Distintas graficas basadas en los residuos obtenidos tras el análisis de varianza de un solo factor.

Realizado por: Autor (2022)

La primera grafica expuesta nos muestra la condición de normalidad presente en los datos estimados. Como lo hemos mencionado anteriormente, los datos siguen una distribución estadísticamente normal y esta distribución nos ha permitido el uso de métodos paramétricos para la estimación de los resultados expuestos en el análisis de varianza de un solo factor. La forma característica en S invertida de la distribución normal implica una distribución de colas cortas (Alin, 2010).

En la gráfica de residuos vs ajustes podemos observar cómo conforme los valores de los ajustes aumentan, la dispersión entre los residuos se amplía. No se observan valores atípicos,

puntos influyentes o varianzas no constantes, por ende, no ha sido retirado ningún punto del análisis y las observaciones realizadas durante los 45 días de trabajo han sido incluidas en su totalidad en el ANOVA (Alin, 2010).

La grafica de residuos vs orden nos muestra la independencia de los residuos entre sí. Lo ideal es la aleatoriedad de los residuos alrededor de la línea central, este es evidente en nuestro análisis estadístico, pues la mayoría de los datos se han distribuido de manera aleatoria, no se observan disposiciones de datos en tendencia, no se observan disposiciones de datos en ciclos o en cambios agresivos a la hora de tomar datos. La ausencia de estos cambios muestra la presencia de una no correlación entre los mismos, es decir una independencia total en la información gestionada.

El histograma nos indica como la distribución de los residuos no muestran un valor atípico ni una asimetría marcada en los residuos y su frecuencia. Puesto que la cantidad de datos no supera los cincuenta valores, la estimación de la normalidad se ha realizado directamente con los test antes mencionados, este histograma solamente es usado como referencia para la búsqueda de valores atípicos y asimetrías, elementos que al menos al operar no han sido encontrados (Alin, 2010).

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Por medio de la evaluación sobre la efectividad del bioinsecticida obtenido de Santa María -*Tanacetum parthenium L.*- para el biocontrol de: Gorgojo de Maíz -*Sitophilus zeamais M*- en granos almacenados, se pudo concluir que es una excelente alternativa ecológica para el control de este tipo de insectos ocasionando inhibición y mortalidad del mismo.

En cuanto a las dosificaciones adecuadas del bioinsecticida de -*Tanacetum parthenium L*- se siguió la metodología implementada por Espinoza (2021) con variaciones en cada componente, determinando las concentraciones de 2 mL de aceite esencial, equivalente a 5% v/v. Seguido de una segunda dosificación de 3mL con 7,5% v/v y por último la concentración más alta de 5 mL con 12,5% v/v para el biocontrol de -*Sitophilus zeamais M*- en granos almacenados de variedad "Zhima" a nivel de campo.

Por otra parte, la evaluación del bioinsecticida mediante aplicaciones periódicas en los tratamientos con sus respectivas dosificaciones, se evidencio en los tratamientos efectos inhibitorios y de control sobre -*Sitophilus zeamais M*-, lo cual, produce en los tratamientos una disminución de masa inicial de los granos de maíz, en un periodo de tiempo de 15 días para cada biocontrol, se evalúa mediante una matriz de datos de campo para su posterior análisis estadístico.

Finalmente, en base al análisis estadístico realizado a los resultados obtenidos de cada tratamiento con sus respectivas dosificaciones de aceite esencial -*Tanacetum parthenium L*- en el bioinsecticida , se pudo determinar que, la dosificación más eficiente es la concentración de aceite esencial -*Tanacetum parthenium L*- de 5mL que equivale a 12,5% v/v fue el mejor, debido a que, los granos de maíz presentaron el menor porcentaje de daño en los tratamientos con masa de 4,91;

4,92 y 4,94 kg a los 45 días de biocontrol con sus respectivas réplicas. Por lo cual, se considera como aquel que se aleja más del testigo referencial con masas de 4,70, 4,60, 4,60 kg respectivamente.

5.2 Recomendaciones

- Realizar investigaciones sobre plantas de uso potencial para Bioinsecticidas con el objetivo de reducir gradualmente el uso de insecticidas sintéticos en el control de plagas, debido a que, en el Ecuador se ha evidenciado la constante utilización de insecticidas con altas concentraciones químicas para el control de insectos como el Gorgojo de Maíz -*Sitophilus zeamais M*-.
- Se sugiere el cultivo de manera intensiva de la planta Santa María -*Tanacetum parthenium L.*- debido a que, ha demostrado que su aceite esencial actúa efectivamente como Bioinsecticida para el control del Gorgojo de Maíz -*Sitophilus zeamais M*-.
- En próximas investigaciones se realicen bioensayos sobre la efectividad de la planta Santa María -*Tanacetum parthenium L.- para el biocontrol de: Gorgojo de Maíz -Sitophilus zeamais M*- en un periodo de tiempo más extenso o con distintas concentraciones a las empleadas en el presente estudio, con el objetivo de obtener una mayor cantidad de información sobre este fenómeno tan poco abordado en la actualidad.
- Realizar estudios sobre la extracción del aceite esencial más eficiente para la planta Santa María -*Tanacetum parthenium L* utilizando otros métodos de obtención, ya que a los 14 días se obtuvo el aceite requerido para los ensayos, es un tiempo tardío.
- Tomar en consideración el presente estudio como base teórica o antecedente esencial para el reconocimiento de la planta Santa María -*Tanacetum parthenium L.*- como opción ecológica y sustentable para el biocontrol de Gorgojo de Maíz -*Sitophilus zeamais M*-.

BIBLIOGRAFÍA

Abdullahi, N., Tukur, Z., & Babura, S. (2014). Comparative efficacy of the bark and root powders of Acacia niloticaagainst maize weevil Sitophilus zeamais(Motsculsky). *African Journal of Agricultural Research*, 588-592.

Acosta, F. (2020). *Comportamiento agronómico del cultivo de maíz a la aplicación de Zerebra® en diferentes dosis en la zona de Mamanica, Cantón Alfredo Baquerizo Moreno.* UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO, FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS.

Agrocalidad. (2016). *MANUAL DE TRATAMIENTOS FITOSANITARIOS.* Quito: MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA.

Alberto, L. (2016). *La producción de maíz amarillo en el Ecuador y su relación con la soberanía alimentaria.* PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE ECONOMÍA.

Alin, A. (2010). Minitab. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics.

Anter, J., Romero-Jiménez, M., Analla, M., Muñoz-Serrano, A., & Alonso-Moraga, A. (2007). Perspectivas de utilización de plantas medicinales tradicionales en quimioprevención. Matricaria chamomilla y sus fenoles. *IV Jornadas ibéricas de razas autóctonas y sus productos tradicionales: Innovacion, seguridad y cultura alimentaria*, 159-165.

Armijo, J., Vicuña, E., Romero, P. C., & Hilario, B. (2012). Modelamiento y simulación del proceso de extracción de aceites esenciales mediante la destilación por arrastre con vapor. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química, 15*(2), 19-27.

Aros, J., Silva-Aguayo, G., Fischer, S., Figueroa, I., Rodríguez, C., Lagunes, A., Castañeda, G., & Aguilar, L. (2019). ACTIVIDAD INSECTICIDA DEL ACEITE ESENCIAL DEL PAICO

Chenopodium ambrosioides L. SOBRE Sitophilus zeamais Motschulsky. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*.

Arteaga, D. (2017). *Estudio de factibilidad para la creación de una microempresa productora y comercializadora de bioinsecticida baculovirus para el control biológico de la polilla de la papa, en el cantón Montufar, provincia del Carchi.* Universidad Técnica del Norte.

Askin, H., Tepe, B., Sokmen, A., Daferera, D., & Polissiou, M. (2013). Composition of the essential oils of Tanacetum argyrophyllum (C. Koch) Tvzel. var. argyrophyllum and Tanacetum parthenium (L.) Schultz Bip. (Asteraceae) from Turkey. *Biochemical Systematics and Ecology*, 511-516.

ATSDR. (2016). *Agencia para sustancias toxicas y Registro de enfermedades. (Versión Electrónica).* https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts177.html

Balarezo, D. (2014). *Investigación del maíz blanco (shima) en la parroquia Rivera del Cantón Azogues, Provincia del Cañar y propuesta gastronómica* . UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL.

Baldwin, I., & Ohnmeiss, T. (1993). Alkaloid response to damage in Nicotiana native to North America. *Journal of Chemical Ecology, 19*, 1143-1153.

BAYER. (s.f). *Gorgojo del maíz.* Retrieved julio de 2022, from https://www.environmentalscience.bayer.mx/storedgrains/what-to-control/gorgojo-del-maiz

Bonilla Bolaños, A. G., & Singaña Tapia, D. A. (2019). La productividad agrícola más allá del rendimiento por hectárea: análisis de los cultivos de arroz y maíz duro en Ecuador. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 70-83.

Bravo, P. (2019). *Determinación de la actividad insecticida, repelente y antialimentaria del aceite esencial del molle (Schinu molle) en trips (Frankliniella occidentalis).* Universidad Politénica Salesiana.

Bureau, E., Marín, D., & Guzmán, J. A. (1992). *El sistema de preaviso para el combate de la Sigatoka negra en banano y plátano.* (Vol. 3.p). Panamá.

Cabreizo, M. (2012). *El maíz en la alimentación Humana.* Retrieved Julio de 2022, from https://www.fao.org/3/t0395s/T0395S02.htm

Carpintero, A. (13 de julio de 2021). *¿Qué es el Tanacetum Parthenium? Propiedades, Ventajas y Desventajas.* https://nutricionyfarmacia.es/blog/salud/fitoterapia/tanacetum-parthenium-propiedades/

Castillo, H. (2014). *Evaluación de cal viva y Beauveria bassiana para el manejo del gorgojo del maíz (Sitophilus zeamais Motschulsky) en condiciones de laboratorio.* BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA.

Castillo, M. (2018). El cultivo de maíz ha sido constante los últimos años . *Revista Líderes*.

Cayuela, M. (2018). *BIOECO ACTUAL. Fonte: Los aceites esenciales: alternativa natural a los insecticidas:*. https://www.bioecoactual.com/2018/07/06/aceites-esencialesalternativa-natural-insecticidas/

Celis, A., Mendoza, C., Pachón, M., Cardona, J., Delgado, W., & Cuca, L. (2008). Extractos vegetales utilizados como biocontroladores con énfasis en la familia Piperaceae . Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 97-105.

Cerna, E., Landeros, J., & Ochoa, Y. (2010). Evaluación de aceites y extractos vegetales para el control de Sitophilus zeamaiz y su efecto en la calidad de semilla de maíz. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*.

Cerna, E., Landeros, J., Ochoa, Y., Guevara, L., Badii, M., & Olalde, V. (2010). Evaluación de aceites y extractos vegetales para el control de Sitophilus zeamaiz y su efecto en la calidad de semilla de maíz. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 135-145.

CIS-LAB. (2015). *FRASCO DE VIDRIO AMBAR* . https://www.cislab.mx/p/frasco-de-vidrio-ambar-75ml/

Cuvi, P. (2018). *META-ANÁLISIS SOBRE EL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO PUBLICADO ACERCA DE PROCESOS DE EXTRACCIÓN Y FORMULACIÓN DE BIOINSECTICIDAS PROVENIENTES DE PLANTAS NEOTROPICALES.* ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, FACULTAD DE CIENCIAS, Riombamba.

Devine, G., Eza, D., Ogusuku, E., & Furlong, M. (2008). Uso de insecticidas: contexto y consecuencias ecológicas. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 74-100.

Domingues, V., Padro, L., Padon, G., Forim, M., Graças, M., Batista, J., & Djair, J. (2020). Grain-protectant compounds from Duguetia lanceolata (Annonaceae) derivatives: Bioassay-guided searching and toxicity against the maize weevil. *Journal of Stored Products Research*.

Eisenreich, W., Rohdich, F., & Bacher, A. (2001). Deoxyxylulose phosphate pathway to terpenoids. *Trends in Plant Science*, 78-84.

Endicott, S., Brueland, B., Keith, R., Schon, R., Bremer, C., Farnham, D., DeBruin, J., Clausen, C., Strachan, S., & Carter, P. (2020). *Maíz Crecimiento y desarrollo.* PIONEER.

Espinoza, L. (2021). *Formulación bioinsecticida a partir de Santa María (Tanacetum Parthenium L.) para controlar el ataque del Gorgojo de Maíz (Sitophilus Zeamais Motschulsky) a granos almacenados.* Universidad Politécnica Salesiana.

FAO. (s.f). *El maiz en la nutrición humana - Introducción.* Retrieved julio de 2022, from https://www.fao.org/3/t0395s/T0395S02.htm

Foro Económico Mundial. (2014). *Manejo de pesticidas en la industria.* http://www.fao.org/world-banana-forum/projects/good-practices/pesticide-management/es/

Fuentes, C., Jurado, B., Gordillo, G., Negrón, L., Núñez, E., Esteban, M., & Távara, A. (2010). Estudio integral de plantas biocidas del algodonero. *Ciencias e investigación*, 34-41.

García, D. (2009). Evaluación de insecticidas de cuatro grupos toxicológicos para el control de Sitophilus zeamais Motschulsky [Tesis]. *Universidad Autonoma Agraria "Antonio Narro"*, 67p.

García, S. (2021). *Gorgojo del maíz (Sitophilus zeamais Motschulsky).* Jalisco: AGROPRODUCTORES.

Gobierno de México. (s.f). *Los insecticidas.* https://www.insp.mx/avisos/4736-insecticidas.html

Gómez Mejía, J. (1986). Características e importancia socioeconómica: maíz (No. Doc. 10178)* CO-BAC. *Santafé de Bogotá*.

Gonzales, A. (2004). *Obtención de aceites esenciales y extractos etanolicos de plantas de las amazonas.* Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

Gorham, J. (1999). Insect and mite pests in food. An illustrated key. *National Agricultural Library USDA*, 228-229.

Granados, C., Ortega, B., Chan, M., de Jesús Reyes , M., & Camacho, J. (2016). Polvos de especies vegetales para el control del Sitophilus zemais Motschulsky. *ENTOMOLOGÍA AGRÍCOLA.*

Guacho, E. (2014). *CARACTERIZACIÓN AGRO-MORFOLOGICA DEL MAÍZ (Zea mays L.) DE LA LOCALIDAD SAN JOSÉ DE CHAZO.* Esucela Politécnica de Chimborazo , Riobamba.

Guamán, R., Desiderio, T., Villavicencio, Á., Ulloa , S., & Romero, E. (2020). Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (Zea mays L.) utilizando cuatro híbridos. *Siembra*.

Hanan, A., & Mondragón , J. (21 de abril de 2006). *Tanacetum parthenium (L.) Schultz-Bip.* http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/tanacetum-parthenium/fichas/ficha.htm

Hasang, E., García, S., Carrillo, M., Durango, W., & Cobos, F. (2021). Sustentabilidad del sistema de producción del maíz, en la provincia de Los Ríos (Ecuador), bajo la metodología multicriterio de Sarandón. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 26-40.

Hernandez, D., & Escalona, B. (2014). Insectos plaga de alimentos almacenados y sus enemigos naturales en el estado Lara, Venezuela [Departamento de ciencias biológicas]. *Insectos plaga de alimentos almacenados y sus enemigos naturales*, ISSN: 0375-538x. 48–63 p.

Hernández, J. (2019). Situación del cultivo de maíz en Ecuador: investigación y desarrollo de tecnologías en el Iniap.

Hernández, N., & Soto, F. (2012). Influencia de tres fechas de siembra en el crecimiento y rendimiento de especies de cereales cultivadas en condiciones tropicales. Parte II. Cultivo del sorgo (Sorghum bicolor I. Moench var. Isiap Dorado). *Cultivos Tropicales*, 50-54.

Herrera, M., Guerra, C., García, L., García, Y., & Martínez, C. (2012). Diferentes métodos estadísticos para el análisis de variables discretas. Una aplicación en las ciencias agrícolas y técnicas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 21*(1).

Hurtado, M. J., & Silvente, V. B. (2012). Cómo aplicar las pruebas paramétricas bivariadas t de Student y ANOVA en SPSS. *Reire*, 83-100.

INEC. (2020). *Ficha Sectorial Maíz.* Quito.

INIAP. (2003). *Programa del Maíz, PM. Catálogo De Recursos Genéticos De Maíces De Altura Ecuatorianos.* Quito.

Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. (2014). *Informe anual 2014.* Quito: Estación Experimental Santa Catalina.

Instituto Nacional de Salud Pública. (s.f). *Gobierno de México.* https://www.insp.mx/avisos/4736-insecticidas.html

Jiménez, E., & Manzanares, R. (2020). Insecticidas botánicos registrados y no registrados en Nicaragua. *REVISTA UNIVERSITARIA DEL CARIBE, 25*(2).

Juárez, B., Jasso, Y., Aguirre, J., & Jasso, I. (2010). Efecto de polvos de asteráceas sobre el gorgojo del maíz (Sitophilus zeamais Motsch). *Polibotánica*, 123-135.

Kostova, I. (2010). Extraction Technologies for Medicinal and Aromatic Plants. *Journal of natural products,*, 440.

Kothekar, S., Ware, A., Waghmare, J., & Momin, S. (2007). Comparative analysis of the properties of Tween-20, Tween-60, Tween-80, Arlacel-60, and Arlacel-80. *Journal of dispersion science and technology*, 28(3), 477-484.

Kumar, D., & Kalita, P. (2017). Reducing postharvest losses during storage of grain crops to strengthen food security in developing countries. *Foods*, 8-25.

Lopes, O. J., Link, D., & Basso, I. V. (2008). Pentatomídeos de Santa Maria–lista preliminar de plantas hospedeiras. *Revista do Centro de Ciências Rurais*, 4.

López, T. (2004). Los aceites escenciales. Aplicaciones farmacológicas, cosméticas y alimentarias. *OFFARM. Farmacia y sociedad*, 99-91.

Martínez-Juste, S., Oller-Marcén, A., Muñoz-Escolano, J., & Beltrán-Pellicer, P. (2022). Sobre la regla de tres y la proporcionalidad aritmética. *La Gaceta de la RSME*, 25(2), 353-371.

Martínez, E., & Jímenez, V. (2013). *Maíz (Zea mays).* Universidad Nacional Autónoma de México.

Mateos, P. (2014). Producción industrial de metabolitos. 30.

Méndez, A., & Páez, D. (2014). Percepción de los productores de maíz sobre los insectos plaga y su manejo en áreas de la parroquia Valle de la Pascua, estado Guárico, Venezuela. *Fitosanidad*, 109-113.

Ministerio de Agricultura . (2021). La producción de maíz caería 35% por plagas y falta de fertilizantes . *Primicias.*

Morales, H., Ramírez, P., Liere, H., Rodas, S., & López, J. (2010). Revalorando viejas prácticas mayas de manejo de plagas del maíz almacenado para la agricultura del futuro. *Agroecología*, 63–71.

Mordecki, G., & Ramírez, L. (2018). ¿Qué es lo primero: el crecimiento del PIB o la inversión? El caso de una economía pequeña y abierta*. *El trimestre económico*.

Mordue, J., & Nisbet, A. (2000). Azadirachtin from the Neem Tree Azadirachta indica: its Action Against Insect. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 615-632.

Naranjo, A. (2017). La otra guerra: La situación de los plaguicidas en el Ecuador. *La otra guerra: La situación de los plaguicidas en el Ecuador.*

Nava, E., García, C., Camacho, J., & Vázquez, E. (2012). Bioplaguicidas: Una opción para el control biológico de plagas. *Ximhai*, 17-29.

OMS. (2020). *Clasificación recomendada por la OMS de los plaguicidas por el peligro que presentan y directrices para la clasificación 2019.* https://www.who.int/es/publications/i/item/9789240005662

Ovares, J. (2016). Determinación de los rendimientos y caracterización de aceites esenciales obtenidos por hidrodestilación a partir de Libbia alba y Rosmarinus officinalis. *Tesis de Maestría en Química, Universidad de Costa Rica*, 50-62.

Porras, J. (2016). Comparación de Pruebas de Normalidad Multivariada . *Anales Científicos, 77*(2), 141-146.

Quílez, J. (2006). Análisis de problemas de selectividad de equilibrio químico: errores y dificultades correspondientes a libros de texto, alumnos y profesores. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas,*, 219-240.

Rice, C., Miller, N., & Paganga, G. (1997). Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in Plant Science, 2*, 152-159.

Russo, S. (2013). *Toxicidad, efecto antialimentario y repelente de metabolitos secundariosde Eucalyptus globulus (Labill) (Myrtaceae) sobre coleópteros de importancia agrícola (Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Naturales y Museo).* https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3847/1/T-UTEQ-0195.pdf

Rzedowski, G., & Rzedowski, J. (2010). *Flora fanerogámica del Valle de México.* Michoacán: Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Sánchez, J. (2013). Evaluacion del extracto etanolico de Eryngium heterophyllum (hierva de sapo) para comprobar su actividad hipoglucemiante y antiinflamatoria. 1-86.

Segura, M., & Andrade, L. (2011). *Efecto de las condiciones Agrometeorológicas sobre un cultivar criollo y dos híbridos de maíz en cuatro fechas de siembra.* ESPE-IASA II. Sede Santo Domingo, Carrera de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias.

Sencia, W., & Solano, R. (2021). *Uso de plaguicidas botánicos para el manejo de las plagas de gorgojos de cultivos y granos almacenados.* Universidad César Vallejo.

Shafaghat, A. (2016). A comparative Study on Chemical Composition and Antimicrobial Activity of Essential Oils from Tanacetum parthenium (L.) Schultz. Bip. and Tanacetum punctatum (Desr.) Grierson. Leaves from Iran. *Journal of Essential Oil Bearing Plants* , 1143-1150 .

Silveiro, L., Espinoza, C., & Bergvinson, D. (2003). *Manual de plagas en granos almacenados y tecnologías alternas para su manejo y control.* Unidad de Entomología- Programa Global de Maíz, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo Int.

Singh, O., Khanam, Z., Misra, N., & Srivastava, M. K. (2011). Chamomile (Matricaria chamomilla L.): an overview. *Pharmacognosy reviews*, 82.

Subramanyam, B., & Weaver , D. (2000). Botanicals. InSubramanyan B., Hagstrum D.W. (eds.). Alternatives to pesticides in stored-product IPM. *Kluwer Academics.*, 303-320.

Suspartes.com. (s.f). https://ysuspartes.com/el-grano-de-maiz-y-sus-partes/

Tapia, O. (2013). *CONTROL ORGÁNICO DEL GORGOJO DEL MAÍZ (Sitophilus zeamais), EN SEMILLAS ALMACENADAS DE CHULPI (Zea mays var rugosa) CON AJENJO "SANTA MARiA" (Parthenium hysterophorus) Y ROMERO (Rosmarinus officinalis).* . Universidad Politécnica Salesciana-Sede Quito, Quito.

Universidad de Harvard . (s.f). https://www.forestryimages.org/browse/orgthumb.cfm?org=122779

Urzúa, D. (2010). *Equipos de aplicación y su calibración.* México: Universidad Autónoma Chapingo - Dpto. de Parasitología Agrícola.

Vázquez, B., Martínez, B., Aliphat, M., & Aguilar, A. (2011). Uso y conocimiento de plantas medicinales por hombres y mujeres en dos localidades indígenas en Coyomeapan, Puebla, México. *Interciencia*, 493-499.

Viera, W., Tello, C., Martínez, A., Navia, D., Medina, L., Delgado, A., Perdomo, C., Pincay, A., Báez, F., Vásquez, W., & Jackson, T. (2020). Control Biológico: Una herramienta para una agricultura sustentable, un punto de vista de sus beneficios en Ecuador. *Journal of the Selva Andina Biosphere*.

Wink, M. (1999). Introduction: Biochemistry, role and biotechnology of secondary metabolites. *Biochemistry of Plant Secondary Metabolism.*, 1-17.

Yanez, C., Zambrano, J., & Caicedo, M. (2013). *GUÍA DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ PARA PEQUEÑOS AGRICULTORES Y AGRICULTORAS.* Quito: INIAP. Programa de Maíz.

Yurkanis, P. (2013). Métodos físicos de separación y purificación. *Fundamentos de Química Orgánica*, 1-8.

Zurita Vásquez, H. V. (2017). Eficiencia del uso de plantas insecticidas en el control del gorgojo del maíz, Sitophilus zeamaisMotschulsky, (Coleoptera: Curculionidae). *Investigacion agraria*, 19(2):120-126. Retrieved Marzo de 2022, from https://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/view/434/377

ANEXOS

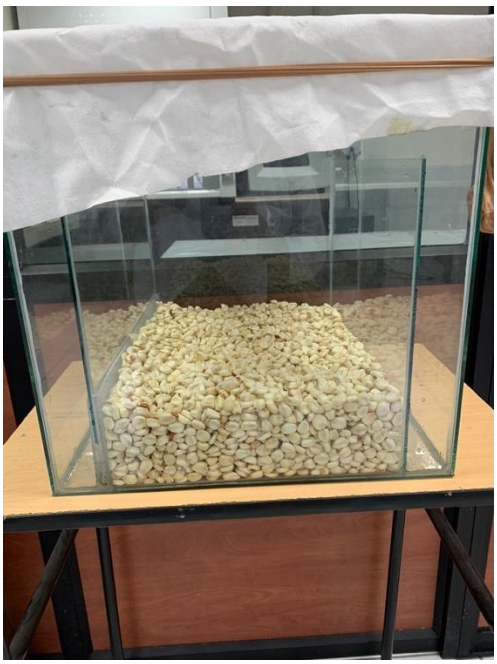
Anexo A. Recolección, desinfección y secado de la Santa María *Tanacetum parthenium.*

Nota: La materia prima -*Tanacetum parthenium L.*-, se recolecta, selecciona y es sometida a eliminación de partes contaminadas y cortada en pequeñas partes para emplear al equipo de destilación.

Anexo B. Equipo de destilación por arrastre de vapor de la Universidad Politécnica Salesiana

Nota: Equipo con capacidad de 2 kg para destilar materia prima vegetal en un lapso de tiempo de 2 horas.

Anexo C. Maíz de la variedad “Zhima” infestado con Gorgojo de maíz -*Sitophilus zeamais M*-

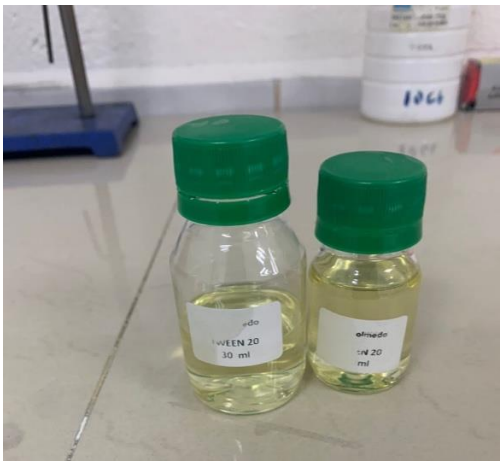


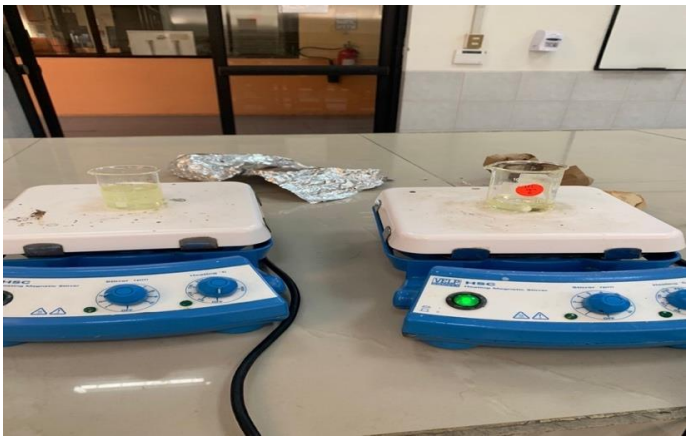
Nota: Cámara de crianza con maíz infestado de variedad “Zhima” por Gorgojo de maíz de donde se obtuvo los insectos y granos para los diferentes tratamientos.

Anexo D. Obtención del maíz de variedad “Zhima” en la parroquia Tarqui

Nota: Maíz de la variedad “Zhima” donde se obtuvo los granos para el procedimiento experimental a nivel de campo.

Anexo E. Equipo de agitación magnética e ingredientes para el Bioinsecticida





Nota: Tween 20, Agua pura Milli-Q®, Aceite esencial de Tanacetum parthenium se homogeniza mediante agitación magnética para la elaboración del bioinsecticida a diferentes concentraciones.

Anexo F. Cajas de tratamientos distribuida aleatoriamente

Nota: Doce cajas de madera distribuidas aleatoriamente al azar para aplicaciones del bioinsecticida con diferentes concentraciones.

Anexo G. Inoculación de insectos y granos con Gorgojo de maíz -*Sitophilus zeamais*-

Nota: Inoculación de 15 insectos de -*Sitophilus zeamais*- y 20 granos de maíz de variedad “Zhima” infectados a cada tratamiento.

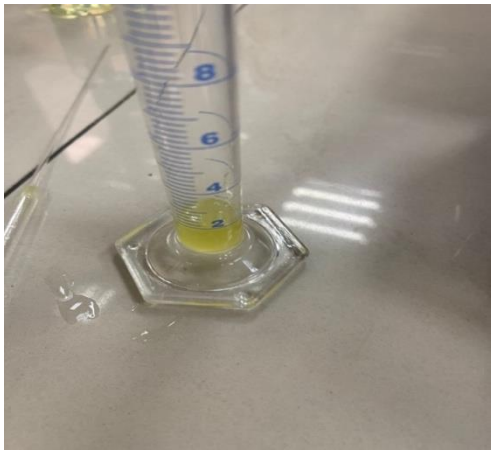
Anexo H. Peso inicial de 5 kg en cada tratamiento

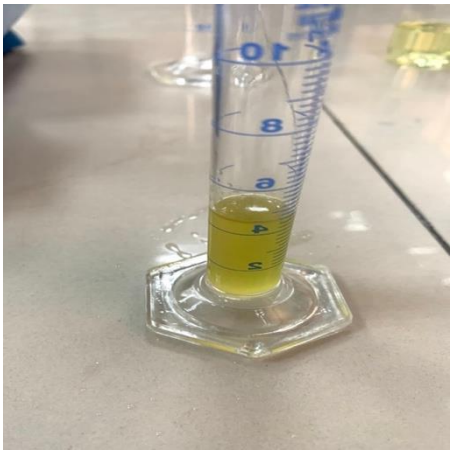
Nota: Se inició con un peso inicial de 5 kg para cada tratamiento.

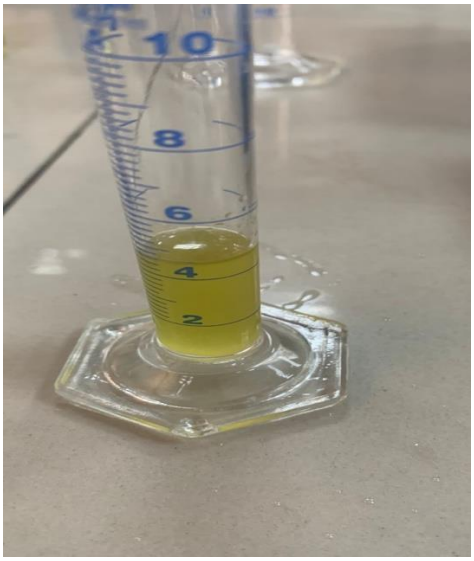
Anexo I. Limpieza de residuos del maíz de la variedad "Zhima" atacado por -*Sitophilus zeamais M*-

Nota: Se procede a limpiar cada caja de tratamiento que es atacado por -*Sitophilus zeamais M.*- lo cual, dejan residuos de aspecto harinoso color blanco y granos afectados, que presentan orificios en el grano.

Anexo J. Aceite esencial de Santa María -*Tanacetum* parthenium L.- Obtenido por equipo de destilación





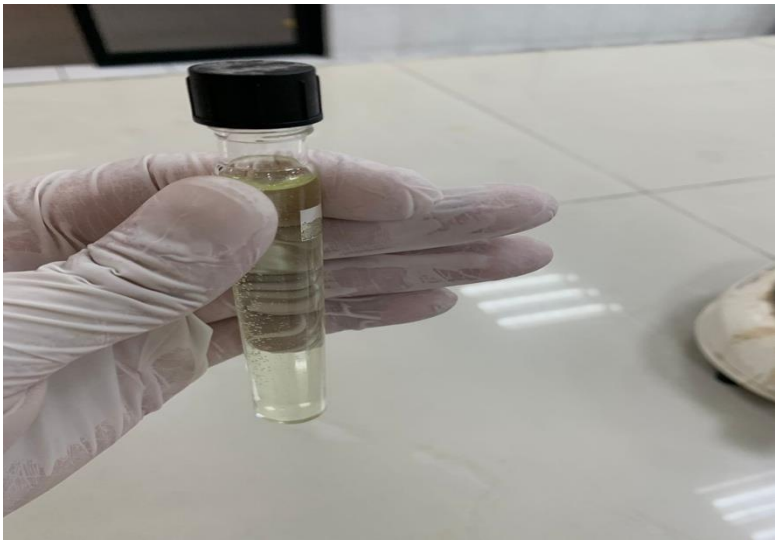


Nota: Aceite esencial de Santa María -*Tanacetum parthenium L*-, el cual, se obtuvo por equipo de arrastre vapor, con el que se realizó el bioinsecticida a diferentes concentraciones 5 %, 7.5 % y 12.5 % V/V.

Anexo K Insectos adultos -*Sitophilus zeamais M*- para los ensayos de campo en cada tratamiento

Nota: Selección de insectos adultos, el cual se evidencio que en algunos granos crecen hasta 6 o 7 insectos.

Anexo L. Bioinsecticida a partir de -*Tanacetum parthenium*-



Nota: Bioinsecticida a partir de aceite esencial de -*Tanacetum parthenium L.*- en diferentes concentraciones 5 %, 7.5 % y 12.5 %

Anexo M. Frascos ámbar de Bioinsecticida contenido neto 40 mL a diferentes concentraciones de aceite esencial -*Tanacetum parthenium L*-

Anexo N. Aplicación de bioinsecticida mediante microaspersiones en diferentes concentraciones de aceite esencial de *-Tanacetum parthenium L.- para el biocontrol de cada tratamiento, las aplicaciones son cada 15 días durante un periodo de 45dias.*

Anexo O. Observación del desarrollo de -*Sitophilus zeamais M*- en interior del grano perforando y dejando orificios y como afectan al grano maíz.

Anexo P. Matriz de datos de campo

BIOCONTROL 1

	Fecha: 19/05/2022 → Pesaje 03/06/2022 Hora: 12/30pm		
	Masa/Granos afectados	T°	Humedad
Testigo 1	4,82Kg/8194	15°C	88.3%
Tratamiento 1 (1)	4,85Kg/8245	15°C	88.3%
Tratamiento 2 (1)	4,82Kg/8194	15°C	88.3%
Tratamiento 3 (1)	4,92Kg/8364	15°C	88.3%
Testigo 2	4,84Kg/8228	15°C	88.3%
Tratamiento 1 (2)	4,95Kg/8415	15°C	88.3%
Tratamiento 2 (2)	4,85Kg/8245	15°C	88.3%
Tratamiento 3 (2)	4,94Kg/8398	15°C	88.3%
Testigo 3	4,81Kg/8177	15°C	88.3%
Tratamiento 1 (3)	4,86Kg/8262	15°C	88.3%
Tratamiento 2 (3)	4,84Kg/8228	15°C	88.3%
Tratamiento 3 (3)	4,96Kg/8432	15°C	88.3%

BIOCONTROL 2

	Fecha: 3/06/2022 → Pesaje 18/06/22 Hora: 12/05pm		
	Masa/Granos afectados	T°	Humedad
Testigo 1	4,72Kg/8024	19.4°C	71.1%
Tratamiento 1 (1)	4,84Kg/8228	19.4°C	71.1%
Tratamiento 2 (1)	4,81Kg/8177	19.4°C	71.1%
Tratamiento 3 (1)	4,91Kg/8347	19.4°C	71.1%
Testigo 2	4,62Kg/7854	19.4°C	71.1%
Tratamiento 1 (2)	4,74Kg/8058	19.4°C	71.1%
Tratamiento 2 (2)	4,68Kg/7956	19.4°C	71.1%
Tratamiento 3 (2)	4,92Kg/8364	19.4°C	71.1%
Testigo 3	4,61Kg/7837	19.4°C	71.1%
Tratamiento 1 (3)	4,85Kg/8245	19.4°C	71.1%
Tratamiento 2 (3)	4,82Kg/8194	19.4°C	71.1%
Tratamiento 3 (3)	4,94Kg/8398	19.4°C	71.1%

BIOCONTROL 3

	Fecha: 18 /06 /2022 → Pesaje 3/07/2022 Hora: 11 /40pm		
	Masa/Granos afectados	T°	Humedad
Testigo 1	4,70Kg / 7950	19°C	66.1%
Tratamiento 1 (1)	4,82Kg / 8194	19°C	66.1%
Tratamiento 2 (1)	4,80Kg / 8160	19°C	66.1%
Tratamiento 3 (1)	4,91Kg / 8347	19°C	66.1%
Testigo 2	4,60Kg / 7820	19°C	66.1%
Tratamiento 1 (2)	4,72Kg / 8024	19°C	66.1%
Tratamiento 2 (2)	4,67Kg / 7939	19°C	66.1%
Tratamiento 3 (2)	4,92Kg / 8364	19°C	66.1%
Testigo 3	4,60Kg / 7820	19°C	66.1%
Tratamiento 1 (3)	4,80Kg / 8160	19°C	66.1%
Tratamiento 2 (3)	4,80Kg / 8160	19°C	66.1%
Tratamiento 3 (3)	4,94Kg / 8398	19°C	66.1%

Anexo Q. Pesaje en una balanza de tipo analítica

Nota: Los tratamientos son sometidos a un pesaje cada 15 días, se observa pesaje en una balanza de tipo analítica de biocontrol 1, biocontrol 2 replica (2) a los 30 días y biocontrol 3 replica (3) a los 45 días con sus respectivos pesos $[kg]$.