

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y NEGOCIOS SAN QUINTÍN



Aceite esencial de *Aloysia citrodora* (Verbenaceae) para el control del gorgojo del maíz *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae)

Por:

Madalyn Cortes Ruiz

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

San Quintín, Baja California, México

Diciembre de 2025

La presente tesis de licenciatura titulada Aceite esencial de *Aloysia citrodora* (Verbenaceae) para el control del gorgojo del maíz *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae), realizada por la **C. MADALYN CORTES RUIZ**, bajo la dirección del Dr. Salvador Ordaz Silva y la Co-dirección del Dr. Carlos Alejandro Granados Echegoyen, ha sido revisada y aprobada por el Comité Revisor, como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y NEGOCIOS SAN QUINTÍN
CAMPUS ENSENADA.



“Aceite esencial de *Aloysia citrodora* (Verbenaceae) para el control del gorgojo del maíz *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae)”

TESIS

PARA CUBRIR LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTA

MADALYN CORTES RUIZ
364371

A quien el Comité de Tesis autoriza el trabajo terminal, después de haber efectuado una revisión minuciosa del mismo y de acuerdo con el Art. 19 del R.G.E.P.E.P, las y los señores profesores emiten los siguientes votos aprobatorios mediante rubrica:

SALVADOR ORDAZ
SILVA
DIRECTOR

CARLOS GRANADOS
ECHEGOYEN
CODIRECTOR

JORGE LUIS
DELGADILLO ÁNGELES
SINODAL

IMELDA VIRGINIA
LÓPEZ SÁNCHEZ
SINODAL

NANCY ALONSO
HERNÁNDEZ
SINODAL

“Por la Realización Plena del Ser”

Dedicatoria

Dedico este trabajo primeramente a Dios que me ha dado la vida y las fuerzas para seguir adelante, por prestarle vida a mis padres para que me ayudaran en todo el camino, a mi padre Porfirio Cortes García por siempre decirme “¡ánimo, échale ganas, tú puedes!” y estar ahí para mí, a mi madre Antonia Ruiz por siempre apoyarme y ayudarme en los trabajos de mi escuela, darme ánimos cuando lo he necesitado, todo esto fue gracias a ustedes por todos sus sacrificios que han hecho por mí, a mi hermano por estar apoyándome y dando ánimos, cuyo amor, apoyo y paciencia infinita han sido mi fuente de fortaleza y motivación a lo largo de este viaje académico.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por nunca dejarme sola, por permitirme cumplir una de muchas de mis metas, por guiarme a lo largo de este camino, por ser mi apoyo y fortaleza en los momentos de dificultad.

Quisiera expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de diversas maneras a la realización de esta tesis:

A mis padres por guiarme y apoyarme y darme las herramientas necesarias para poder hacer todo esto por su sacrificio y aliento fueron mi principal fuente de fortaleza a mi hermano por apoyarme y darme consejos, a mi tía Epifanía Ruiz y mi tío Cándido Cruz, a mis primas Odelia y Miriam Cruz Ruiz por su amor, comprensión y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida académica.

A mis amigas Iris Berenice, Hayde Hernández y Litzy Michelle por su ánimo, consejos y momentos de distracción que me ayudaron a mantener el equilibrio durante los períodos de intensa dedicación a este proyecto.

A mi asesor Salvador Ordaz Silva por su orientación experta, paciencia y apoyo incondicional a lo largo de todo este proceso de investigación. Sus conocimientos y sugerencias fueron invaluable para el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, quiero expresar mi profunda gratitud al IPN-CIIDIR unidad Oaxaca por el apoyo brindado para hacer hizo posible la realización de esta investigación y particularmente al doctor Carlos Granados Echevoyen por apoyarme y orientarme.

Sin la contribución de todas estas personas, este trabajo no habría sido posible.

Resumen

Esta tesis investigó la eficacia del aceite esencial de *Aloysia citrodora* en el control del gorgojo del maíz, *Sitophilus zeamais*, en granos almacenados. El objetivo principal fue evaluar la capacidad del aceite esencial para reducir la población de gorgojos y su impacto en la calidad de los granos. Para lograr este objetivo, se llevaron a cabo experimentos para determinar la mortalidad de los gorgojos tratados con diferentes concentraciones del aceite esencial, calcular el índice de selección y establecer las concentraciones efectivas del compuesto.

Los resultados mostraron que el aceite esencial de *Aloysia citrodora* presenta una acción tóxica sobre los gorgojos del maíz en condiciones de almacenamiento. Se observó una alta mortalidad de los gorgojos en concentraciones específicas del aceite esencial, con una eficacia dosis-dependiente. Además, se encontró que el aceite esencial fue selectivo hacia los gorgojos, lo que indica que puede ser una opción de control que minimiza el impacto en organismos no objetivo.

Estos hallazgos sugieren que el aceite esencial de *Aloysia citrodora* tiene el potencial de ser una herramienta efectiva en el control del gorgojo del maíz en granos almacenados. Sin embargo, se requieren más investigaciones para evaluar su eficacia en diferentes condiciones ambientales y contra diferentes cepas de gorgojos del maíz.

Palabras clave: Granos almacenados, Gorgojos, Mortalidad

Abstract

This thesis investigated the effectiveness of *Aloysia citrodora* essential oil in the control of the corn weevil, *Sitophilus zeamais*, in stored grains. The main objective was to evaluate the ability of the essential oil to reduce the weevil population and its impact on the quality of the grains. To achieve this objective, experiments were carried out to determine the mortality of weevils treated with different concentrations of the essential oil, calculate the selection index and establish the effective concentrations of the compound.

The results showed that the essential oil of *Aloysia citrodora* has a toxic action on corn weevils under storage conditions. High mortality of weevils was observed at specific concentrations of the essential oil, with a dose-dependent efficacy. Furthermore, the essential oil was found to be selective towards weevils, indicating that it may be a control option that minimizes the impact on non-target organisms.

These findings suggest that *Aloysia citrodora* essential oil has the potential to be an effective tool in the control of corn weevil in stored grains. However, more research is required to evaluate its effectiveness under different environmental conditions and against different strains of corn weevils.

Key words: Stored grains, Weevils, Mortality

Índice

Capítulo 1	3
1. Problema.....	3
2. Pregunta del problema.....	3
3. Justificación	4
4. Hipótesis.....	4
5. Objetivos	4
5.1. Objetivo general.....	4
5.2. Objetivos específicos.....	5
Capítulo 2	6
6. Marco teórico	6
6.1. El maíz como fuente de importancia alimentaria.....	6
6.1.1 Fuente de nutrición.....	6
6.1.2 Alimento básico.....	7
6.1.3 Versatilidad culinaria.....	7
6.1.4 Industria alimentaria y agroindustrial.....	7
6.1.5 Alimentación animal.....	7
6.1.6 Producción del maíz.....	7
6.2 Plagas de importancia económica en la agricultura.....	8
6.2.1 Plagas que atacan la raíz.	8
6.2.2 Plagas que atacan el follaje.....	9
6.3. Plagas que afectan los granos almacenados.	11
6.3.1 Plagas principales en los granos.....	11
6.3.2 Plagas secundarias en los granos.	12
6.4. Biología y taxonomía del gorgojo del maíz	13
6.4.1. Generalidades del gorgojo del maíz.....	13
6.4.2. Taxonomía del gorgojo del maíz	13
6.4.3. Morfología del gorgojo del maíz.....	14
6.4.4. Ciclo de vida del gorgojo del maíz	15
6.5 Métodos de control implementados y daños provocados	15
6.5.1. Método de control preventivo.....	15
6.5.2. Método de control químico.....	16
6.5.3. Método de control biológico.	16
6.5.4. Control químico sintético.....	16
6.5.5. Daños ocasionados por plaguicidas.	16

6.5.6. Daño a la salud.....	16
6.5.7. Daño al medio ambiente.....	17
6.6. Las plantas como recursos con potencial en el control de plagas	17
6.6.1 ¿Que son los metabolitos secundarios?.....	17
6.6.2 Ejemplos de metabolitos secundarios.....	17
6.6.3 Como se obtienen los metabolitos secundarios.....	18
6.7 <i>Aloysia citrodora</i> como una fuente de recursos químicos	19
6.7.1 Descripción botánica.....	19
6.7.2 Aroma y sabor.....	19
6.7.3 Propagación.....	19
6.7.4 Cuidados.....	19
6.7.5 Usos y etnobotánica.....	20
6.7.6 Infusiones y té.....	20
6.7.7 Composición química.....	20
6.8 Modo de acción de los aceites esenciales sobre el gorgojo del maíz.....	21
6.8.1 Toxicidad por contacto.....	21
6.8.2 Toxicidad por inhalación.....	21
6.8.3 Inhibición del desarrollo.....	21
6.8.4 Repelencia.....	22
Capítulo 3	23
7. Materiales y Métodos.....	23
7.1 Cría del insecto.....	23
7.2 Recolección y preparación de material vegetal.....	23
7.3 Extracción de aceite esencial.....	24
7.4 Prueba de toxicidad.....	24
7.5 Prueba de índice de selección (preferencia).....	24
7.6 Análisis de los datos.....	25
Capítulo 4	27
8. Resultados.....	27
9. Discusión.....	31
Capítulo 5	33
10. Conclusión.....	33
11. Recomendaciones.....	33
12. Referencias.....	34

Índice de cuadros

Cuadro 1. Mortalidad (%) de adultos de <i>S. zeamais</i> (Coleoptera: Curculionidae) tratadas con el aceite esencial de <i>A. citrodora</i> (Verbenaceae).....	28
Cuadro 2. Concentraciones letales y análisis de regresión a las 24 y 48 horas del efecto del aceite esencial de <i>A. citrodora</i> (Verbenaceae) sobre <i>S. zeamais</i> (Coleoptera: Curculionidae).....	28
Cuadro 3. Índice de selección de <i>S. zeamais</i> (Coleoptera: Curculionidae) tratadas con el aceite esencial de <i>A. citrodora</i> (Verbenaceae).....	30

Índice de figuras

Figura 1. Gráfica de regresión lineal y ajuste del modelo para adultos a las 24 horas de <i>S. zeamais</i> (Coleoptera: Curculionidae) tratadas con el aceite esencial de <i>A. citrodora</i> (Verbenaceae).....	29
Figura 2. Gráfica de regresión lineal y ajuste del modelo para adultos a las 48 horas de <i>S. zeamais</i> (Coleoptera: Curculionidae) tratadas con el aceite esencial de <i>A. citrodora</i> (Verbenaceae).....	29

Introducción.

Esta tesis de investigación se realizó en Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México en las instalaciones del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Oaxaca dependencia del IPN. El gorgojo del maíz [*Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae)] es una plaga común en los granos almacenados, representando una amenaza significativa para la seguridad alimentaria y los recursos económicos de agricultores y consumidores en todo el mundo (Juárez *et al.*, 2010). Su presencia en instalaciones de almacenamiento de maíz puede provocar considerables pérdidas y deterioro de la calidad de los granos, lo que afecta negativamente la producción y el suministro de alimentos (García-Lara y Bergvinson, 2007).

A través de la recopilación y el análisis de datos de esta investigación se intentará buscar una solución o alternativa a esta plaga, la cual afecta considerablemente al maíz almacenado (Palafox *et al.*, 2008). Se espera que los resultados de esta investigación contribuyan a mejorar la gestión de la plaga del gorgojo del maíz en instalaciones de almacenamiento de grano, fortaleciendo así la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los sistemas de producción de granos a nivel local y global. Todos estos temas que abordaremos se desglosarán en los siguientes capítulos que se mostrarán a continuación.

El *capítulo 1* integra la problemática de esta investigación, la razón por la cual se realizó esta investigación, que problemas causa el gorgojo del maíz y que es lo que se intenta lograr al realizar el presente experimento, veremos la pregunta de investigación, nuestra justificación, la hipótesis que nosotros tenemos al igual que encontrarán nuestros objetivos tanto los generales como los específicos.

El *capítulo 2* lo conforma el marco teórico, que dentro de él abarca algunas definiciones y conceptos, al igual que información del cultivo de maíz como de la plaga conocida como el gorgojo del maíz, abordaremos la importancia de este cultivo como fuente de alimento, su taxonomía, datos de producción a nivel nacional y mundial. Las plagas más importantes en la agricultura, las plagas que afectan a los granos almacenados como es que las plagas afectan al grano

almacenado es decir el daño que le causan, la biología y taxonomía del gorgojo del maíz y sus hábitos, el ciclo de vida, como es que se controlan a estas plagas, tales como el control químico y que daño causa este método de control al medio ambiente. Las plantas como un posible recurso para controlar estas plagas, por que es importante los metabolitos secundarios de la planta, que son los metabolitos secundarios y los métodos para la obtencion de éstos. Generalidades de la *Aloysia citrodora* la composición química y los usos etnobotánicos de esta planta. Al igual que el modo de acción de los aceites esenciales sobre el gorgojo del maíz.

El *capítulo 3* integra la metodología de como se realizó la extracción de los aceites esenciales de la planta de *Aloysia citrodora* y sus metabolitos secundarios, mediante la hidrodestilación, las diferentes pruebas que se hicieron mediante las repeticiones, así como los materiales que se emplearán en todo este procedimiento.

El *capítulo 4* incluye los resultados en los que se presentan y describen los datos obtenidos con vistas a su recopilación, seguido de su interpretación y discusión, mencionando los principales resultados de este estudio.

El *capítulo 5*, la conclusión, consta de las ideas defendidas en este trabajo, las preguntas iniciales respondidas y se emitirán algunas recomendaciones o sugerencias desarrolladas durante este trabajo de investigación.

Capítulo 1

1. Problema

El gorgojo del maíz, plaga considerada como la más dañina por las pérdidas que ocasiona, daña a los granos almacenados por encima del 50% de esta región, el gorgojo de maíz también es vector de enfermedades, al perforar el grano crea una entrada para un posible ataque de bacterias (Rangel *et al.*, 2022). El daño del gorgojo del maíz empieza desde el cultivo en campo, cuando la mazorca ya tiene granos maduros; este insecto puede alimentarse de él, una vez que el gorgojo este dentro empieza a taladrar o perforar el maíz llegando al interior del mismo y dejando solo la cáscara (Nina *et al.*, 2018).

Esta plaga causa daños indirectos y directos, algunos de los daños directos que causan son la pérdida de peso del grano de maíz, disminuye la capacidad germinativa, causa mal olor debido a la entrada de bacterias, además de un bajo valor nutritivo y el aumento de ácidos grasos, lo que causa la acidez, y hace que el maíz adquiera un sabor rancio (Ortega, 1987). Los daños indirectos que causa esta plaga es que con el daño que ocasionan al grano y con la actividad metabólica de estos insectos se crean condiciones favorables para que se desarrollen otros organismos al crear humedad y temperatura adecuada para otros insectos, hongos y bacterias (Vélez y Gustavo, 2022).

El gorgojo del maíz se desarrolla en todo el mundo, a pesar de que su medio ambiente favorable es en las zonas tropicales y subtropicales húmedas, estos insectos también se pueden encontrar en zonas templadas (García *et al.*, 2007). Es importante controlar la plaga, dada la importancia del cultivo, es importante en la dieta alimenticia en todo el país, ya que con él se obtienen diferentes productos, no solo para las personas, sino también para el ganado, además de que genera empleos desde el productor, hasta distribuidores o vendedores (Escobedo, 2023).

2. Pregunta del problema

¿Cuál es el efecto del aceite esencial de *A. citrodora* en la mortalidad y el índice de selección del gorgojo del maíz en granos almacenados?

3. Justificación

Enfrentamos un problema creciente con la resistencia de los insectos a los insecticidas químicos convencionales (Bielza, 2005). La búsqueda de alternativas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente es imperativa para mantener la eficacia del control de plagas y minimizar los impactos negativos en los ecosistemas y la salud humana (Vargas, 2006).

Estudios previos han demostrado que el aceite esencial de *A. citrodora* contiene compuestos como el citral que es el componente principal del aroma, también contiene linalol, limoneno, cineol, terpineol y cariofileno (Antonio, 2020).

Investigaciones anteriores han sugerido que el aceite esencial de *A. citrodora* puede ser efectivo contra otros insectos (Devia *et al.*, 2016). Además, el aceite esencial de esta planta puede ofrecer otros beneficios, como ser biodegradable, tener baja toxicidad para humanos y animales, y tener un aroma agradable, lo que podría hacerlo más aceptable para su uso en entornos de almacenamiento de alimentos, también tiene actividad antibacteriana contra diferentes cepas de estos microorganismos (BIENESTAR, 2023).

4. Hipótesis

Nula (0): El aceite esencial de *A. citrodora* ejercerá un efecto negativo significativo en la población y el comportamiento de los gorgojos del maíz adultos en granos almacenados, lo que sugiere su uso como un agente efectivo en el control del gorgojo del maíz.

Alterna (1): El aceite esencial de *A. citrodora* no ejercerá ningún efecto significativo en la población y el comportamiento de los gorgojos del maíz adultos en granos almacenados.

5. Objetivos

5.1. Objetivo general.

Evaluar la eficacia del aceite esencial de *A. citrodora* para el control del gorgojo del maíz (*S. zeamais*) en granos almacenados.

5.2. Objetivos específicos.

- I. Determinar la mortalidad inducida por el aceite esencial de *A. citrodora* en gorgojos adultos del maíz mediante ensayos de laboratorio.
- II. Evaluar el índice de selección del gorgojo del maíz hacia granos tratados con aceite esencial de *A. citrodora* en comparación con granos no tratados, analizando la preferencia alimentaria.
- III. Calcular la Concentración Letal media (CL₅₀) a través de un análisis de regresión lineal.

Capítulo 2

6. Marco teórico

6.1. El maíz como fuente de importancia alimentaria.

Un cultivo en agricultura es una planta a la cual se le dan los cuidados necesarios, tales como la fertilización, el riego, prácticas culturales y entre otras labores para que la planta se desarrolle correctamente y llegue a su etapa de fructificación, en donde nos dará el producto, ya sea fruto, hoja, semilla o grano (Bembibre, 2022).

El maíz se clasifica dentro de la familia Poaceae, que incluye muchas otras plantas importantes como el trigo, el arroz y la cebada. Su nombre científico completo es *Zea mays* L. y hay varias subespecies y variedades de maíz cultivadas en todo el mundo para diversos fines alimenticios, industriales y agrícolas (Ríos, 2021).

El maíz no solo es una fuente de alimento para los humanos sino también para los animales domésticos, este cultivo es muy importante en México ya que se derivan demasiados productos a base de este cultivo (GOB, 2018). La producción de esta planta se divide en maíz blanco y amarillo; el blanco es principalmente para consumo humano, mientras que el amarillo se destina para productos elaborados industrialmente o para la elaboración de alimentos para ganado (ASERCA, 2018).

La importancia alimenticia del maíz es innegable y se extiende a nivel mundial, impactando en la seguridad alimentaria, la economía y la cultura de muchas sociedades, por tal motivo, aquí se enlistan algunas razones que destacan su relevancia:

6.1.1 Fuente de nutrición.

El maíz es una fuente importante de nutrientes esenciales como carbohidratos, fibra dietética, vitaminas (como la A, C y algunas del complejo B) y minerales (como el magnesio, fósforo y potasio). Estos nutrientes son fundamentales para mantener una dieta equilibrada y promover la salud humana (ALIMENTE, 2020).

6.1.2 Alimento básico.

En muchas partes del mundo, el maíz es un alimento básico en la dieta diaria de millones de personas. Se consume en diversas formas, incluyendo maíz fresco, maíz cocido, tortillas, harina de maíz, polenta, entre otros (AGRICULTURA, 2019). Es especialmente importante en las dietas de las poblaciones de bajos recursos debido a su accesibilidad y costo relativamente bajo (Carrasco *et al.*, 2011).

6.1.3 Versatilidad culinaria.

El maíz se puede utilizar de muchas maneras en la cocina, lo que lo convierte en un alimento muy versátil, desde platos principales hasta postres, pasando por bebidas y aperitivos, el maíz se adapta a una amplia gama de preparaciones culinarias, lo que lo convierte en un ingrediente valioso en la gastronomía de muchas culturas (Fuengirola, 2023).

6.1.4 Industria alimentaria y agroindustrial.

Se utiliza como materia prima en la producción de una variedad de productos alimenticios como cereales para el desayuno, snacks, aceites vegetales, edulcorantes, bebidas alcohólicas y no alcohólicas, entre otros (Caceres *et al.*, 2020).

6.1.5 Alimentación animal.

Además de su consumo directo por parte de los seres humanos, el maíz también es un componente fundamental en la alimentación del ganado y de otros animales de granja, se utiliza como pienso en la producción de carne, leche y huevo, lo que lo convierte en un eslabón importante en la cadena alimentaria de los animales domésticos (Caceres *et al.*, 2020).

6.1.6 Producción del maíz.

La producción de cereales en el año 2019 apunta que hubo un aumento del 1,2% respecto al año 2018 con 2685 millones de toneladas; el cultivo del maíz es uno de los más importantes en la mayoría de los países gracias a su valor económico y a los productos que de él se extraen, sin embargo, como todos los cultivos que conocemos no está exento de las plagas y a sufrir daños por las mismas, lo cual ocasiona daño en nuestro cultivo, pérdidas, merma en la calidad o incluso la pérdida total de nuestro cultivo, según una estimación entre un 10% a un 40%

del maíz es afectado por las plagas a nivel mundial (Hernández-Cruz *et al.*, 2023).

6.2 Plagas de importancia económica en la agricultura.

En el contexto agrícola, una plaga se refiere a cualquier organismo que causa daños o perjuicios a los cultivos, ya sea directamente mediante el consumo de alguna de las partes de las plantas, o indirectamente transmitiendo enfermedades o dañando el entorno en el que crecen los cultivos; el concepto general de plaga puede incluir insectos, ácaros, nematodos, hongos, bacterias, virus, malezas y roedores, entre otros (JACTO, 2022).

Las plagas pueden provocar pérdidas significativas en la producción agrícola al afectar la cantidad, calidad y valor de los cultivos (Agroasemex, 2019). Además de los daños directos a las plantas, las plagas también pueden causar impactos económicos negativos al aumentar los costos de producción (por ejemplo, el gasto en pesticidas y otras medidas de control), reducir los rendimientos y afectar la comercialización de los productos agrícolas (ECO, 2018).

Hay varias plagas que son de gran importancia económica en la agricultura debido a los daños que causan en los cultivos y a los costos asociados con su control. Algunas de las plagas más destacadas son las siguientes: (AGRICULTURA, 2021).

6.2.1 Plagas que atacan la raíz.

Gallina ciega (*Phyllophaga* spp)

“Gallina ciega” es un nombre común para las larvas de ciertos escarabajos del género *Phyllophaga*, también conocidos como escarabajos blancos. Estas larvas son particularmente problemáticas en cultivos como el maíz, donde se alimentan de las raíces, lo que puede debilitarlas y reducir el rendimiento de los cultivos. Las larvas de gallina ciega son de color blanco y tienen forma curva, con patas pequeñas y poderosas mandíbulas, con las que se alimentan de las raíces de las plantas durante el día y por la noche suben a la superficie de la tierra, especialmente después de una lluvia, lo que le dio origen al nombre común de “gallinas ciegas” (SENASICA, 2020).

Gusano de alambre

Las larvas del gusano alambre se alimentan principalmente de las raíces de las plantas, incluido el maíz, lo que puede causar daños importantes a los cultivos; las larvas pueden debilitar las plantas, reducir el crecimiento y el rendimiento del maíz e incluso causar la muerte de las plantas jóvenes si están muy infestadas. Los síntomas de la infestación por gusanos de alambre en el maíz pueden incluir marchitez, coloración amarillenta o crecimiento deficiente de las plantas. Las larvas suelen encontrarse en el suelo, donde se alimentan de las raíces, y pueden ser difíciles de detectar (CAMPOGALEO, 2019).

Diabrotica

Diabrotica sp es un género de escarabajos de la familia Chrysomelidae, comúnmente conocidos como escarabajos de la calabaza, diabroticas o escarabajos del maíz. En este género, la especie más conocida y problemática es *Diabrotica virgifera virgifera*, también llamado gusano de la raíz, este escarabajo es una plaga importante de este cultivo, debido a que sus larvas se alimentan de las raíces de la planta, causando daños importantes al sistema radicular y afectando el crecimiento y rendimiento de la planta, los escarabajos adultos también pueden alimentarse del follaje del maíz, lo que puede agravar aún más los daños (SANIDAD, 2023).

6.2.2 Plagas que atacan el follaje.

Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*)

El gusano cogollero es una de las plagas más devastadoras y ampliamente distribuidas en los cultivos de maíz y otros cultivos de importancia económica en todo el mundo. Es una polilla nocturna cuyas larvas, conocidas como gusanos o larvas de cogollero, se alimentan de las hojas, brotes y espigas tiernas de esta planta (PROAIN, 2020).

La hembra del gusano cogollero deposita sus huevos en grupos, generalmente en el envés o en las axilas de las hojas jóvenes del maíz. Una vez que eclosionan, las larvas se alimentan de las partes vegetativas y reproductivas de

la planta durante su fase larval, después de pasar por varias etapas de desarrollo, se transforman en pupas antes de emerger como adultos (Cambiagro, 2023).

Las larvas del gusano cogollero causan daños al alimentarse de las hojas, los tallos y las espigas del maíz (SENASICA, 2021).

Gusano elotero (*Helicoverpa zea*)

Es una polilla nocturna perteneciente a la familia Noctuidae (SENASICA, 2020). Es una plaga importante en una variedad de cultivos, entre los que se incluyen el maíz, el algodón, el tomate, la soja y otros de importancia económica; las hembras adultas de *H. zea* depositan sus huevos en las hojas, las flores y otras partes de las plantas hospederas. Una vez que eclosionan, las larvas se alimentan de las partes vegetativas y reproductivas de las plantas, incluyendo hojas, brotes, flores y mazorcas de maíz, durante su desarrollo larval, pueden pasar por varias mudas antes de pupar en el suelo y emerger como adultos (AAPRESID, 2024).

Gusano soldado (*Spodoptera exigua*)

Estas larvas son plagas importantes en una variedad de cultivos, incluyendo el maíz. Las hembras adultas de esta especie ponen sus huevos en las hojas y brotes de las plantas hospederas. Una vez eclosionan, las larvas se alimentan de las partes vegetativas de la planta, incluyendo las hojas y los brotes. Las larvas de gusano soldado pueden causar daños significativos al maíz al alimentarse de las hojas, los brotes y las mazorcas, los síntomas de la infestación incluyen perforaciones en las hojas, daño a los brotes y a las yemas, así como la contaminación de los granos con excrementos y tejido vegetal masticado (AGRICULTURA, 2020).

6.3. Plagas que afectan los granos almacenados.

Se pierden entre el 5% y 10% de los granos a causa de las plagas que afectan los almacenes de manera significativa en la calidad y cantidad de los alimentos almacenados, así como en los recursos económicos asociados (GLEBA, 2019). Algunas de las plagas más comunes que pueden afectar los granos almacenados incluyen:

6.3.1 Plagas principales en los granos.

La infestación de estas plagas puede empezar desde el cultivo, estos insectos se comen los granos, una vez que ya no hay alimento, mueren (SILOS, 2019).

- **Taladro del maíz (*Sitophilus zeamais*).**

El ciclo de vida del *S. zeamais* consta de cuatro etapas: huevo, larva, pupa y adulto (AGROLOGICA, 2019).

Las hembras depositan sus huevos dentro de los granos de maíz, las larvas emergen se alimentan del interior del grano, creando galerías en el endospermo (AGROPRODUCTORES, 2021). Las larvas del gorgojo del maíz causan daños significativos a este grano al alimentarse de su contenido, lo cual puede provocar la disminución de la calidad del grano, la reducción del valor nutricional y la contaminación del producto con excrementos y tejidos dañados (Burgos-Díaz *et al.*, 2022).

- **Barrenador grande del grano (*Prostephanus truncatus*).**

Este barrenador es una especie de coleóptero de la familia Bostrichidae y es una plaga importante en los granos almacenados. El ciclo de vida de *Prostephanus truncatus* consta de cuatro etapas: huevo, larva, pupa y adulto, las hembras depositan sus huevos en los granos almacenados, especialmente en maíz y otros cereales, las larvas emergen de los huevos y se alimentan del endospermo de los mismos, creando galerías en su interior (AGROPRODUCTORES, 2021).

- **Palomilla de los cereales (*Sitotroga cerealella*).**

Es una especie de polilla de la familia Gelechiidae, es una plaga común en los granos almacenados y en productos a base de cereales como la harina, el arroz, el maíz y los cereales para el desayuno (DESUR, 2021).

El ciclo de vida de *Sitotroga cerealella* incluye cuatro etapas: huevo, larva, pupa y adulto, las hembras adultas depositan sus huevos en los productos almacenados, especialmente en lugares oscuros y protegidos, las larvas emergen de los huevos y se alimentan del producto, creando galerías y dejando excrementos en su interior, después de completar su desarrollo larval, pupan dentro de un capullo y emergen como adultos (DESUR, 2021).

6.3.2 Plagas secundarias en los granos.

Estas plagas se alimentan de granos deteriorados o los que ya fueron dañados por las plagas principales, es posible que estas plagas aparezcan rápidamente en almacén (SILOS, 2019).

- **Carcoma dentada (*Oryzaephilus surinamensis*).**

Es una especie de escarabajo de la familia Silvanidae, comúnmente conocido como el escarabajo de los granos. Esta especie es una plaga de granos almacenados y puede causar daños significativos en productos como el arroz, el maíz, la cebada, el trigo y otros granos (DESUR, 2021).

Las larvas de esta especie se alimentan del interior de los granos almacenados, causando daños significativos y reduciendo la calidad del producto, los daños pueden incluir la degradación de la textura, el sabor y el valor nutricional de los granos, así como la contaminación con excrementos y tejidos dañados (EZSA, 2019).

- **Ácaro de la harina (*Acarus siro*).**

Es una especie de ácaro de la familia Acaridae y es una plaga común en granos almacenados, en particular en productos que contienen almidón, como la harina, el arroz, el maíz y otros granos. Las hembras depositan sus huevos en los productos almacenados, especialmente en áreas con alimentos ricos en almidón

y humedad, las larvas emergen de los huevos y se alimentan de las partículas finas del almidón y otros materiales presentes en los granos (SENASA, 2022).

- **Gorgojo del pan (*Stegobium paniceum*).**

Es una especie de coleóptero de la familia Ptinidae (Cazorla-Per y Morales-Moreno, 2015). Este escarabajo es una plaga común en granos almacenados, productos secos y alimentos procesados, particularmente en áreas de almacenamiento de alimentos y en hogares (NEOPLAGAS, 2023).

Pasa por varias etapas de desarrollo, incluyendo huevo, larva, pupa y adulto. Las hembras depositan sus huevos en grietas y hendiduras de los alimentos almacenados. Las larvas emergen de los huevos y se alimentan del interior de los alimentos, creando galerías y dejando excrementos en su interior (PLAGAS, 2020).

6.4. Biología y taxonomía del gorgojo del maíz

6.4.1. Generalidades del gorgojo del maíz

Los gorgojos son buenos voladores, esto hace que infesten el cultivo antes de que sean almacenados, la hembra hace un agujero en el grano y deposita los huevos ahí para después cubrirlos con una secreción gelatinosa; cada hembra puede poner hasta 400 huevos en toda su vida, el tiempo desde que esta el huevo hasta llegar al estado adulto es de aproximadamente 4 semanas, esto claro teniendo las condiciones óptimas (Torres, 2011). El daño que ocasionan es que acaban con el maíz, dejan solo polvo a su paso, atacan a diferentes tipos de cultivos, aunque tienen preferencia por el este cultivo.

6.4.2. Taxonomía del gorgojo del maíz

De acuerdo con (Torres, 2011), la taxonomía del gorgojo del maíz es la siguiente:

Reino: Animal

Phylum: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Coleoptera

Suborden: Polyphaga

Familia: Curculionidae

Subfamilia: Curculioninae

Género: *Sitophilus*

Especie: *S. zeamais*

6.4.3. Morfología del gorgojo del maíz

Tamaño y forma.

El gorgojo del maíz tiene un tamaño pequeño, típicamente alrededor de 2-4 mm de longitud, su cuerpo es alargado y cilíndrico, con una cabeza claramente separada del tórax (Torres, 2011).

Cabeza.

La cabeza del gorgojo del maíz es distintiva por su forma alargada y curvada hacia abajo, tiene antenas cónicas que surgen de la parte frontal de la cabeza (García, 2007); Los ojos suelen ser pequeños y compuestos (Triplehorn y Johnson, 2005).

Tórax y abdomen.

El tórax y el abdomen del gorgojo del maíz son de color marrón oscuro a negro y están cubiertos por una cutícula dura, el tórax es relativamente estrecho y el abdomen es más amplio (García, 2009).

Alas.

Tienen dos pares de alas diferentes, el posterior, del tipo membranoso y el anterior endurecido, llamados élitros, los cuales le sirven para proteger al cuerpo y las alas posteriores que son con las que se desplazan (Triplehorn y Johnson, 2005).

Patas.

Tienen seis patas, con tarsos adaptados para caminar sobre superficies planas (Triplehorn y Johnson, 2005).

Pigmentación.

El gorgojo del maíz suele tener un color marrón oscuro a negro uniforme en todo su cuerpo (Ortega, 1987).

6.4.4. Ciclo de vida del gorgojo del maíz

Estos insectos tienen una metamorfosis completa, lo que quiere decir que presentan un proceso de cambios, que ocurren desde que nace un insecto hasta que este llega a la fase adulta, la metamorfosis del gorgojo del maíz es huevo, larva, pupa y adulto (Cubillos P., 2012).

Huevo

Tiene forma de pera de color amarillo o un color blanco opaco mide aproximadamente de 0.3 a 0.7 mm, y son depositados dentro del grano de maíz (García, 2009).

Larva

La larva se parece a un gusano pequeño mide de 2.5 a 2.75 mm es de color blanco aperlado, es de cuerpo grueso, tiene la cabeza pequeña y esta es de color café claro, pasa por 4 estados larvales (García, 2009).

Pupa

Esta es de color blanco pálido al principio y después se torna a un café claro y mide entre 2.75 y 3 mm, tiene sus patas dobladas hacia el cuerpo (García, 2009).

Adulto

Este mide entre 2 y 4 mm, es de un color café oscuro, tiene forma cilíndrica con antenas acodadas, tres pares de patas, dos pares de alas, un par de estas alas sirve para cubrir sus alas verdaderas llamadas élitros (García, 2009).

6.5 Métodos de control implementados y daños provocados

El control del gorgojo del maíz (*S. zeamais*) puede implicar una combinación de métodos preventivos, biológicos y químicos para minimizar su impacto en los cultivos y granos almacenados.

6.5.1. Método de control preventivo

- Inspección y selección de semillas libres de infestación antes de la siembra

- Mantenimiento de la limpieza en los almacenes y áreas de almacenamiento para evitar la acumulación de residuos de granos
- Uso de prácticas de manejo integrado de plagas para reducir la probabilidad de infestación (Zurita *et al.*, 2017).

6.5.2. Método de control químico

Este método se refiere al uso de sustancias químicas para el control del insecto, es fácil de aplicar y tiene una forma de acción más rápida que el control biológico (Lannacone *et al.*, 2005).

6.5.3. Método de control biológico.

Este método hace uso de organismos vivos, los cuales atacan a la plaga, existen diferentes tipos de insectos benéficos, tales como los insectos depredadores, que son los que se comen a la plaga, los insectos parasitoides que bien no se comen a la plaga, pero colocan un huevo dentro o sobre el insecto, el cual recibe el nombre de hospedero y donde se desarrolla el insecto benéfico (Nava-Pérez *et al.*, 2012)

6.5.4. Control químico sintético.

El control químico sintético se llama así ya que se obtuvo de un producto natural el cual ha sido alterado o manipulado químicamente, para el gorgojo del maíz existen varios productos de control químico sintético a base de plantas (Mora-Ojendiz *et al.*, 2012).

6.5.5. Daños ocasionados por plaguicidas.

Existen diferentes tipos de plaguicidas, ya sean orgánicos o químicos de una o de otra forma estos dañan al medio ambiente, a las personas y a los cultivos. Existen diferentes problemas que surgen a raíz de los plaguicidas, tales como:

6.5.6. Daño a la salud.

Los plaguicidas pueden entrar al sistema del ser humano de diferentes formas ya sea por la nariz, boca, ojos y piel, al entrar en contacto con el humano, éste genera una reacción a estos productos, inclusive las reacciones no se ven al momento, si no que retardan la aparición de los síntomas o las consecuencias (Gavidia, 2020). El daño por plaguicidas no solo afecta a quien aplica el producto si no al que está cerca de donde se está aplicando o al ingerir el cultivo que se

fumigó sin antes lavarlo o esperar el tiempo suficiente para que el plaguicida pierda su efecto (Gavidia, 2020).

6.5.7. Daño al medio ambiente

Los plaguicidas dañan al dejar residuos de basura, el uso de estos productos está haciendo que microorganismos benéficos del suelo se vean afectados, dañando al suelo y degradándolo y es por eso que se requiere implementar otros métodos que sean menos agresivos con el medio ambiente (Diez y Barra, 2021).

6.6. Las plantas como recursos con potencial en el control de plagas

6.6.1 ¿Que son los metabolitos secundarios?

Los metabolitos secundarios son compuestos químicos producidos por organismos vivos como plantas, hongos, bacterias y algunos animales, que no están directamente involucrados en los procesos metabólicos básicos de la supervivencia y el crecimiento del organismo, pero que desempeñan funciones importantes en la interacción con el medio ambiente y otros organismos (Pérez *et al.*, 2009).

Estos compuestos pueden tener una amplia variedad de funciones, como defensa contra depredadores, competencia con otras especies, atracción de polinizadores o dispersores de semillas, protección contra patógenos y adaptación a condiciones ambientales adversas. Debido a sus diversas funciones biológicas, los metabolitos secundarios a menudo son de interés para la investigación en áreas como la medicina, la agricultura y la biotecnología (Pérez *et al.*, 2009).

6.6.2 Ejemplos de metabolitos secundarios.

Es difícil determinar un número exacto de metabolitos secundarios, ya que existen una amplia variedad de ellos presentes en la naturaleza y se descubren nuevos compuestos de manera continua. Además, la diversidad de metabolitos secundarios varía entre diferentes especies de plantas, hongos, bacterias y otros organismos.

Algunos ejemplos de grupos de metabolitos secundarios incluyen alcaloides, terpenoides, taninos, flavonoides, saponinas, glucósidos cianogénicos,

glucósidos cardiacos, entre otros, cada uno de estos grupos puede contener cientos o incluso miles de compuestos diferentes con diversas funciones biológicas y propiedades químicas (Ávalos García y Pérez-Urria, 2011).

6.6.3 Como se obtienen los metabolitos secundarios.

La extracción de metabolitos secundarios de organismos vivos, como plantas, hongos o bacterias, puede realizarse utilizando una variedad de métodos, dependiendo de las propiedades químicas de los compuestos de interés y del tipo de organismo del que se extraen. Algunos ejemplos son como prensado, destilación con vapor de agua, extracción con solventes volátiles, enfleurage y con fluidos super críticos (Rodríguez et al., 2012).

Método prensado.

En este método se selecciona la parte de la planta de la cual se desean extraer los metabolitos secundarios y se exprime mecánicamente para que libere el aceite y sea recolectado y filtrado (Rodríguez et al., 2012).

Método de extracción con solventes volátiles.

La muestra de la planta, ya sea seca o molida se deja en contacto con el alcohol o cloroformo, y así la planta suelta su aceite aunque la solución que da este procedimiento no es pura ya que la muestra de planta también suelta grasas y ceras (Rodríguez et al., 2012).

Método de enfleurage.

También conocido como enflorado y para el cual se utilizan generalmente flores; éste se pone en contacto con una grasa, la cual actúa como extractor y de donde se obtiene una mezcla, misma que contiene el aceite esencial y grasa para posteriormente separarlas (Rodríguez et al., 2012).

Método de extracción con fluidos super críticos.

Es el método más reciente, y consiste en cortar la materia vegetal o molerla, se empaca en una cámara de acero inoxidable y se hace circular a través de la muestra el fluido en estado super crítico un ejemplo serio de CO₂, las esencias

son así arrastradas mientras que el otro fluido actúa como extractor y se elimina por descompresión (Rodríguez et al., 2012).

Método de hidrodestilación.

La hidrodestilación es un proceso utilizado para extraer compuestos volátiles, como aceites esenciales, fragancias y otros compuestos aromáticos de materiales vegetales como hojas, flores, tallos, semillas o frutos, a diferencia de otros métodos de extracción, como la destilación al vapor o la extracción con solventes, la hidrodestilación emplea agua como solvente de extracción (Rodríguez et al., 2012).

6.7 *Aloysia citrodora* como una fuente de recursos químicos

A. citrodora, comúnmente conocida como verbena de limón o hierba luisa, es una planta perenne originaria de América del Sur, específicamente de Argentina, Chile y Perú (Ibrahim, et al., 2015).

6.7.1 Descripción botánica.

A. citrodora es un arbusto aromático de hoja perenne que puede alcanzar alturas de hasta 2-3 metros. Sus hojas son lanceoladas, opuestas, dentadas y de color verde brillante. Tiene pequeñas flores blancas o ligeramente rosadas que crecen en espigas terminales (PROTEGE, 2010).

6.7.2 Aroma y sabor

Las hojas de *A. citrodora* tienen un fuerte aroma a limón, de ahí su nombre común de verbena de limón, este aroma se debe a la presencia de compuestos volátiles, especialmente el citral (BIENESTAR, 2023).

6.7.3 Propagación.

A. citrodora se puede propagar por semillas, esquejes de tallo o división de matas, los esquejes de tallo suelen ser el método más común y efectivo para propagar a la planta (PROTEGE, 2010).

6.7.4 Cuidados

A. citrodora prefiere climas cálidos y soleados y es resistente a la sequía, se puede cultivar tanto en macetas como en el suelo, siempre y cuando esté bien drenado, es una planta fácil de cultivar y requiere poco mantenimiento, esta planta requiere poco cuidado una vez establecida, se debe regar regularmente durante los períodos secos y se puede podar para darle forma y fomentar un

crecimiento denso, en áreas con inviernos fríos, es recomendable proteger la planta de las heladas (AECJ, 2015)

6.7.5 Usos y etnobotánica

A. citrodora, comúnmente conocida como verbena de limón o hierba luisa, tiene una variedad de usos debido a su agradable aroma a limón y a sus posibles propiedades medicinales.

6.7.6 Infusiones y té.

Las hojas de *A. citrodora* se utilizan para hacer infusiones y tés con un aroma y sabor a limón distintivos, estas infusiones se consumen comúnmente como una bebida refrescante y reconfortante, tanto caliente como fría, se cree que tienen propiedades digestivas y calmantes, y se pueden tomar para aliviar la indigestión, los cólicos estomacales y otros malestares digestivos (BDMTM, 2018)

6.7.7 Composición química

La composición química de *A. citrodora* puede variar dependiendo de factores como el clima, el suelo, el momento de la cosecha y otros factores ambientales. Sin embargo, los componentes químicos más comunes encontrados en esta planta incluyen:

Citral

El citral es el compuesto responsable del distintivo aroma a limón, un compuesto terpenoide que se encuentra en muchas plantas aromáticas y se utiliza ampliamente en la industria de alimentos y fragancias (Calero, 2013).

Linalol

El linalol es otro compuesto terpenoide que contribuye al aroma característico de la hierba luisa, tiene propiedades relajantes y se utiliza en la aromaterapia y en la fabricación de productos cosméticos y perfumes (Stingl, 2020).

Geraniol

El geraniol es un alcohol terpenoide que también se encuentra en *A. citrodora* y contribuye a su aroma floral y cítrico, tiene propiedades repelentes de insectos y

se utiliza en la fabricación de repelentes naturales y productos de cuidado personal (ZOTAL, 2017).

Nerol

El nerol es un alcohol terpenoide relacionado con el geraniol y también se encuentra en *A. citrodora* y contribuye al aroma floral y fresco de la planta y se utiliza en la industria de perfumes y aromaterapia (ECOSOSTENIBLE, 2023).

6.8 Modo de acción de los aceites esenciales sobre el gorgojo del maíz.

Los aceites esenciales tienen varios modos de acción sobre las plagas, lo que los hace útiles en el control de insectos y otros organismos perjudiciales, es importante tener en cuenta que el modo de acción de los aceites esenciales puede variar dependiendo del tipo de aceite esencial, la concentración utilizada y la especie de plaga objetivo.

6.8.1 Toxicidad por contacto.

Los aceites esenciales pueden ser tóxicos para las plagas cuando entran en contacto directo con ellas, los compuestos químicos presentes en los aceites esenciales pueden interferir con la cutícula de los insectos, causando daños físicos y provocando la deshidratación o muerte de la plaga (Reyes-Guzmán *et al.*, 2012).

6.8.2 Toxicidad por inhalación

Algunos aceites esenciales pueden ser volátiles y liberar compuestos químicos que son tóxicos para las plagas cuando son inhalados, estos compuestos pueden afectar el sistema respiratorio de los insectos, causando daño celular o alterando su metabolismo, lo que eventualmente lleva a la muerte (Reyes-Guzmán *et al.*, 2012).

6.8.3 Inhibición del desarrollo.

Los aceites esenciales pueden interferir con el desarrollo de las plagas al afectar procesos biológicos clave, como la muda, la metamorfosis o la reproducción, algunos compuestos presentes en los aceites esenciales pueden actuar como reguladores del crecimiento de insectos, impidiendo que las plagas alcancen la madurez sexual o se reproduzcan con éxito (Andrade-Hoyos *et al.*, 2022).

6.8.4 Repelencia

Los aceites esenciales pueden actuar como repelentes naturales, ahuyentando a las plagas y evitando que se establezcan en un área determinada, el aroma fuerte y los compuestos químicos presentes en los aceites esenciales pueden ser desagradables o irritantes para las plagas, lo que las repele del área tratada (FENPAL, 2023).

Capítulo 3

7. Materiales y Métodos

7.1 Cría del insecto

Los granos de maíz infectados con *Sitophilus zeamais* se obtuvieron de San José de las Huertas, Ejutla de Crespo, Oaxaca, México (16°33'54.0"N, 96°42'24, 9"W), y su identificación taxonómica fue confirmada mediante el uso de las claves de Haynes (1991). Los insectos se criaron a una temperatura de entre 25 ± 2°C y entre 60 y 70% de humedad relativa (HR). La humedad relativa se mantuvo con una solución saturada de NaCl en un vaso de precipitados de 500 ml. Los granos de maíz de la variedad Elotero se obtuvieron de los almacenes de los agricultores del área de estudio, donde el grano se denomina "Bolita". Se colocaron 200 insectos adultos de prueba en frascos de plástico de 20 litros que contenían 500 g de semillas. Luego se cubrieron los frascos con una malla de nailon y se colocaron en un lugar ventilado. Los insectos fueron tamizados 14 días después de la oviposición. Luego, los matraces se almacenaron en condiciones de laboratorio (Jembere et al., 1995; Zewde y Jembere, 2010) hasta la aparición de la descendencia F1, que pudo usarse en el experimento.

7.2 Recolección y preparación de material vegetal

Se recolectaron hojas frescas de *A. citrodora* en la región de Santa Cruz Xoxocotlán del estado de Oaxaca (17.02787°N, 96.72227°W). La planta fue seleccionada en función de sus propiedades aromáticas, disponibilidad y frecuencia de uso entre los residentes (Bouchra et al., 2003; Ansari et al., 2012). La identificación taxonómica fue realizada por el curador del herbario CIIDIR-Oaxaca. La planta se lavó con agua del grifo y luego se colocó sobre un periódico para que se secase por dentro y se pulverizó hasta convertirla en polvo usando un molinillo mecánico.

7.3 Extracción de aceite esencial

El método de extracción se realizó en un sistema de recirculación de agua aromática utilizando un aparato tipo Clevenger adaptado a un horno microondas convencional (SAMSUNG MW1235WB, 1.1 ft³, 2450 MHz), utilizando 100 g de planta en 1 L de agua. El aceite esencial extraído se cuantificó cada 10 minutos (tiempo de irradiación) y se dejó durante 3 horas. La capa de aceite esencial se separó de la fase acuosa usando un embudo de decantación, y el aceite esencial resultante se drenó usando sulfato de sodio anhidro (Na₂SO₄) y se almacenó en una botella de color ámbar a 4°C hasta su uso.

7.4 Prueba de toxicidad.

Se utilizaron 10 gramos de maíz, los cuales se colocaron en recipientes de plástico con su respectiva tapa perforada. El aceite esencial de *A. citrodora* se diluyó con 5 ml de etanol para lograr soluciones de prueba a 100, 200, 400, 600 y 800 ppm. Utilizando una micropipeta se aplicaron alícuotas (0.5 ml) de las soluciones de prueba en cada recipiente hasta cubrir todos los granos.

El etanol se evaporó después de 20 minutos y transcurrido esto se colocaron 20 adultos de 10 a 12 días de edad sin sexar (Fazolin *et al.*, 2007). La mortalidad del gorgojo se contabilizó a las 24 y 48 horas. Se estableció un control negativo sin aplicación de aceite esencial con 100 µL de etanol (Lagunes y Rodríguez 1989; González *et al.*, 2009; Oliveira *et al.*, 2012) y como control positivo el butóxido de piperonilo con deltametrina como insecticida piretroide a 10 µL cm⁻² (K-Obiol 2.5, Bayer México). La mortalidad se expresó como un porcentaje en relación a los insectos muertos o vivos encontrados en el control, considerando insectos muertos aquellos que no presentaron movimiento.

7.5 Prueba de índice de selección (preferencia).

El índice de selección se midió mediante el método de preferencia de área. El experimento se llevó a cabo utilizando un aparato compuesto por tres recipientes de plástico circulares, con un recipiente central conectado a los otros dos

recipientes mediante cilindros de plástico (10 cm de largo, 1 cm de diámetro), como se describe en la literatura científica (Mazzonetto y Vendramin, 2003; Fouad et al., 2012; Viteri-Jumbo et al., 2014). En el recipiente 1 se colocaron 10 gramos de maíz tratado con aceite esencial de *A. citrodora*, en el recipiente 3 se colocaron 10 gramos de maíz sin tratamiento estos fueron colocados a los extremos del vaso 2. En el recipiente central (2) se liberaron 20 adultos no sexados y con ayuno previo de 24 h, y a las 24 h se registró el número total de insectos por contenedor. El índice de selección se calculó según lo propuesto por Mazzonetto (2002) y Mazzonetto y Vendramin (2003); $SI = (2 \times G) / (G + C)$, donde SI es el índice de selección, C es el número de insectos en el contenedor sin tratar y G es el número de insectos en el contenedor tratado. Los valores de SI variaron entre 0 y 2, donde los siguientes valores indicaron la actividad: SI = 1 (actividad neutra), SI > 1 (atracción) y SI < 1 (repelencia). Como margen de seguridad para esta clasificación, la desviación estándar (DE) de cada tratamiento se agregó/restó de un valor de 1 (indicativo de neutralidad). Como control positivo, se empleó el repelente comercial, N, N-dietil-3-metilbenzamida (DEET).

Se agruparon los datos del índice de selección del gorgojo del maíz tratados con los aceites esenciales con las categorías propuestas por Arivoli et al. (2013) con algunas modificaciones, siendo estas:

- Atracción (SI > 1)
- Neutra actividad (SI = 1.00)
- + Baja actividad repelente ($0.75 \leq SI \leq 0.99$)
- ++ Media actividad repelente ($0.50 \leq SI \leq 0.74$)
- +++ Alta actividad repelente ($0.25 \leq SI \leq 0.49$)
- ++++ Muy alta actividad repelente ($0.00 \leq SI \leq 0.24$)

7.6 Análisis de los datos.

Los datos recopilados para este estudio se administraron con el paquete Microsoft Excel 2016 y se analizaron con el programa estadístico Minitab versión 18.1. Todos los experimentos se realizaron con tres repeticiones y los datos se

expresaron como media \pm desviación estándar, así como el coeficiente de determinación (r^2) para reflejar la prueba de índice de selección o preferencia (mortalidad, repelencia), y los grados de libertad (GL) que vienen dados por el número de valores que pueden asignarse arbitrariamente. Se utilizó un análisis de varianza ANOVA de una sola vía ($p < 0.05$) para observar los efectos del aceite esencial contra los gorgojos. La concentración letal que controla la mitad de la población de gorgojos (CL_{50} y CL_{90}), tomando en cuenta la mortalidad que ocurrió 24 horas y 48 horas después de los tratamientos y considerando las cinco concentraciones de aceite esencial de *A. citrodora* (Sakuma, 1998).

Capítulo 4

8. Resultados

En los bioensayos desarrollados logramos observar que conforme aumentan las concentraciones del aceite esencial de la *Aloysia* aumenta la mortalidad de los adultos del gorgojo, lo que indica una dependencia inversamente proporcional entre las variables de estudio. Las concentraciones más efectivas se encontraron en el rango de 400 a 800 ppm, siendo la concentración de 800 ppm la más efectiva con un 95.00% de efectividad a las 24 horas ($F=229.86$, $df=6,14$, $p<0.001$, $r^2=0.9900$). La concentración de 600 ppm es estadísticamente similar a la concentración más alta utilizada, mientras que la de 400 ppm si bien elimina más del 50% de la población es significativamente diferente a las concentraciones anteriormente mencionadas. Se aprecia que el aceite esencial es eficaz en diferentes medidas en todas las concentraciones utilizadas, debido a que presenta mortalidad en todas las aplicaciones desde el primer día de aplicación. A las 48 horas la mortalidad es total en las concentraciones de 800 y 600 ppm, por lo que son igual de eficaces para las primeras 48 horas de aplicación ($F=146.01$, $df=6,14$, $p<0.001$, $r^2=0.9775$). La mortalidad acumulada sigue siendo significativamente mayor en las concentraciones más altas en comparación con la concentración de 200 ppm que registró un 41.67% de efectividad en este mismo tiempo. Es notable observar que existe un incremento sobre el efecto de mortalidad, con lo que se puede inferir que el aceite esencial requiere más tiempo para seguir actuando (Cuadro 1).

Los resultados presentados en el Cuadro 2, indican que el aceite esencial obtenido de *A. citrodora* ejerce una acción tóxica sobre los gorgojos de maíz. Tanto la CL_{50} como la CL_{90} muestran que se requieren concentraciones bajas para lograr una alta tasa de mortalidad en los gorgojos de maíz.

Cuadro 1. Mortalidad (%) de adultos de *S. zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) tratadas con el aceite esencial de *A. citrodora* (Verbenaceae).

Concentración (ppm)	Mortalidad Acumulada (horas)	
	24	48
800	95.00 ± 5.00 ab	100.00 ± 0.00 a
600	83.33 ± 2.89 b	100.00 ± 0.0 a
400	53.33 ± 7.64 c	73.33 ± 12.58 b
200	30.00 ± 5.00 d	41.67 ± 7.64 c
100	20.00 ± 5.00 d	25.00 ± 5.00 d
Control (-)	0.00 ± 0.00 e	0.00 ± 0.00 d
Control (+)	100.00 ± 0.00 a	100.00 ± 0.00 a

Los datos por columna que no comparten letras son significativamente diferentes $p < 0.05$. $x \pm SE$: media \pm desviación estándar.

En relación al ajuste del modelo y su relevancia estadística, los valores de chi-cuadrado y p indican que el modelo utilizado para ajustar los datos es significativo y se ajusta bien a los resultados experimentales. El valor de p (< 0.001) sugiere que las diferencias observadas entre los grupos son altamente significativas y poco probables de ocurrir al azar. De acuerdo con el análisis Probit de regresión lineal, se pudo determinar que las concentraciones teóricas del aceite esencial que controlan el 50% y el 90% de la población del gorgojo de maíz fueron de 254.94 y 463.34 ppm, respectivamente (Grafica 1).

Cuadro 2. Concentraciones letales y análisis de regresión a las 24 y 48 horas del efecto del aceite esencial de *A. citrodora* (Verbenaceae) sobre *S. zeamais* (Coleoptera: Curculionidae).

Aceite esencial	CL ⁵⁰ (IC)	CL ⁹⁰ (IC)	Slope (SE)	χ^2 (df)	z-value	p-value
24 horas	365.90 ± 20.29 (326.45 – 407.19)	682.40 ± 36.02 (620.20 – 764.88)	-1.48 (0.14)	7.27 (4)	-10.45	<0.001
48 horas	254.94 ± 15.40 (225.22 – 286.73)	463.341 ± 27.18 (416.98 – 526.77)	-1.56 (0.16)	10.65 (4)	-9.68	<0.001

CL: concentración letal; CL₅₀: concentración letal que controla la mitad de la población de la plaga; CL₉₀: concentración letal que controla el 90% de la población. IC: intervalos de confianza fiduciarios. SE: error estándar; χ^2 (df): valor de chi-cuadrado (grados de libertad); valor z: valor estadístico de la prueba (puntuación z); valor p: valor de probabilidad.

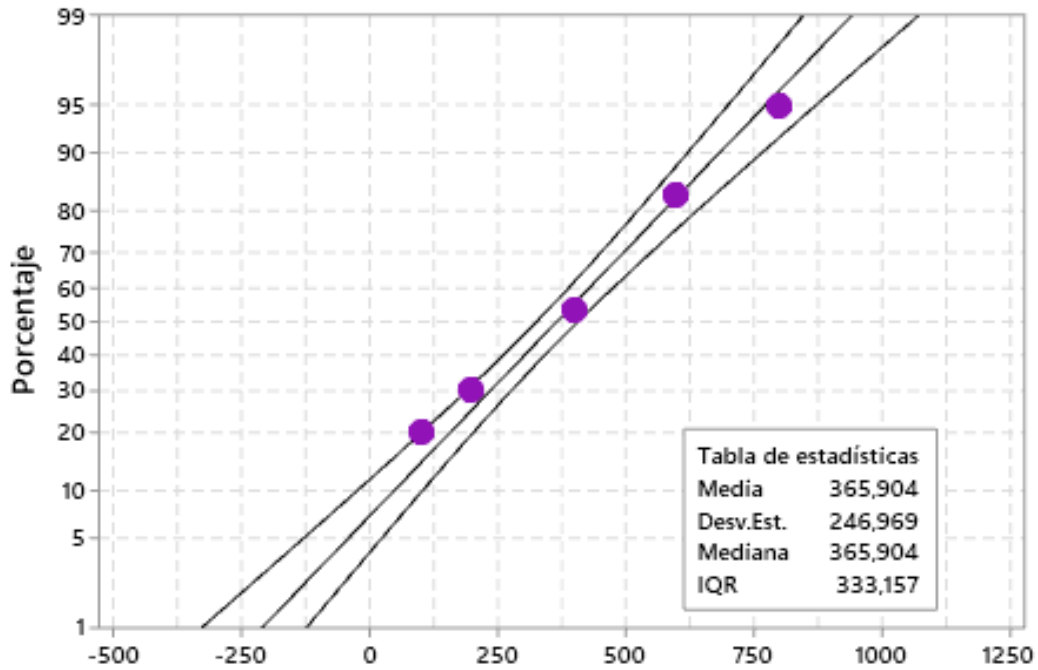


Figura 1. Gráfica de regresión lineal y ajuste del modelo para adultos a las 24 horas de *S. zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) tratadas con el aceite esencial de *A. citrodora* (Verbenaceae).

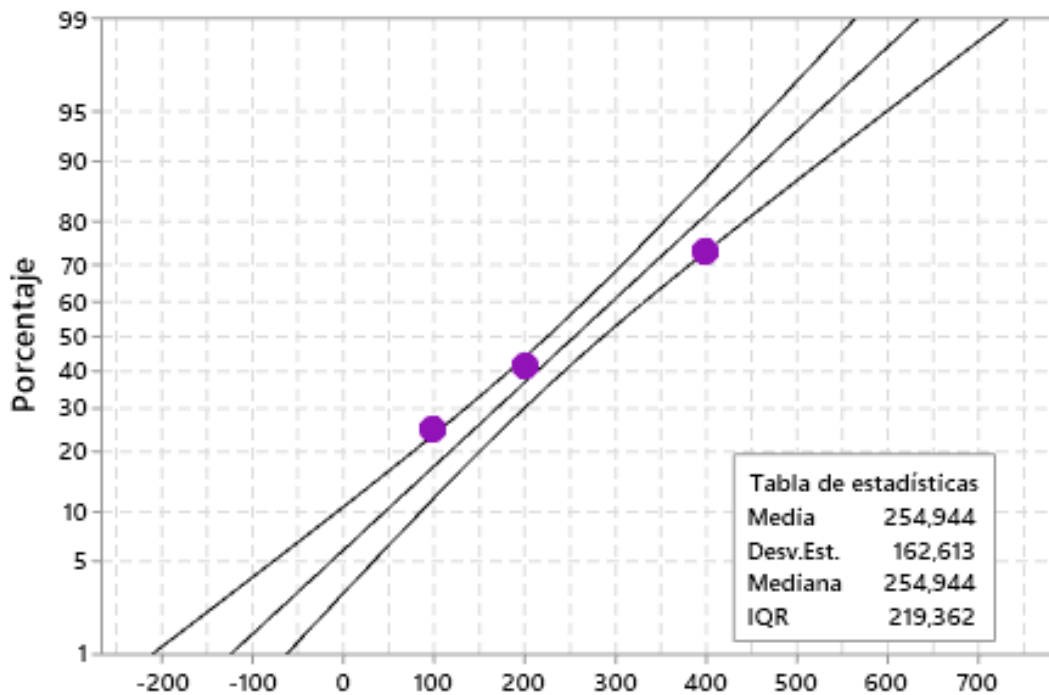


Figura 2. Gráfica de regresión lineal y ajuste del modelo para adultos a las 48 horas de *S. zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) tratadas con el aceite esencial de *A. citrodora* (Verbenaceae).

En el Cuadro 3 se muestran los datos obtenidos para obtener el índice de selección del insecto, de los gorgojos de maíz que se encontraban en los granos de maíz tratados y la comparación con los gorgojos no tratados. Con esta información se calculó el Índice de Selección (SI) para cada concentración. La categoría indica la eficacia del tratamiento, donde "++++" indica la mayor eficacia y "--" la menor. Se puede observar que a la concentración de 800 ppm en los granos de maíz tratados no quedaron gorgojos vivos mientras que en los gorgojos no tratados estaban vivos los gorgojos ($F = 130.15$, $df = 6, 14$, $p < 0.001$, $r^2 = 0.9824$). A la concentración de 600 ppm se observa que se redujo el número de los gorgojos en los granos tratados (25.00 ± 5.00), en comparación con los gorgojos no tratados (75.00 ± 5.00), lo que quiere decir que tiene una eficacia moderada. La concentración de 400 ppm muestra una reducción aún mayor en el número de gorgojos tratados sobre los granos (43.33 ± 2.89), con un aumento correspondiente en los gorgojos no tratados (56.67 ± 2.89). El índice de selección es de 0.86, indicando que el tratamiento es efectivo. Las concentraciones de 200 y 100 ppm muestran una disminución de efectividad.

Cuadro 3. Índice de selección de *S. zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) tratadas con el aceite esencial de *A. citrodora* (Verbenaceae).

Concentración (ppm)	Gorgojos sobre granos		Índice de selección (SI)	Categoría
	Tratado	No tratado		
800	0.00 ± 0.00 e	100.00 ± 0.00 a	0.00 ± 0.00	++++
600	25.00 ± 5.00 d	75.00 ± 5.00 b	0.50 ± 0.10	++
400	43.33 ± 2.89 c	56.67 ± 2.89 c	0.86 ± 0.05	+
200	76.67 ± 7.64 b	23.33 ± 7.64 d	1.53 ± 0.15	--
100	93.33 ± 2.89 a	6.67 ± 2.89 e	1.86 ± 0.05	--
Control (-)	51.67 ± 10.41 c	48.33 ± 10.41 c	1.03 ± 0.20	--
Control (+)	0.00 ± 0.00 e	100.00 ± 0.00 a	0.00 ± 0.00	++++

Los datos por columna que no comparten letras son significativamente diferentes $p < 0.05$. $x \pm SE$: media ± desviación estándar.

9. Discusión

El aceite de *A. citrodora* produjo una disminución en los gorgojos del maíz y es un efectivo repelente de los gorgojos lo que significa que los resultados que se obtuvieron de este estudio son positivos y se podría utilizar el aceite esencial de *A. citrodora* como repelente. El efecto repelente se debe a su olor o aroma a limón, que son características organolépticas de la planta (Arteaga et al., 2016). Varios estudios han investigado el efecto de diferentes aceites esenciales en el control de plagas de granos almacenados, incluidos los gorgojos del maíz, tal es el caso de la investigación de Felicetti (2020) quien evaluó *A. citrodora* y *A. polystachya*, quien evaluó la actividad alimentaria y la acción fumigante de estas plantas en etapa larvaria y adulta de *Tribolium castaneum* y al evaluar la tasa de consumo no se observaron diferencias entre el control y el aceite esencial a todas las concentraciones, pero en la toxicidad a larvas de *T. castaneum*, *A. polystachya* causa la mayor mortalidad tanto a las 24 horas como a las 48 horas. Y en la toxicidad de adultos durante las 24 horas las mayores concentraciones de *A. citrodora* fueron significativamente más letales y a las 48 horas se observó que las mayores concentraciones de los dos aceites causaron una elevada mortalidad en los adultos de *T. castaneum*.

Estas mismas plantas fueron evaluadas contra *Rhyzopertha dominica* por Benzi et al. (2009). *A. citrodora* como *A. polystachya* tuvieron una alta mortalidad en adultos de *R. dominica* en concentraciones de 0.16, 0.24, 0.32, y 0.48 mg/cm².

Además, investigaciones anteriores han explorado el potencial de otros aceites esenciales en el control de plagas coleópteras que afectan al maíz.

Por ejemplo, Ngongo-Kapenga et al., (2021) evaluaron la actividad insecticida del aceite esencial de *Eucalyptus globulus* contra *S. zeamais* y encontraron que tiene propiedades insecticidas independientemente del volumen que se utilice, un aumento del volumen del aceite esencial de *Eucalyptus globulus* aumenta la tasa de mortalidad del gorgojo, al igual que disminuyó el daño en los maíces que fueron tratados, las concentraciones que se utilizaron fueron de 30, 25, 20 y 15 µl.

Estas investigaciones respaldan de que los aceites esenciales obtenidos de las plantas pueden ser una buena opción para el control de las plagas, además de ser respetuosa con el medio ambiente.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que la eficacia de los aceites esenciales puede variar dependiendo de factores como la especie de insecto, la etapa del insecto, la concentración del aceite y las condiciones ambientales. Por lo tanto, se necesitan más investigaciones para evaluar la eficacia del aceite esencial de *A. citrodora* en diferentes condiciones y contra más plagas.

Capítulo 5

10. Conclusión

Los resultados que se obtuvieron en esta investigación revelan que el aceite esencial de *A. citrodora* tiene el potencial de ser usado como un controlador del gorgojo del maíz. Esto significa que el aceite de *A. citrodora* puede servir como repelente. Las concentraciones efectivas del aceite esencial de *A. citrodora* para el control del gorgojo se encuentran en el rango de 365 a 682 ppm dentro de las 24 horas y 254 a 463 ppm dentro de las 48 horas.

Los resultados de esta investigación respaldan la hipótesis de investigación planteada y sugieren que el aceite esencial de *A. citrodora* tiene el potencial de ser una alternativa efectiva y selectiva en el control del gorgojo del maíz en granos almacenados.

Estos resultados contribuyen al conocimiento sobre el uso de compuestos botánicos en el manejo integrado de plagas y destacan la importancia de explorar enfoques sostenibles y respetuosos con el medio ambiente en la agricultura.

11. Recomendaciones

Se recomienda realizar más estudios adicionales para evaluar la eficacia del aceite esencial de *Aloysia citrodora* en diferentes condiciones ambientales y contra diferentes etapas de desarrollo de gorgojos del maíz. Se recomienda realizar estudios a largo plazo para evaluar el efecto del aceite esencial con el continuo uso. Esto ayudaría a determinar si el tratamiento es efectivo en la prevención de infestaciones a lo largo del tiempo y si hay algún efecto acumulativo en la calidad de los granos para la germinación de las semillas en campo.

12. Referencias

- AAPRESID. (2024). *La oruga de la espiga vuelve a aparecer en maíz*. [En línea]
Available at: <https://www.aapresid.org.ar/blog/oruga-espiga-vuelve- aparecer- maiz#:~:text=Helicoverpa%20zea%2C%20tambi%C3%A9n%20conocida %20como,menor%20susceptibilidad%20a%20esta%20toxina>
- AECJ. (2015). *Aloysia triphylla o Aloysia citriodora*. [En línea]
Available at: <https://www.verdeesvida.es/fichas de plantas/arbustos-y- trepadoras 1/hierbaluisa--cedron 3220>
- Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios (Aserca), 23 de agosto de 2018. Maíz grano cultivo representativo de México. <https://www.gob.mx/aserca/articulos/maiz-grano-cultivo-representativo-de-mexico>.
- AGRICULTURA. (2019). *Gobierno de Mexico*. [En línea]
Available at: <https://www.gob.mx/agricultura/cdmx/articulos/productos- artesanales-de- maiz?idiom=es#:~:text=El%20uso%20m%C3%A1s%20com%C3%BAn% 20es,ma%C3%ADz%2C%20gelatina%20y%20productos%20diet%C3% A9ticos>.
- AGRICULTURA. (2020). *Estrategia operativa del manejo fitosanitario del cultivo de maíz en apoyo a la producción para el bienestar*. [En línea]
Available at: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/576248/EO-Ma z- Septiembre-20-Rub.pdf>
- AGRICULTURA. (2020). *Spodoptera exigua*. [En línea]
Available at: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/633036/Gusano soldad o spodoptera exigua.pdf>
- AGRICULTURA. (2021). *La identificación temprana, primera barrera contra plagas y enfermedades del maíz*. [En línea]
Available at: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-identificacion- temprana-primera-barrera-contra-plagas-y-enfermedades-del-maiz>
- Agroasemex. (2019). *Las plagas producen pérdidas de hasta un 40 por ciento en la producción agrícola, revela estudio de la FAO*. [En línea]
Available at: <https://www.gob.mx/agroasemex/articulos/las-plagas- producen-perdidas-de-hasta-un-40-por-ciento-en-la-produccion-agricola- revela-estudio-de-la- fao#:~:text=Entre%20las%20plagas%20m%C3%A1s%20nocivas,la%20l arva%20minadora%20de%20hojas>.

AGROLOGICA. (2019). *Sitophilus oryzae*. [En línea]
Available at: <https://www.agrologica.es/informacion-plaga/gorgojo-arroz-sitophilus-oryzae/>

AGROPRODUCTORES. (2021). *Barrenador del maíz (Prostephanus truncatus Horn)*. [En línea]
Available at: <https://agroproductores.com/prostephanus-truncatus-horn/>

AGROPRODUCTORES. (2021). *Gorgojo del maíz (Sitophilus zeamais Motschulsky)*. [En línea]
Available at: <https://agroproductores.com/sitophilus-zeamais-motschulsky/>

ALIMENTE. (2020). *Alimente*. [En línea]
Available at: https://www.alimente.elconfidencial.com/nutricion/2020-08-17/maiz-vitaminas-minerales-fibra_1517062/

Andrade-Hoyos, Urrieta-Velázquez P., Landero-Valenzuela N., Reyes-de la Cruz H., Sampayo-Maldonado S. y Luna-Cruz A. (2022). Potencial de los aceites esenciales en el control de *Phytophthora cinnamomi* Rands y *Fusarium* sp. in vitro en *Cinnamomum verum*. *Terra Latinoamericana*, Vol. 40.

Ansari, N. D., N. Hasanzadeh, M. R. Bagher, and A. Ghasemi. (2012). Antibacterial activity and chemical compositions of *Chamaemelum nobile* essential oil/extracts against *Pseudomonas tolaasii*, the causative agent of mushroom brown blotch. *Ann. Biol. Res.* 3: 2602–2608

Antonio Gómez, M. (2020). *Dirección de Ecología y Medio ambiente*. [En línea]
Available at: https://transparencia.cholula.gob.mx/transparencia_file/Nueva%20Estructura%202018-2021/Secretar%C3%ADa%20de%20Bienestar%20Sustentable%20y%20Sostenible/Direcci%C3%B3n%20de%20Ecolog%C3%ADa%20y%20Medio%20Ambiente/Datos%20Abiertos/Especies%20Vegetales%20del%2

Arivoli, S., y Tennyson, S. (2013). Actividad ovicida de extractos de plantas contra *Spodoptera Litura* (Fab) (Lepidoptera: Noctuidae).

Arteaga, M.; Bach H.G.; Garrote, L. & Chludil, H.D. (2016). Generación del rendimiento y composición química de aceite esencial en cedrón (*Aloysia Polystachya* Palau). *Dominguezia*, Vol. 32. N°2.

Ávalos García, A. & Pérez-Urria Carril., E. (2011). Metabolismo secundario de plantas. *Reduca (biología)* 2.3, pp. 1-27.

BDMTM. (2018). *Cedron*. [En línea] Available at: <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/apmtm/termino.php?l=3&t=aloyisia-triphylla>

- Bembibre, V. (2022). *Definición de cultivos*. [En línea] Available at: <https://significado.com/cultivo/>
- Benzi V., Sánchez C., Ferrero A. A. (2009). Comparación del efecto insecticida de dos especies de *Aloysia* (Verbenaceae) sobre *Rhizopertha dominica* (Insecta, Coleoptera, Bostrichidae). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*. 8 (2): 151-153.
- BIENESTAR. (2023). *Mama bruja*. [En línea] Available at: <https://mamabruja.com/cedron-propiedades-medicinales-magicas/>
- Burgos-Díaz, J. A. Rangel-Fajardo, M.A., Tucuch-Haas, J.I., Benítez-Riquelme, I., Garía-Zavala, J.J. (2022). *Suseptibilidad de poblaciones nativas de maíz y preferencia del gorgojo en Yucatán, México*. [En línea] Available at: <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/download/2081/3620?inline=1>
- Caceres Vasquez, K. Y., Tello Argüello , A. M. & Pereira Rueda, J. P. (2020). PRODUCTOS TRADICIONALES A BASE DE MAÍZA PARTIR DE TALLERES PRÁCTICOS EN COCINA. *UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA*, pp. 25-27.
- Calero Contreras, E. (2013). *DOCUMENTACIÓN TOXICOLÓGICA PARA ELESTABLECIMIENTO DEL LÍMITE DE EXPOSICIÓN PROFESIONAL DE CITRAL*. [En línea] Available at: <https://www.insst.es/documents/94886/289416/DLEP%2073.%20cital.pdf/79386b18-34a1-4f45-b74c-37c0ae2ec7de?version=1.0&t=1528396128374>
- Cambiagro. (2023). *Conocer el desarrollo biológico del Spodoptera frugiperda sirve para comprender el momento óptimo de control para tomar acciones prontas*. [En línea] Available at: <https://blog.cambiagro.com/2023/11/14/ciclo-de-vida-del-gusano-cogollero/>
- CAMPOGALEO. (2019). *Síntomas y tratamiento del gusano del alambre en maíz*. [En línea] Available at: <https://www.campogalego.es/sintomas-y-tratamiento-del-gusano-del-alambre-en-maiz/>
- Carrasco Quintero, M. d. R., Ortiz-Hernández, L., Chávez-Villasala, A., Roldán-Amaro, J.A., Guarneros-Soto, N., Agirre-Arenas, J. y Ledesma-Solano, J.A. (2011). Impacto del consumo de harina de maíz con un bajo nivel de enriquecimiento en niños de zonas rurales. *Scielo*, p. 8.

- BDMTM. (2018). *Cedron*. [En línea] Available at: <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/apmtm/termino.php?l=3&t=aloesia-triphylla>
- Bembibre, V. (2022). *Definicion de cultivos*. [En línea] Available at: <https://significado.com/cultivo/>
- BIENESTAR. (2023). *Mama bruja*. [En línea] Available at: <https://mamabruja.com/cedron-propiedades-medicinales-magicas/>
- Bouchra, C., M. Achouri, L. Idrissi Hassani, and M. Hmamouchi. (2003). Chemical composition and antifungal activity of essential oils of seven Moroccan Labiatae against *Botrytis cinerea* Pers: Fr. *J. Ethnopharmacol.* 89:165–169
- Burgos-Díaz, J. A. Rangel-Fajardo, M.A., Tucuch-Haas, J.I., Benítez-Riquelme, I., Garía-Zavala, J.J. (2022). *Suseptibilidad de poblaciones nativas de maiz y preferencia del gorgojo en Yucatán, México*. [En línea] Available at: <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/download/2081/3620?inline=1>
- Caceres Vasquez, K. Y., Tello Argüello , A. M. & Pereira Rueda, J. P. (2020). PRODUCTOS TRADICIONALES A BASE DE MAÍZA PARTIR DE TALLERES PRÁCTICOS EN COCINA. *UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA*, pp. 25-27.
- Calero Contreras, E. (2013). *DOCUMENTACIÓN TOXICOLÓGICA PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL LÍMITE DE EXPOSICIÓN PROFESIONAL DE CITRAL*. [En línea] Available at: <https://www.insst.es/documents/94886/289416/DLEP%2073.%20cital.pdf/79386b18-34a1-4f45-b74c-37c0ae2ec7de?version=1.0&t=1528396128374>
- Cambiagro. (2023). *Conocer el desarrollo biológico del Spodoptera frugiperda sirve para comprender el momento óptimo de control para tomar acciones prontas*. [En línea] Available at: <https://blog.cambiagro.com/2023/11/14/ciclo-de-vida-del-gusano-cogollero/>
- CAMPOGALEO. (2019). *Síntomas y tratamiento del gusano del alambre en maíz*. [En línea] Available at: <https://www.campogalego.es/sintomas-y-tratamiento-del-gusano-del-alambre-en-maiz/>
- Carrasco Quintero, M. d. R., Ortiz-Hernández, L., Chávez-Villasala, A., Roldán-Amaro, J.A., Guarneros-Soto, N., Agirre-Arenas, J. y Ledesma-Solano,

- J.A. (2011). Impacto del consumo de harina de maíz con un bajo nivel de enriquecimiento en niños de zonas rurales. *Scielo*, p. 8.
- Cazorla-Per, D. & Morales-Moreno, P., 2015. "Infestación de hojuelas de maíz por el gorgojo del tabaco (*Lasioderma serricorne*; Coleoptera: Ptinidae) en el semiárido urbano del estado Falcón, Venezuela. importancia m.". *Saber* 27.3, p. 504_509.
- Cubillos P., A. (2012). *ESTUDIO DE EVALUACION DE PERDIDAS DE GRANOS BASICOS POSTCOSECHA*. [En línea] Available at: <https://www.fao.org/3/X5030S/x5030S01.htm>
- DESUR. (2021). *Oryzaephilus Surinamensis. Carcoma dentada de los granos*. [En línea] Available at: <https://www.desur.com/plagas/coleopteros/oryzaephilus-surinamensis/>
- DESUR. (2021). *Sitotroga Cerealella. Nombre común - Desur Agrícola*. [En línea] Available at: <https://www.desur.com/plagas/lepidopteros/sitotroga-cerealella/>
- Devia Luna, Z. L. & Rodriguez Nova, J. L. (2016). *EVALUACION DE LA EFICACIA DEL EXTRACTO NATURAL DE Aloysia citriodora (Lamiliales: Verbenaceae) COMO REPELENTE NATURAL CONTRA MOSQUITOS ADULTOS DE LA ESPECIE Aedes aegypti*". [En línea] Available at: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/4142/EVALUACION%20DE%20LA%20EFICACIA%20DEL%20EXTRACTO%20NATURAL%20DE%20Aloysia%20citriodora%20%20COMO%20REPELENTE%20NATURAL%20CONTRA%20MOSQUITOS%20ADULTOS%20DE%20LA%20ESPECIE%20Aedes%20aegypti.pdf>
- Diez, M. C. & Barra , R. (2021). *Dos caras de los plaguicidas*. [En línea] Available at: <https://www.ciperchile.cl/2021/09/21/dos-caras-de-los-plaguicidas/>
- ECO. (2018). *El impacto económico de las plagas*. [En línea] Available at: <https://www.eco-control.com.mx/2018/04/17/plagas-impacto-economico-efecto-negativo/>
- ECOSOSTENIBLE. (2023). *Nerol*. [En línea] Available at: <https://antropocene.it/es/2023/01/20/nerol-2/>
- Escobedo Zaragoza, C. (2023). *LINKEDIN*. [En línea] Available at: <https://es.linkedin.com/pulse/la-importancia-del-ma%C3%ADz-christian-escobedo-zaragoza>
- EZSA. (2019). *Escarabajo (carcoma) dentado de los granos (Oryzaephilus surinamensis)*. [En línea]

- Available at: <https://www.ezsa.es/guia-de-plagas/insectos/escarabajos/escarabajo-carcoma-dentado-granos/>
- EZSA. (2019). *Escarabajo gorgojo de la farmacia o del pan (Anóbido – Stegobium paniceum)*. [En línea] Available at: <https://www.ezsa.es/guia-de-plagas/insectos/escarabajos/escarabajo-farmacia-pan/>
- Iannacone, J., Ayala, H., & Román, A. (2005). EFECTOS TOXICOLÓGICOS DE CUATRO PLANTAS SOBRE EL GORGOJO DEL MAÍZ SITOPHILUS ZEAMAI MOTSCHULSKY 1855 (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) y SOBRE EL GORGOJO DE LAS GALLETAS STEGOBIUM PANICEUM (LINNAEUS 1761) (COLEOPTERA: ANOBIIDAE) EN PERU. *Gayana*, 69(2). <https://doi.org/10.4067/s0717-65382005000200003>
- Fazolin M, Estrela JLV, Catani V, Alécio MR, Lima MS (2007). Insecticidal properties of essential oils of *Piper aduncum* L., *P. hispidinervium* C. DC and *Tanaecium nocturnum* (Barb. Rodr.) Bur. & K, Shum against *Tenebrio molitor* L, 1758. *Ciê. agrotec.*, 31(1): 113- 120
- Felicetti, A. (2020). Evaluación de aceites esenciales sobre *Tribolium castaneum*, plaga de grano almacenado [tesis de licenciatura]. Bahía blanca (Argentina). Departamento de Agronomía Universidad Nacional del Sur, argentina.
- FENPAL. (2023). ¿CÓMO AYUDAN LOS ACEITES ESENCIALES A REPELER INSECTOS?. [En línea] Available at: <https://aromasfenpal.com/blog/usos-y-aplicaciones/repeler-insectos-con-aceites-esenciales/#:~:text=Eucalipto%20azul-%C2%BFC%C3%B3mo%20ayudan%20los%20aceites%20esenciales%20a%20repeler%20insectos%3F,se%20hallan%20en%20las%20plantas.>
- Fouad H. A. et al. (2012). Extraction and repellent activity of *Lepidoploa aurea* and *Memora nodosa* against stored grain and by product pests. *Vie et Milieu*
- Fuengirola, C. (2023). *Cheeechos*. [En línea] Available at: <https://cheeechos.com/porque-toda-la-comida-mexicana-se-hace-con-maiz/#:~:text=En%20la%20gastronom%C3%ADa%20mexicana%2C%20el,variedad%20de%20formas%20y%20sabores.>
- GOB. (2018). *Maíz grano cultivo representativo de México*. [En línea] Available at: <https://www.gob.mx/aserca/articulos/maiz-grano-cultivo-representativo-de-mexico#:~:text=El%20ma%C3%ADz%2C%20es%20uno%20de,importancia%20econ%C3%B3mica%2C%20social%20y%20cultural.>

- García Lara , S., Espinosa Carrillo, C. & Bergvinson, D. J. (2007). Manual de plagas en granos almacenados y tecnologías. CONACYT, p. 65.
- García Pérez, D. E. (2009). Evaluacion de insecticidas de cuatro grupos toxicologicos para el control de Sitophilus zeamais. *UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"*, p. 67.
- García–Lara, s. & Bergvinson, D. J. (2007). PROGRAMA INTEGRAL PARA REDUCIR PÉRDIDAS POSCOSECHA EN MAÍZ. *Scielo*, p. 9.
- Gavidia, P. (2020). *Plaguicidas: efectos dañinos en el medio ambiente y la salud*. [En línea] Available at: <https://www.tiempo.com/noticias/actualidad/plaguicidas-medio-ambiente-y-salud.html>
- GLEBA. (2019). *Control Integrado de Plagas en granos almacenados*. [En línea] Available at: <https://gleba.com.ar/control-integrado-de-plagas-en-granos-almacenados/#:~:text=Los%20roedores%2C%20insectos%20y%20los,perdidas%20de%20calidad%20y%20cantidad>.
- González, S., Pino, O., Herrera, R., Valenciaga, N., Fortes, D., & Sánchez, Y. (2009). Control de Sitophilus zeamais con polvos vegetales de una especie de la familia Fabacea (49-1-XIV). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 43(3), 321-325. <https://biblat.unam.mx/hevila/Revistacubanadecienciaagricola/2009/vol43/no3/17.pdf>
- Hernandez Cruz , J. y otros. (2019). Efficiency of the Essential Oil of Porophyllum linaria (Asteraceae) a Mexican Endemic Plant Against Sitophilus zeamais (Coleoptera: Curculionidae). *Oxford academic*, p. 9.
- Ibrahim, M. E., Mohamed, M. A. & Khalid, K. A. (2015). Effect of plant growth regulators on the rooting of lemon verbena cutting. *Journal of Materials and Environmental Science*, pp. 28-33.
- JACTO. (2022). *Plagas en la agricultura: Cuál es su impacto y cómo evitarlas*. [En línea] Available at: <https://bloglatam.jacto.com/plagas-agricultura/>
- Jembere, B., D. Obeng-Ofori, A. Hassanali, and G. N. Nyamasyo. (1995). Products derived from the leaves of *Ocimum kilimandscharicum* (Labiatae) as post-harvest grain protectants against the infestation of three major stored product insect pests. *Bull. Entomol. Res.* 85:361–367
- Juárez-Flores, B., Jasso-Pineda, Y., Aguirre-Rivera, J. & Jasso- Pineda, I. (2010). Efecto de polvos de asteráceas sobre el gorgojo del maíz. *Scielo* , p. 13.
- Juárez-Flores, B., Jasso-Pineda, Y., Aguirre-Rivera, J. & Jasso- Pineda, I. (2010). *Efecto de polvos de asteráceas sobre el gorgojo del maíz (Sitophilus*

zeamais motsch). [En línea] Available at:
<https://www.scielo.org.mx/pdf/polib/n30/n30a9.pdf>

Lagunes TA, Rodríguez JC (1989). Grupos toxicológicos de insecticidas y acaricidas. In: Temas selectos de manejo de insecticidas agrícolas. (Tomo 1). Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. México. pp. 24-106.

Mazzonetto, F. 2002. Efeito de genotipos de feijoeiro e de pós origen vegetal sobre *Zambrotres subfasciatus* (Boh.) e *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Col. Bruchidae) 134 p. Tesis doctor em ciencias. Universidad de Sao Paulo, Piracicaba, Sao Pablo, Brasil.

Mazzonetto, F., and J. D. Vendramim. (2003). Effect of powders from vegetal species on *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae) in stored bean. *Neotropical Entomol.* 32(1): 145-149

Mora-Ojendiz, L. y otros. (2012). Aceite de orégano (*Lippia berlandieri*) de diferentes orígenes para el control de *Sitophilus zeamais* Motschulsky y su efecto en la calidad de semilla de maíz almacenada.. *Revista Agraria*, pp. 49-55.

Nava-Pérez, E., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J. R. & Vázquez-Montoya, E. L. (2012). Bioplaguicidas: una opción para el control biológico de plagas. *Ra Ximhai*, pp. 17-29.

NEOPLAGAS. (2023). *Especialistas en Stegobium Paniceum y Control de Plagas*. [En línea] Available at: <https://www.neoplagas.cl/stegobium-paniceum-gorgojo-del-pan/>

Ngongo-Kapenga J., Minga-Kwete S., Yefile-Mposhi S., Kalonji-Mbangila A., Mulumba-Badibanga G., Ngombo-Nzokwani A., Kalonji-Kabemba N., Kalala Kalala B., Kalonji-Mbuyi A., Muengula-Manyi M. (2021). Use of Essential Oil of *Eucalyptus globulus* Leaves against *Sitophilus zeamais* Motsch. *Asian J. Biol.* 10(4): 77-80.
<https://doi.org/10.9734/AJOB/2020/v10i430127>

Nina Montiel, R., Catalan Bazan, W. & Gallegos Lecca, A. M. (2018). *CAB Internacional*.. [En línea] Available at: <https://plantwiseplusknowledgebank.org/doi/epdf/10.1079/pwkb.20197800034>

Oliveira, T. A., B. Ronchi-Teles, C. R. V. Fonseca, S. L. R. Silva, P. A. Santos, and C. V. Nunez. (2012). Insecticidal activity of *Vitex cymosa* (Lamiaceae)

and *Eschweilera pedicellata* (Lecythidaceae) extracts against *Sitophilus zeamais* adults (Curculionidae). *Emir. J. Food Agric.* 24:49–56

- Ortega, A. (1987). Insectos nocivos del maíz: una guía para su identificación en el campo. *Cimmyt.*, pp. 84-105.
- Palafox-Caballero, y otros. (2008). TOLERANCIA A INFESTACIÓN POR GORGOJOS (*Sitophilus* spp.) EN GENOTIPOS DE MAÍZ COMUNES Y DE ALTA CALIDAD PROTEÍNICA. *redalyc*, Junio.p. 9.
- Pérez-Urria, C. E. & Ávalos García, A. (2009). *Metabolismo secundario de plantas*. [En línea]
Available at: <https://docta.ucm.es/entities/publication/4f92a7a9-921f-4218-955a-fe50bb230f62>
- PLAGAS. (2020). *Carcoma del pan*. [En línea]
Available at: <https://www.plagasonline.es/carcoma-del-pan-275>
- PROAIN. (2020). *Ciclo biológico del gusano cogollero*. [En línea]
Available at: <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/ciclo-biologico-del-gusano-cogollero>
- Reyes-Guzmán, R. y otros. (2012). Actividad insecticida de aceites esenciales de dos especies de *Eucalyptus* sobre *Rhyzopertha dominica* y su efecto en enzimas digestivas de progenies. *Scielo*, p. 10.
- Rios Asanza, C. A. (2021). Caracterización morfoagronómica y fisicoquímica de 15 accesiones de maíz (*Zea mays* L.) Con fines de fitomejoramiento. *UTMACH*, p. 57.
- Rodríguez Álvarez, M., Alcaraz Meléndez, L. & Real Cosío, S. M. (2012). procedimiento para la extracción de aceites esenciales en plantas aromáticas. *Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste*, p. 47.
- Sakuma M. 1998. Probit analysis of preference data. *Applied Entomology and Zoology*. 33:339–347.
- SANIDAD. (2023). *Maíz: plagas y enfermedades*. [En línea]
Available at: <https://www.phytoma.com/sanidad-vegetal/avisos-de-plagas/maiz-plagas-y-enfermedades-enero-2023#:~:text=Diabrotica%20virgifera%20virgifera%20LeConte%2C%20cole%20C3%B3ptero, donde%20pasan%20%20C3%A9stos%20el%20invierno.>
- SENASA. (2022). *Acarus siro*. [En línea]
Available at: <https://www.sinavimo.gob.ar/plaga/acarus-siro>
- SENASICA. (2019). *Manejo Emergente de Gusano Soldado*. [En línea]
Available at: https://osiap.org.mx/senasica/sites/default/files/Gusano%20Soldado_1.pdf

- SENASICA. (2020). *Helicoverpa zea*. [En línea] Available at: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/633034/Gusano_elotero.pdf
- SENASICA. (2020). *Melolonthidae: Dynastinae) Gallinas Ciegas*. [En línea] Available at: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/600893/Gallinas_ciegas.pdf
- SENASICA. (2021). *Gusano cogollero (Spodoptera frugiperda)*. [En línea] Available at: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/635234/Gusano_cogollero_en_maiz_y_arroz.pdf
- SILOS. (2019). *Plagas en granos almacenados: tipos y tratamiento*. [En línea] Available at: <https://www.silosdelcinca.com/enfermedades/plagas-granos-almacenados-tipos-tratamiento/>
- Stingl, S. (2020). *¿Qué es el linalool y para qué sirve?*. [En línea] Available at: <https://nordicoil.es/blogs/cbd/linalool-como-terpeno>
- Torres Bojórquez, A. I. (2011). Efectividad de la tierra de diatomeas en el control de tres. *EPRITS*, p. 84.
- Triplehorn, C. and N. Johnson. 2005. Borrór and DeLong's introduction to the study of insects. Thompson Brooks/Cole (7th Edition). Belmont, California. 864 pp.
- Tucuch Haas, J. I. y otros, (2022). *Control del gorgojo de maíz usando polvo de epazote*. [En línea] Available at: <https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/Content?/=13345>
- Vargas, M. (2006). *GOB*. [En línea] Available at: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/26576/riesgos.pdf>
- Vélez, S. & Gustavo, X. (2022). 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.. *Bachelor's thesis*.
- Viteri Jumbo Luis Oswaldo, Lêda R.A. Faroni, Eugênio E. Oliveira, Marco A. Pimentel, Gutierrez N. Silva. (2014). Potential use of clove and cinnamon essential oils to control the bean weevil, *Acanthoscelides obtectus* Say, in small storage units. *Industrial Crops and Products*, Volume 56, Pages 27-34. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.02.038>
- Zewde, D. K., and B. Jembere. (2010). Evaluation of orange peel *Citrus sinensis* (L) as a source of repellent, toxicant and protectant

against *Zabrotes subfasciatus* (Coleoptera: Bruchidae). *Momona Ethiop. J. Sci.* 2:61–75

ZOTAL. (2017). *Qué es el geraniol y para qué se usa*. [En línea]
Available at: <https://www.zotal.com/que-es-el-geraniol-y-para-que-se-usa/>

Zurita Vásquez, H. y otros. (2017). Eficiencia del uso de plantas insecticidas en el control del gorgojo del maíz, *Sitophilus zeamais* Motschulsky, (Coleoptera: Curculionidae).. *Investigación agraria* , pp. 120-126.