



**Toxicidad de aceite de neem y un piretroide sobre adultos del gorgojo del maíz,
en condiciones de laboratorio.**

Neyer Gabriel Ruiz García
C.C: 1005062348

Facultad de Ciencias Agrarias
Programa Ingeniería Agronómica
25 de junio de 2024
Universidad de Pamplona



**Toxicidad de aceite de neem y un piretroide sobre adultos del gorgojo del maíz,
en condiciones de laboratorio.**

Neyer Gabriel Ruiz García
C.C: 1005062348

Director:
Humberto Giraldo Vanegas
Ingeniero Agrónomo
Dr. Entomología Agrícola

Facultad de Ciencias Agrarias
Programa Ingeniería Agronómica
25 de junio de 2024
Universidad de Pamplona



TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	10
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
2.1 Formulación del problema.....	14
3. JUSTIFICACIÓN	15
4. OBJETIVO GENERAL	18
4.1 Objetivos Específicos	18
5. MARCO REFERENCIAL	19
5.1 Antecedentes regionales:.....	19
5.2 Antecedentes internacionales	19
6. MARCO TEÓRICO.....	24
6.1 Taxonomía de <i>Sitophilus zeamais</i> (Motschulsky).....	24
6.2 Ciclo de vida de <i>Sitophilus zeamais</i> (Motschulsky).....	25
6.2.1 Factores que afectan el ciclo de vida	27
6.3 Árbol de Neem <i>Azadirachta indica</i> A. Juss	27
6.3.1 Botánica de <i>Azadirachta indica</i> A. Juss:.....	27
6.3.2 Origen de <i>Azadirachta indica</i> A. Juss:.....	28
6.3.3 Taxonomía de <i>Azadirachta indica</i> A. Juss:.....	28
6.4 Azadiractina:	28
6.5 Neemazal.....	30
6.5.1 Ventajas de Neemazal	30
6.5.2 Desventajas y Consideraciones	31
6.6 Cipermetrina.....	31
6.6.1 Ventajas de la Cipermetrina	32
6.6.2 Desventajas y Consideraciones	32
6.7 Definición de Concentración Letal Media (CL ₅₀)	33
6.8 Definición de Tiempo Letal Medio (TL ₅₀).....	33



6.9	Relación entre Concentración Letal Media (CL ₅₀) y Tiempo Letal Medio (TL ₅₀).....	33
7.	MARCO LEGAL	34
7.1	Acuerdo No. 186	34
7.2	Resoluciones del Instituto Colombiano Agropecuario	35
7.2.1	Ley 9 de 1979: de las sustancias peligrosas -plaguicidas- artículos pirotécnicos.	35
7.2.2	Ministerio de Salud. Decreto 775 del 16 de abril de 1990.....	36
7.2.3	Decreto 1376 de 2013.....	37
8.	METODOLOGÍA	37
8.1	Tipo de Investigación	37
8.2	Diseño Metodológico	37
8.2.1	Hipótesis	37
8.2.2	Variables Cuantitativas Continuas.....	38
8.3	Diseño de la investigación.....	38
8.3.1	Localización del ensayo	38
8.3.2	Diseño Experimental	38
8.3.3	Efecto subletal Determinación del efecto subletal	39
8.4	Descripción de las Actividades	41
8.5	Colecta y Cría masiva del gorgojo <i>Sitophilus zeamais</i> (Motschulsky)	41
8.5.1	Primer objetivo	42
8.5.2	Segundo objetivo	43
8.6	Determinar la CL ₅₀ , el TL ₅₀ y el efecto subletal de seis concentraciones de aceite de semillas de neem sobre adultos del gorgojo <i>Sitophilus zeamais</i> (Motschulsky), en condiciones de laboratorio.....	43
8.6.1	Determinación del efecto subletal.....	43
8.6.2	Análisis estadísticos.....	43
9.	RESULTADOS	44
9.1	Primer objetivo	44
9.1.1	Determinación de la Mortalidad.....	44



9.1.2 Comparación de la mortalidad causada a adultos de *Sitophilus zeamais* (Motschulsky), por los once tratamientos (concentraciones), en condiciones de laboratorio.

44

9.2	Mortalidad causada a adultos de <i>S. zeamais</i> , por el aceite de neem en condiciones de laboratorio.	47
9.3	Análisis de Regresión de la interacción Mortalidad-Concentración del aceite de neem.....	48
9.4	Mortalidad causada a adultos de <i>S. zeamais</i> , por el piretroide cipermetrina, en condiciones de laboratorio.	50
9.5	Segundo objetivo	52
9.5.1	Determinación de la CL_{50} , el TL_{50} y el efecto subletal.	52
9.5.2	Determinar la CL_{50} del aceite de neem sobre adultos de <i>S. zeamais</i>	52
9.5.3	Determinar la CL_{50} de la cipermetrina sobre adultos de <i>S. zeamais</i>	54
9.6	Consideraciones entre el aceite de neem y la cipermetrina.	56
9.6.1	Determinar del TL_{50} del aceite de neem y cipermetrina sobre <i>S. zeamais</i> , en condiciones de laboratorio.....	58
9.6.2	Tiempo Letal Medio (TL_{50}) del aceite de neem.	58
9.6.3	Tiempo Letal Medio (TL_{50}) de la cipermetrina.	60
9.7	Efectos subletales de los tratamientos	62
9.7.1	Efecto subletal del aceite de neem.....	62
9.7.2	Efecto subletal del aceite de la cipermetrina	64
10.	CONCLUSIONES	66
11.	RECOMENDACIONES.....	68
12.	BIBLIOGRAFÍA:.....	69
13.	ANEXOS.....	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Concentraciones de aceite de neem y cipermetrina.	39
-----------------	--	----



Tabla 2. Prueba de medias de Tukey para los porcentajes de mortalidad de adultos de <i>S. zeamais</i> sometidos a once tratamientos, bajo condiciones de laboratorio.	44
Tabla 3. Prueba de medias de Tukey para los porcentajes de mortalidad de adultos de <i>S. zeamais</i> sometidos a seis tratamientos (concentraciones) de aceite de neem bajo condiciones de laboratorio.....	47
Tabla 4. Prueba de medias de Tukey para los porcentajes de mortalidad de adultos de <i>S. zeamais</i> sometidas a seis tratamientos (concentraciones) del piretroide cipermetrina, bajo condiciones de laboratorio.	50
Tabla 5. Transformaciones de las concentraciones a log ₁₀ y mortalidad	53
Tabla 6. Transformaciones de las concentraciones a log ₁₀ y mortalidad a Probit de la cipermetrina sobre <i>S. zeamais</i> , en condiciones de laboratorio.	54
Tabla 7. Ecuaciones de Regresión, Coeficientes de determinación y Concentraciones letales (CL ₅₀) de la cipermetrina y aceite de neem sobre adultos de <i>S. zeamais</i> , en condiciones de laboratorio.....	57
Tabla 8. Tiempo Letal Medio (TL ₅₀), en adultos de <i>S. zeamais</i> , sometidos a cinco concentraciones de aceite de neem, en condiciones de laboratorio.....	59
Tabla 9. Tiempo Letal Medio (TL ₅₀), en adultos de <i>S. zeamais</i> , sometidos a cinco	60
Tabla 10 Prueba de medias de Tukey para los porcentajes de mortalidad por efecto subletal a adultos de <i>S. zeamais</i> sometidas a seis tratamientos (concentraciones) de aceite de neem, bajo condiciones de laboratorio.	62
Tabla 11 Prueba de medias de Tukey para los porcentajes de mortalidad por efecto subletal a adultos de <i>S. zeamais</i> sometidas a seis tratamientos (concentraciones) de cipermetrina, bajo condiciones de laboratorio.	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ciclo de vida de <i>Sitophilus zeamais</i> (Motschulsky)	25
Figura 2 Producto Neemazal	31
Figura 3. Representación gráfica del diseño experimental por cada concentración.....	41
Figura 4. Histograma de los porcentajes de mortalidad de adultos de <i>S. zeamais</i> sometidos a once tratamientos, bajo condiciones de laboratorio.	46
Figura 5. Regresión de la interacción Mortalidad (%)-Concentración (mg/l) para adultos de <i>S. zeamais</i> sometidos a seis concentraciones de aceite de neem, bajo condiciones de laboratorio.	49



Figura 6. Regresión de la interacción Mortalidad (%) -Concentración (mg/L) para adultos de <i>S. zeamais</i> sometidos a seis concentraciones de cipermetrina, bajo condiciones de laboratorio.	52
Figura 7. Regresión de la interacción Mortalidad (Probit) -Concentración (log10) para adultos de <i>S. zeamais</i> sometidos a seis concentraciones de aceite de neem, bajo condiciones de laboratorio.	54
Figura 8. Regresión de la interacción Mortalidad (Probit) -Concentración (log10) para adultos de <i>S. zeamais</i> sometidos a seis concentraciones de cipermetrina, bajo condiciones de laboratorio.	56
Figura 9 Regresión de la interacción Mortalidad (subletal) -Concentración (mg/l) para adultos de <i>S. zeamais</i> sometidos a seis concentraciones de aceite de neem, bajo condiciones de laboratorio.	64
Figura 10 Regresión de la interacción Mortalidad (subletal) -Concentración (mg/l) para adultos de <i>S. zeamais</i> sometidos a seis concentraciones de cipermetrina, bajo condiciones de laboratorio.	66

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Instrumento para la toma de datos de Mortalidad de <i>Sitophilus zeamais</i> (Motschulsky).	73
Anexo 2 Multiplicación de gorgojos <i>Sitophilus zeamais</i> (Motschulsky).....	74
Anexo 3 Multiplicación de <i>Sitophilus zeamais</i> en diferentes recipientes para obtener gorgojos adultos de 7 días o menos aptos para el ensayo.	75
Anexo 4 Montaje del ensayo rotulados por la concentración y numero de recipiente.	75
Anexo 5 Cantidad de pasta adicionada por recipiente, 2 trozos de 2cm de pasta tallarín en cada recipiente.	76
Anexo 6 Goma espuma adherida a la tapa de los recipientes, donde se agregó el aceite Neemazal y la cipermetrina.	77
Anexo 7 Productos usados en el ensayo.	77
Anexo 8 Cálculos de concentraciones.....	79
Anexo 9 Preparación de concentraciones	81



Anexo 10 Observación de galerías de gorgojos adultos, larvas y pupas de <i>Sitophilus zeamais</i> (Motschulsky) de una parte de la cría inicial.	83
Anexo 11 Observación y toma de datos del ensayo	88

RESUMEN



El bioensayo tuvo como objetivo evaluar el efecto tóxico fumigante del aceite de neem (1,2ml/L) y la cipermetrina (200mg/L) contra *Sitophilus zeamais* (Motschulsky), determinando parámetros de mortalidad, CL₅₀ y TL₅₀. El diseño experimental fue completamente al azar, con once tratamientos (concentraciones) y cinco repeticiones por tratamiento. Cada repetición incluyó 20 adultos de *S. zeamais*, distribuidos en frascos de vidrio de 30 mL, cada uno con dos parejas de adultos y dos gramos de alimento. La toxicidad fumigante se evaluó aplicando una gota de cada concentración en una esponja de 0,5 x 0,5 cm colocada en la tapa interna de los frascos. Las concentraciones probadas fueron: Para el aceite de neem: 1,2 ml/L; 0,96 ml/L; 0,72 ml/L; 0,48 ml/L; 0,24 ml/L; y 0,00 ml/L (control). Para la cipermetrina: 200 mg/L; 160 mg/L; 120 mg/L; 80 mg/L; y 40 mg/L. Las observaciones de mortalidad se realizaron cada 12 horas. Se aplicaron análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de Tukey para el análisis estadístico. Los adultos utilizados (F1) en el bioensayo provinieron de una cría masiva mantenida en el Laboratorio de Sanidad Vegetal (17±1°C y 65±10% HR). Las concentraciones de aceite de neem y cipermetrina resultaron en mortalidades del 98-100%, mientras que el control mostró una mortalidad del 1,0%. La CL₅₀ para el aceite de neem fue de 0,72 ml/L y para la cipermetrina fue de 6,31 mg/L. Los TL₅₀ fueron similares para ambos productos: de 12 a 108 horas para el aceite de neem y de 12 a 44 horas para la cipermetrina. Los tratamientos tuvieron efectos subletales impactando a los adultos expuestos en su descendencia. Teniendo en cuenta la exposición al aceite de neem y a la cipermetrina pudo haber afectado la viabilidad de los huevos y larvas ya que los resultados del bioensayo arrojaron una menor emergencia de adultos (F1) de *S. zeamais*.

Palabras clave: *Sitophilus zeamais*, cipermetrina, control fitoquímico, control químico, control postcosecha, efecto fumigante, efecto subletal.

ABSTRACT



The objective of the bioassay was to evaluate the fumigant toxic effect of neem oil (1.2ml/L) and cypermethrin (200mg/L) against *Sitophilus zeamais* (Motschulsky), determining mortality parameters, LC₅₀ and TL₅₀. The experimental design was completely randomized, with eleven treatments (concentrations) and five repetitions per treatment. Each repetition included 20 adults of *S. zeamais*, distributed in 30 mL glass bottles, each with two pairs of adults and two grams of food. Fumigant toxicity was evaluated by applying one drop of each concentration on a 0.5 x 0.5 cm sponge placed on the inner lid of the bottles. The concentrations tested were: For neem oil: 1.2 ml/L; 0.96ml/L; 0.72ml/L; 0.48ml/L; 0.24ml/L; and 0.00 ml/L (control). For cypermethrin: 200 mg/L; 160 mg/L; 120 mg/L; 80 mg/L; and 40 mg/L. Mortality observations were made every 12 hours. Analysis of variance (ANOVA) and Tukey tests were applied for statistical analysis. The adults used (F1) in the bioassay came from a mass rearing maintained in the Plant Health Laboratory (17±1°C and 65±10% RH). Concentrations of neem oil and cypermethrin resulted in mortalities of 98-100%, while the control showed a mortality of 1.0%. The LC₅₀ for neem oil was 0.72 ml/L and for cypermethrin was 6.31 mg/L. The TL₅₀s were similar for both products: 12 to 108 hours for neem oil and 12 to 44 hours for cypermethrin. The treatments had sublethal effects impacting the exposed adults on their offspring. Taking into account the exposure to neem oil and cypermethrin, it could have affected the viability of the eggs and larvae since the results of the bioassay showed a lower emergence of adults (F1) of *S. zeamais*.

Key words: *Sitophilus zeamais*, cypermethrin, phytochemical control, chemical control, postharvest control, fumigant effect, sublethal effect.

1. INTRODUCCIÓN



El gorgojo del maíz *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) ataca principalmente los granos almacenados. Este insecto es una plaga común en productos como maíz siendo su principal hospedero y de ahí proviene su nombre común, de igual forma ataca al trigo, arroz, cebada, centeno, avena, entre otros.

Los cereales tienen una importancia significativa en Colombia debido a su impacto en la alimentación, la economía, la cultura y el desarrollo rural, Los cereales como el maíz, el arroz, el trigo y la avena son pilares fundamentales de la dieta colombiana. Se consumen en diversas formas, como granos enteros, harinas y productos procesados. La producción, procesamiento y comercialización de cereales generan una gran cantidad de empleos, tanto directos como indirectos, en áreas rurales y urbanas, Muchos agricultores colombianos dependen del cultivo de cereales como una fuente principal de ingresos. Estos cultivos son especialmente importantes en zonas rurales. Los cereales son una fuente crucial de alimentos básicos y accesibles para gran parte de la población, contribuyendo significativamente a la seguridad alimentaria del país (Autor desconocido, s.f.).

La mayor parte del trigo consumido en Colombia es importada. Los principales países proveedores de trigo para Colombia son Estados Unidos, Canadá y Argentina. La dependencia de las importaciones hace que el precio del trigo en el mercado colombiano esté sujeto a las fluctuaciones del mercado internacional y a la tasa de cambio del peso colombiano.

La infestación de *S. zeamais* en granos de frijol es un problema global que afecta a productores, comerciantes y consumidores por igual. Los gorgojos son insectos coleópteros que se alimentan de los granos almacenados, causando daños considerables en términos de cantidad y calidad. A medida que los granos se degradan y pierden valor, se plantea una pregunta fundamental sobre cómo garantizar la disponibilidad de alimentos seguros y nutritivos para las comunidades que dependen de los frijoles como fuente primaria de alimentación (Trematerra et al., 2013).



Por esta razón las plagas de granos almacenados deben ser controladas con aplicaciones de biocidas que no representen un peligro para la salud humana y animal.

De esta manera, existen innumerables investigaciones relacionadas a plaguicidas botánicos para el manejo integrado de plagas, los diferentes componentes orgánicos se pueden utilizar en forma acuosa, infusión, o por extracción con compuestos orgánicos como alcoholes o acetonas, como aceites esenciales, contenidos en los diferentes órganos de las plantas para eliminar los insectos plaga (Raveloson et al., 2014).

La azadiractina es ampliamente utilizada en la agricultura como un plaguicida natural respetuoso con el medio ambiente. A menudo se utiliza en formulaciones comerciales de aceite de neem o extractos de neem para controlar una variedad de plagas en cultivos agrícolas. Su uso se ha promovido como una alternativa a los pesticidas químicos más tóxicos debido a su baja toxicidad para los humanos y otros organismos no objetivos.

Es importante destacar que, aunque la azadiractina es efectiva contra muchos insectos, su efectividad puede variar según la especie y la etapa de desarrollo del insecto. Por lo tanto, es esencial entender cómo y cuándo aplicar productos basados en neem para lograr el mejor control de plagas en un entorno agrícola específico (Isman, 2006).

El objetivo de la presente propuesta de investigación fue indagar sobre el efecto biocida de aceites esenciales de las semillas de neem *Azadirachta indica* A. Juss, sobre el gorgojo del maíz *Sitophilus zeamais* (Motschulsky).



2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los gorgojos conforman un grupo de insectos coleópteros de la familia Curculionidae, son una amenaza persistente para los granos almacenados, y su presencia en cereales representa un desafío crítico para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola a nivel global. El control de *S. zeamais* a menudo implica el uso de recursos adicionales, como plaguicidas y métodos de manejo, que pueden ser costosos y dañinos para el medio ambiente además de esto existe un riesgo significativo de pérdidas económicas tanto para los agricultores como para los comerciantes, ya que los granos dañados por la infestación de gorgojos disminuyen su valor de mercado y pueden volverse inutilizables para la venta. Además, la seguridad alimentaria se ve amenazada, ya que *S. zeamais* pueden contaminar los granos con sus excrementos y secreciones, lo que plantea un riesgo para la salud de quienes consumen estos granos.

Los gorgojos son un problema muy común en los granos almacenados, a pesar de la gravedad de este problema, existe una brecha en la investigación relacionada con estrategias efectivas de manejo de *S. zeamais* en cereales almacenados, a este problema no se le ha prestado mucha atención. Una vez que los granos son almacenados, los artrópodos aparecen al poco tiempo afectando al consumidor final quien los observa al preciso momento de su preparación para el consumo. Este coleóptero afecta los cereales haciendo perforaciones y en consecuencia causando pérdida de su valor nutricional (Pérez, 2022).

Según: Pérez, J. (2022) El control químico de *S. zeamais* es una estrategia comúnmente utilizada en la agricultura para reducir las poblaciones de estos insectos y minimizar los daños a los cultivos. Sin embargo, la dependencia exclusiva del control químico puede tener algunas implicaciones y desafíos. En los que encontramos:

- Resistencia a los pesticidas: El uso repetido de ciertos productos químicos puede llevar al desarrollo de resistencia en las poblaciones de gorgojos. Con el tiempo, los insectos pueden



volverse menos sensibles o totalmente resistentes a los pesticidas utilizados, lo que reduce la eficacia del control químico.

- **Impacto ambiental:** El uso intensivo de productos químicos puede tener impactos negativos en el medio ambiente. Los plaguicidas pueden contaminar el suelo y el agua, afectando a organismos no objetivo y contribuyendo a la pérdida de biodiversidad.
- **Costos económicos:** La dependencia del control químico puede generar costos significativos para los agricultores. La compra de plaguicidas, la maquinaria necesaria y la aplicación adecuada de los productos químicos pueden representar una carga económica.
- **Alternativas sostenibles:** Es importante considerar enfoques alternativos y más sostenibles para el control de plagas.

2.1 Formulación del problema

¿La aplicación de aceite de neem que tan efectivo es para el manejo y control de *S. zeamais* en la pasta alimenticia almacenada?



3. JUSTIFICACIÓN

Sitophilus zeamais (Motschulsky), conocido como gorgojo del maíz, es un insecto que afecta gravemente los granos almacenados, como el trigo, crucial para la producción de pastas. La infestación de este insecto deteriora la calidad del trigo y, por ende, de las pastas, afectando su valor nutricional, textura y sabor, y causando la presencia de fragmentos de insectos, lo cual es inaceptable para los consumidores y las normas de seguridad alimentaria. Además, las infestaciones conllevan pérdidas económicas significativas debido a la reducción en la cantidad y calidad del trigo utilizable, costos adicionales de limpieza y procesamiento, y posibles rechazos de lotes contaminados. Estas infestaciones también incrementan los costos de almacenamiento y manejo de granos, así como la necesidad de invertir en tecnologías y métodos de control de plagas. Mantener un control estricto sobre *S. zeamais* es crucial para la reputación de las empresas productoras de pasta, ya que los consumidores exigen productos seguros y de alta calidad, y cualquier incidente de contaminación puede dañar la confianza del consumidor y la marca. Además, las regulaciones alimentarias exigen medidas efectivas de control de plagas para garantizar la inocuidad de los alimentos, y su incumplimiento puede resultar en sanciones legales y pérdida de certificaciones. González, L. (2024).

El control de *S. zeamais* es crucial para garantizar la seguridad alimentaria. Los gorgojos no solo dañan físicamente los granos, sino que también pueden ser vectores de micotoxinas producidas por hongos que se desarrollan en los granos dañados. Las micotoxinas son tóxicas para los humanos y pueden causar problemas de salud graves, incluidos cáncer y enfermedades hepáticas. Asegurar granos libres de infestación es esencial para proteger la salud de los consumidores (González, 2024).

Las infestaciones de *S. zeamais* pueden resultar en pérdidas económicas significativas para los productores de pasta. Estas pérdidas se derivan de la reducción en la cantidad y calidad del trigo utilizable, costos adicionales de limpieza y procesamiento, y posibles rechazos de lotes de productos contaminados. Además, la infestación puede llevar a un aumento en los costos de



almacenamiento y manejo de granos, así como a la necesidad de invertir en tecnologías y métodos de control de plagas.

El control de plagas, incluyendo *S. zeamais*, contribuye a la sostenibilidad y eficiencia de la cadena de suministro de trigo y pastas. Al minimizar las pérdidas y daños causados por los insectos, se optimiza el uso de recursos agrícolas y se reduce el desperdicio de alimentos. Esto no solo es beneficioso desde una perspectiva económica, sino que también apoya objetivos más amplios de sostenibilidad ambiental y seguridad alimentaria global.

El consumo per cápita de pastas en Colombia ha mostrado un crecimiento constante en los últimos años. Según datos de la Cámara de la Industria de Alimentos de la ANDI (Asociación Nacional de Empresarios de Colombia), el consumo per cápita de pastas en el país se estima en alrededor de 6 a 7 kilogramos anuales (Cámara de la Industria de Alimentos de la ANDI, 2023).

La producción de trigo y el consumo de pastas en Colombia son temas de importancia tanto para la economía agrícola como para la alimentación de la población. Colombia no es un gran productor de trigo. La producción de trigo en el país es limitada debido a condiciones climáticas y de suelo que no son las más adecuadas para este cultivo. Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la producción de trigo en Colombia ha sido relativamente baja y no cubre la demanda nacional. En 2020, la producción fue de aproximadamente 2000 toneladas, una cifra insignificante comparada con la producción de grandes productores mundiales como China, India y Estados Unidos.

El desarrollo de la producción de maíz y trigo en Colombia, que en 2019 alcanzó un total de 1.604.792 tn producidas de maíz en 386.440 ha con un crecimiento de 5,2% frente al año anterior, mientras que se registró una producción de trigo de 8.884 tn en 3.523 ha con un incremento de 92,5% frente al 2018 (Fenalce, 2020). En el primer semestre de 2020 los departamentos del Meta (Altillanura), Tolima y Córdoba tuvieron la mayor producción de maíz amarillo, Córdoba,



Valle del Cauca y Tolima la mayor producción de maíz blanco y Boyacá y Nariño fueron los únicos departamentos que produjeron trigo (Fenalce, 2020).

En el trigo la producción tiene niveles menores, incrementándose en el 2016 y 2019. En este último año, la cifra alcanzó 8.884 toneladas producidas de trigo.

En el caso de las importaciones de trigo, el comportamiento ha variado año tras año, con decrecimientos en 2017 y 2018. En 2019, en valores las importaciones de este producto se incrementaron 7,8% y en cantidad 10,9% alcanzando US\$465 millones y 1,9 millones de toneladas.

En este caso el principal país origen de las importaciones colombianas de trigo es Canadá con 239.284 tn (51,0%), seguido de Estados Unidos con 192.094 tn (41,7%) y Argentina con 29.723 tn (6,4%) (Database, 2020).



4. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la toxicidad fumigante de aceites esenciales de semillas de *Azadirachta indica* A. Juss y el piretroide cipermetrina, sobre adultos del gorgojo del maíz *Sitophilus zeamais* (Motschulsky), en condiciones de laboratorio.

4.1 Objetivos Específicos

- Comparar la mortalidad causada por cinco concentraciones de aceite de semillas de neem y el piretroide cipermetrina sobre adultos del gorgojo *Sitophilus zeamais* (Motschulsky), en condiciones de laboratorio.
- Determinar la CL₅₀, el TL₅₀ y efectos subletales de cinco concentraciones de aceite de semillas de neem y el piretroide cipermetrina sobre adultos del gorgojo del maíz *Sitophilus zeamais* (Motschulsky), en condiciones de laboratorio.



5. MARCO REFERENCIAL

5.1 Antecedentes regionales:

Gualdrón-Panqueva, J.; Toloza-Balcucho D. V. y Giraldo-Vanegas, H. (2017). Evaluación de extractos de *Nim Azadirachta indica* A. Juss, como repelente e insecticida contra la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae), en la variedad Castillo en la Granja Experimental Villa Marina de la Universidad de Pamplona. Trabajo de Grado Ingeniero Agrónomo, Programa Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Pamplona.

En este estudio, se evaluaron extractos de hojas y semillas de neem para controlar la broca del café en la variedad Castillo. Se aplicaron siete tratamientos diferentes, incluyendo diversas concentraciones de estos extractos, junto con un grupo de control. Los resultados mostraron que los tratamientos con extractos de semillas de neem redujeron significativamente el daño en los granos y aumentaron la mortalidad de la broca en comparación con el grupo de control. Además, se observaron efectos inmediatos de repelencia y reducción de la población de broca. En resumen, los extractos acuosos de semillas de neem se destacaron como una alternativa efectiva para el control de la broca del café, lo que respalda su uso en el Manejo Integrado de la Broca del Café.

5.2 Antecedentes internacionales:

Bródka Joanna. Essential oils as green pesticides of stored grain insects. India.

Los aceites esenciales son sustancias fitoquímicas naturales que se producen en las plantas como subproductos metabólicos. Estos aceites son complejas mezclas de compuestos volátiles y suelen contener entre veinte y sesenta compuestos individuales en diversas concentraciones. Son de naturaleza lipofílica y tienen una densidad menor que la del agua. Su interferencia afecta las funciones metabólicas, bioquímicas, fisiológicas y conductuales básicas de los insectos. Se ha demostrado que varios aceites esenciales y sus componentes poseen propiedades que repelen, evitan la alimentación, destruyen huevos, obstaculizan la puesta de huevos e inhiben el desarrollo de los insectos. Estos productos insecticidas probablemente interfieren con el sistema respiratorio



y nervioso de los insectos. Los aceites esenciales proporcionan una fuente alternativa de agentes para el control de insectos plaga, ya que contienen una variedad de compuestos bioactivos, la mayoría de los cuales son selectivos y tienen un impacto mínimo en el medio ambiente y en los insectos benéficos, incluyendo a los seres humanos. Las formulaciones que incluyen aceites esenciales pueden emplearse como herramientas alternativas en la gestión de plagas en granos almacenados.

Dekeba Moges Tola. Efficacy of Indigenous Knowledge and Selected Modified Storage Structures to Insect Pests of Maize during Home Storage: A Review. Ethiopia.

El maíz, conocido como *Zea mays* L., es un cultivo fundamental en la dieta de Etiopía y se cultiva en diversas zonas agroecológicas de la región. A pesar de las condiciones favorables para su producción, el maíz sufre daños causados por insectos plaga tanto antes como después de la cosecha debido a prácticas inadecuadas en las fases previas y posteriores a la recolección. Los agricultores almacenan el maíz con dos propósitos: para consumo doméstico y para su venta en el mercado. Sin embargo, es posible que no estén dispuestos a adoptar mejoras que impliquen costos adicionales cuando almacenan maíz, principalmente para uso doméstico. En este trabajo se enfocaron en la utilización del conocimiento tradicional y la modificación de estructuras de almacenamiento con el fin de preservar el maíz y controlar las plagas de insectos después de la cosecha. El uso de conocimiento tradicional se ha considerado como una alternativa para fomentar el desarrollo en comunidades rurales empobrecidas en todo el mundo. La mayoría de los países en desarrollo se encuentran en zonas tropicales con altas precipitaciones y humedad, condiciones propicias para el desarrollo de microorganismos e insectos que causan deterioro en los cultivos almacenados. Las pérdidas de alimentos durante el almacenamiento pueden deberse a daños biológicos, químicos o físicos. En el pasado, se empleaban diversas prácticas y métodos tradicionales para almacenar diversos artículos, incluyendo alimentos, ropa y lencería. Estos métodos prolongaban la vida útil de los artículos utilizando materiales asequibles y de bajo costo como ceniza, arena, sal de mesa, alcanfor y polvo inerte, así como diversos materiales vegetales. Estos métodos son ampliamente



utilizados por los agricultores rurales, aunque en su mayoría desconocen las razones o propiedades de estos materiales y los aplican como sabiduría transmitida de generación en generación. Además, se han desarrollado estructuras de almacenamiento modificadas, como el almacenamiento hermético, esteras de bambú con revestimiento de barro, sacos de yute con forros interiores de plástico y contenedores metálicos.

Polyxeni Nikolaou , Paweł Marciniak , Zbigniew Adamski and Nikoletta Ntalli. Controlling Stored Products' Pests with Plant Secondary Metabolites: A Review. Polonia.

Hasta ahora, únicamente se ha autorizado un número limitado de pesticidas por parte del Consejo Europeo para la protección de los granos almacenados. Debido a la resistencia de las plagas y a las inquietudes sobre su impacto ambiental, se hace necesario el desarrollo de soluciones respetuosas con el medio ambiente en este ámbito. En esta revisión, se mencionan hallazgos recientes relacionados con extractos de plantas y compuestos derivados de plantas que muestran promisorias propiedades biológicas y tienen potencial para servir como biopesticidas en la preservación de productos almacenados. El objetivo principal de los biopesticidas es ser efectivos contra las plagas objetivo sin causar daño a los seres humanos y al entorno. Varios de los extractos de plantas mencionados en este contexto son componentes de la dieta humana y, por lo tanto, no representan riesgos perjudiciales.

Salima Guettal, Samir Tine, Fouzia Tine-Djebbar & Noureddine Soltanb. Repellency and toxicity of azadirachtin against granary weevil *Sitophilus granarius* L. (Coleoptera: Curculionidae). Algeria.

El gorgojo de los graneros, conocido como *Sitophilus granarius*, es una plaga que se alimenta de granos de cereales enteros y no dañados, causando daños significativos tanto en cantidad como en calidad de los granos almacenados en todo el mundo. En este estudio, evaluaron la efectividad de la azadiractina, un insecticida a base de neem, contra los adultos de *S. granarius* a través de métodos de fumigación y contacto. Encontraron que la azadiractina es tóxica para estos insectos,



con un aumento en la mortalidad a medida que se incrementa la concentración y el tiempo de exposición. También observaron que la azadiractina tiene propiedades repelentes que aumentan con la concentración. Además, al analizar biomarcadores en los adultos tratados con azadiractina, detectaron una activación del sistema de desintoxicación, indicada por un aumento en la actividad de CAT y GST, y una disminución en los niveles de GSH. También notaron que la disminución en las reservas de energía de los gorgojos depende de la concentración de azadiractina, siendo más pronunciada en la concentración LC_{50} . En cuanto a la persistencia de la azadiractina aplicada por fumigación, observaron que su toxicidad disminuye con el tiempo. En resumen, este estudio resalta la eficacia de la azadiractina como bioinsecticida contra el gorgojo, demostrando su capacidad para controlar esta plaga en granos almacenados.

Doris Reyes de Fuentes, Rafael Fernández Da Silva. Efecto biocida in vitro del extracto foliar de *Azadirachta indica* en *Staphylococcus* sp. y *Pseudomonas* sp. Venezuela.

El Neem es una planta que ha suscitado un gran interés en la etnobotánica debido a sus posibles propiedades medicinales en el tratamiento de diversas enfermedades, y su efecto beneficioso ha sido respaldado por estudios en laboratorio (in vitro) y en organismos vivos (in vivo). En una investigación reciente, se examinó la capacidad antimicrobiana de un extracto etanólico de las hojas del Neem en una gama de concentraciones que oscilaban entre el 5% y el 80%. La evaluación se llevó a cabo tanto de manera cualitativa, mediante la observación de la claridad del cultivo en un medio líquido, como de manera cuantitativa, midiendo la cantidad de unidades formadoras de colonias (UFC) en un medio sólido. Se establecieron los valores de concentración mínima inhibidora (CMI), concentración bactericida mínima (CMB) y concentración fungicida mínima (CMF) después de exposiciones de 24 y 48 horas a 37°C. Las cepas microbianas evaluadas abarcaron *Candida albicans*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* y *Streptococcus mutans*. Luego de 24 horas, se obtuvieron valores de CMI del 30%, 40% y 45%, y valores de CMB del 35%, 45% y 50% para *S. aureus*, *S. mutans* y *P. aeruginosa*, respectivamente.



Tiwari S. N. Evaluation of Four Essential Oils against Angoumois Grain Moth, *Sitotroga Cerealella* (Olivier). India.

Se investigó el efecto de cuatro aceites esenciales de *Cinnamomum camphora* (L.) J. Presl, *Cymbopogon flexuosus* (Nees ex Steud.) JF Watson, *Ageratum conyzoides* L. y *Ocimum gratissimum* L. contra *Sitotroga cerealella* (Oliver). Se encontró que el aceite de *C. camphora* fue altamente efectivo a concentraciones del 0.20%, 0.10% y 0.05% (p/v), mientras que *C. flexuosus* y *O. gratissimum* solo fueron efectivos a concentraciones más altas de 0.20% y 0.10. % (p/v). El aceite esencial de *A. conyzoides* no fue muy efectivo contra *S. cerealella* en todas las concentraciones probadas. La eficacia de los aceites esenciales aumentó con el incremento de la dosis.



6. MARCO TEÓRICO

Sitophilus zeamais (Motschulsky), también conocido como el gorgojo del maíz o barrenador del maíz, es un insecto de la familia Curculionidae y es una de las plagas más importantes en la producción y almacenamiento de granos, especialmente maíz, pero también puede afectar a otros cereales como trigo, arroz y sorgo. El adulto es un pequeño escarabajo de color marrón oscuro a negro, de aproximadamente 2 a 3 mm de longitud, con un hocico alargado. Las larvas son de color blanco y larviformes, y se desarrollan dentro de los granos. Las hembras del gorgojo del maíz depositan sus huevos en granos de cereales almacenados. Las larvas emergen de los huevos y se alimentan del interior de los granos, causando daños significativos. Después de un período de desarrollo, las larvas se transforman en pupas y luego en adultos, completando así su ciclo de vida.

S. zeamais causa daños directos al consumir el endospermo del grano, dejando orificios característicos en su superficie. Estos daños reducen el valor comercial y la calidad nutricional de los granos, además de facilitar la entrada de hongos y bacterias que pueden producir toxinas peligrosas para la salud humana y animal. Las infestaciones de gorgojos pueden causar pérdidas significativas en la producción y almacenamiento de granos, tanto en el sector agrícola como en el alimentario, lo que afecta la seguridad alimentaria y la economía.

El gorgojo del maíz es una plaga de importancia económica y sanitaria en la agricultura, ya que puede afectar la calidad y la cantidad de los granos almacenados, así como la seguridad alimentaria de las poblaciones. Su control efectivo es fundamental para proteger los cultivos y garantizar la calidad y la inocuidad de los alimentos, tanto para el consumo humano como animal (López, 2024).

6.1 Taxonomía de *Sitophilus zeamais* (Motschulsky)

La taxonomía de *S. zeamais*, comúnmente conocido como el gorgojo del maíz, es la siguiente:

Dominio: Eukarya



Reino: Animalia

Filo: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Coleoptera

Familia: Curculionidae

Género: *Sitophilus*

Especie: *Sitophilus zeamais*

6.2 Ciclo de vida de *Sitophilus zeamais* (Motschulsky).

En la Figura 3, se puede observar el ciclo biológico del gorgojo del maíz *S. zeamais*, el cual presenta una metamorfosis completa holometábola.

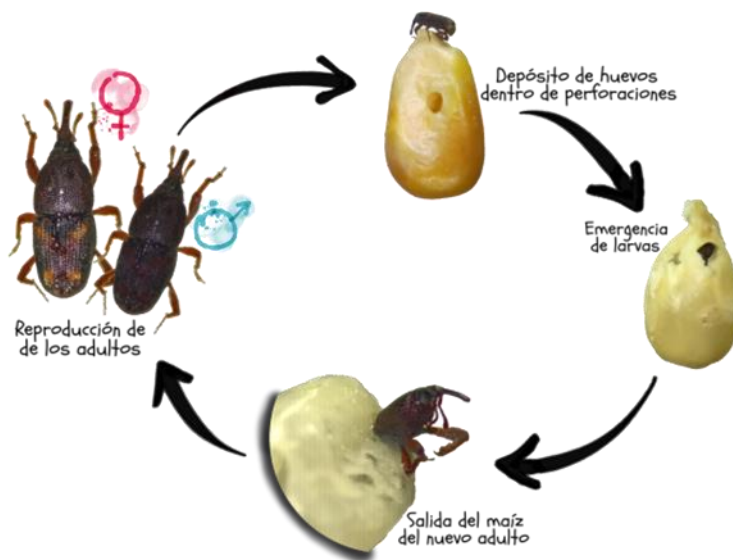


Figura 1 Ciclo de vida de *Sitophilus zeamais* (Motschulsky)



Fuente: Jacob (2014).

El ciclo de vida de *Sitophilus zeamais*, el gorgojo del maíz comprende varias etapas desde el huevo hasta el adulto.

Huevo:

Deposición: La hembra adulta perfora un grano de maíz u otro cereal con su rostrum (hocico) y deposita un solo huevo en el interior del grano. Luego, sella la abertura con una sustancia gelatinosa para proteger el huevo.

Duración: El período de incubación dura de 3 a 5 días, dependiendo de las condiciones ambientales como la temperatura y la humedad.

Larva:

Emergencia: La larva emerge del huevo dentro del grano y comienza a alimentarse del endospermo.

Desarrollo: La larva pasa por varios estadios larvales (generalmente cuatro) mientras se alimenta y crece. Durante esta etapa, causa la mayor parte del daño al grano, vaciándolo desde el interior.

Duración: La etapa larval puede durar entre 2 a 4 semanas, dependiendo de las condiciones ambientales.

Pupa:

Pupación: Después de completar el desarrollo larval, la larva se transforma en una pupa dentro del grano.

Transformación: Durante la pupación, el insecto sufre una metamorfosis completa, desarrollándose en un adulto.

Duración: La etapa pupal dura aproximadamente 1 a 2 semanas.

Adulto:

Emergencia: El adulto emerge del grano perforando la cubierta exterior. Los adultos son de color marrón oscuro a negro, con una longitud de 2 a 3 mm.



Reproducción: Después de emerger, los adultos se aparean y las hembras comienzan a depositar huevos en aproximadamente una semana.

Longevidad: Los adultos pueden vivir varios meses, durante los cuales pueden producir cientos de huevos, continuando el ciclo de infestación.

6.2.1 Factores que afectan el ciclo de vida

Temperatura: La temperatura óptima para el desarrollo de *Sitophilus zeamais* está entre 25°C y 30°C. A temperaturas más bajas, el desarrollo se ralentiza, y a temperaturas muy altas o muy bajas, la mortalidad aumenta.

Humedad: Una humedad relativa de 70-80% es ideal para el desarrollo de *S. zeamais*. En condiciones de baja humedad, el desarrollo y la supervivencia se ven afectados negativamente.

Disponibilidad de Alimento: La presencia y calidad de los granos almacenados son cruciales para el desarrollo de las larvas y la reproducción de los adultos.

6.3 Árbol de Neem *Azadirachta indica* A. Juss

El árbol de Neem, científicamente conocido como *Azadirachta indica*, es una especie de árbol que pertenece a la familia Meliaceae.

6.3.1 Botánica de *Azadirachta indica* A. Juss:

Nombre Científico: *Azadirachta indica*

Nombre común: Árbol de Nim o Neem

Descripción: El árbol de Neem es un árbol de hoja perenne que puede alcanzar alturas de hasta 15-20 metros. Sus hojas son compuestas, alternas y pinnadas, con folíolos lanceolados. Las flores son blancas y fragantes, y los frutos son drupas que contienen una sola semilla.

Usos: El Neem tiene una amplia variedad de usos, desde medicinales hasta pesticidas naturales, productos para el cuidado de la piel y más.



6.3.2 Origen de *Azadirachta indica* A. Juss:

El árbol de Neem es originario del subcontinente indio, incluyendo India, Bangladesh, Sri Lanka, Pakistán y Maldivas. Sin embargo, se ha introducido en muchas otras regiones tropicales y subtropicales del mundo debido a su utilidad en la medicina y la agricultura.

6.3.3 Taxonomía de *Azadirachta indica* A. Juss:

Según Koul y Wahab (2005), la taxonomía del Nim es la que sigue:

Reino: Plantae (Plantas)

División: Angiospermas

Clase: Eudicotiledoneas

Orden: Sapindales

Familia: Meliaceae

Género: *Azadirachta*

Especie: *Azadirachta indica*

El árbol de neem, científicamente conocido como *Azadirachta indica* A. Juss ha sido bastante estudiado por sus propiedades pesticidas naturales debido a las sustancias químicas que contiene, particularmente las limonoides y los azadiractinos. La toxina más estudiada presente en el neem es la azadiractina.

6.4 Azadiractina:

Esta es la principal toxina encontrada en el neem y es responsable de su actividad pesticida. La azadiractina es un regulador de crecimiento de insectos y actúa de diversas maneras para afectar a los insectos:



- **Inhibe la alimentación:** La azadiractina actúa como un inhibidor de la alimentación, lo que significa que los insectos que consumen partes de la planta de neem o productos que contienen azadiractina dejan de alimentarse.
- **Efectos sobre la muda:** También afecta el proceso de muda de los insectos, lo que conduce a la muerte prematura de las larvas o a deformidades en los adultos.
- **Antialimentaria y antiovo positiva:** La azadiractina también tiene propiedades antialimentarias inhibidoras de la oviposición, lo cual significa que los insectos no solo dejan de comer, sino que también tienen menos probabilidad de poner huevos.
- **Interferencia con el desarrollo y metamorfosis:** La azadiractina puede interrumpir el desarrollo y la metamorfosis de los insectos, lo cual lleva a la disminución de la población de insectos plaga.

La azadiractina es ampliamente utilizada en la agricultura como un insecticida natural además de ser respetuosa con el medio ambiente. A menudo se utiliza en formulaciones comerciales de aceite de neem o extractos de neem para controlar una gran variedad de plagas en cultivos agrícolas. Su uso se ha promovido como una alternativa a los productos químicos más tóxicos debido a su baja toxicidad para los humanos y a otros organismos no objetivos. (Fernández, 2024).

Es importante destacar que, aunque la azadiractina es efectiva contra muchos insectos, su efectividad puede variar según la especie y la etapa de desarrollo del insecto. Por lo tanto, es esencial entender cómo y cuándo aplicar productos basados en neem para lograr el mejor control de plagas en un entorno agrícola específico (Isman, 2006).

El aceite de Neem es utilizado en la agricultura por ser biodegradable y no tóxico; se cree que podría sustituir a los insecticidas petroquímicos. Es muy activo contra los insectos fitófagos e inactivo contra abejas y fauna auxiliar. En muchos bioensayos realizados se demostró que



azadiractina es la sustancia insecticida principal dentro del conjunto de terpenoides que contiene la semilla de Neem. En la hoja todavía no se ha comprobado azadiractina. Aunque la molécula blanca, de azadiractina en el cuerpo del insecto todavía no está localizada, la hipótesis de su modo de acción se formula actualmente así: Azadiractina interviene en el sistema hormonal a un nivel alto en el cerebro del insecto y en las glándulas endocrinas denominadas corpora allata además de efectuar la actividad cardíaca. De esta forma se disminuye la síntesis de la hormona reguladora PTIH (prothoracicotropic hormone) que estimula la síntesis de los Ecdysteroides morphogenéticos (Ec). El efecto sobre la metamorfosis de las larvas se presenta en forma escalonada, desde la primera desactivación hasta daños graves en el cuerpo o muerte durante los estados larvales y pupales. Sobre los adultos se observó un efecto de reducción de fecundidad por disturbio de los ciclos gonadotróficos (Kgmber, (s/f)).

6.5 Neemazal

Neemazal es un producto biopesticida derivado del árbol de neem (*Azadirachta indica*), conocido por sus propiedades insecticidas, fungicidas y nematicidas. El principal componente activo de Neemazal es la azadiractina, un compuesto que interfiere con el desarrollo y la reproducción de una amplia gama de insectos plaga. La azadiractina actúa principalmente como un regulador del crecimiento de los insectos, inhibiendo la muda y la metamorfosis. También tiene efectos antialimentarios y repelentes, reduciendo la capacidad de los insectos para alimentarse y reproducirse. Interfiere en la producción hormonal y el sistema digestivo de los insectos, lo que conduce a la muerte eventual de las plagas. Neemazal es eficaz contra *S. zeamais* y una amplia variedad de plagas de almacenamiento y de campo, como pulgones, mosca blanca, orugas y ácaros. Puede ser aplicado en cultivos de cereales, legumbres, hortalizas, frutales y otros cultivos susceptibles a infestaciones.

6.5.1 Ventajas de Neemazal

Biodegradable y Ecológico: Neemazal es biodegradable y tiene un bajo impacto ambiental, lo que lo hace adecuado para la agricultura orgánica y sostenible. **Seguridad para Humanos y**



Animales: Es seguro para humanos, animales y organismos benéficos como polinizadores y depredadores naturales de plagas. Resistencia Baja: Debido a su modo de acción múltiple, la probabilidad de que las plagas desarrollen resistencia a la azadiractina es relativamente baja.

6.5.2 Desventajas y Consideraciones

Efectividad Variable: La eficacia de Neemazal puede variar dependiendo de factores como la dosis, la forma de aplicación, las condiciones ambientales y la etapa de vida de la plaga. Acción Lenta: Neemazal puede tener una acción más lenta en comparación con insecticidas químicos sintéticos, lo que requiere un monitoreo continuo y aplicaciones repetidas en algunos casos (Figura 4).



Figura 2 Producto Neemazal

Fuente: Homecenter (2020).

6.6 Cipermetrina

La cipermetrina es un insecticida piretroide sintético ampliamente utilizado en la agricultura, la salud pública y la protección de productos almacenados. Se destaca por su efectividad contra una amplia gama de insectos plaga y su rápido modo de acción. La cipermetrina es un compuesto químico sintético que imita las propiedades insecticidas de los piretroides



naturales, que se derivan de las flores del crisantemo. Se encuentra disponible en varias formulaciones, incluyendo concentrados emulsionables (EC), polvos mojables (WP), aerosoles y gránulos, lo que facilita su uso en diferentes aplicaciones.

La cipermetrina actúa sobre el sistema nervioso de los insectos, interfiriendo con la función normal de los canales de sodio en las membranas neuronales. Esta interferencia provoca una excitación continua de las células nerviosas, llevando a la parálisis y eventual muerte del insecto. La cipermetrina se utiliza para controlar una amplia variedad de plagas en cultivos como algodón, maíz, soja, hortalizas, frutales y cereales. Es efectiva contra insectos como orugas, áfidos, mosca blanca, escarabajos, y otros insectos masticadores y chupadores.

La cipermetrina es utilizada para proteger granos almacenados y otros productos alimenticios contra plagas como *S. zeamais* y otros insectos que afectan la calidad y seguridad de los alimentos almacenados.

6.6.1 Ventajas de la Cipermetrina

Alta Eficacia: Es altamente efectiva contra una amplia gama de insectos plaga, proporcionando un control rápido y duradero.

Versatilidad: Puede ser utilizada en diversas formulaciones y aplicaciones, desde la agricultura hasta la salud pública y el almacenamiento de alimentos.

Bajo Costo: En comparación con otros insecticidas, la cipermetrina es relativamente económica, lo que la hace accesible para una amplia gama de usuarios.

6.6.2 Desventajas y Consideraciones

Resistencia: El uso repetido y continuo de cipermetrina puede llevar al desarrollo de resistencia en las poblaciones de insectos, lo que reduce su efectividad con el tiempo.



Toxicidad: Aunque es menos tóxica para los humanos y los animales de sangre caliente en comparación con los insecticidas organofosforados, la cipermetrina puede ser tóxica para peces, abejas y otros organismos no objetivo.

Persistencia Ambiental: La cipermetrina puede persistir en el medio ambiente y acumularse en el suelo y el agua, lo que puede tener efectos negativos a largo plazo en los ecosistemas.

6.7 Definición de Concentración Letal Media (CL₅₀)

La dosis letal media (CL₅₀) es una medida toxicológica que representa la dosis de una sustancia (química, biológica, o física) que es suficiente para causar la muerte del 50% de una población de organismos de prueba, usualmente dentro de un período específico de tiempo. La CL₅₀ se expresa generalmente en términos de cantidad de sustancia por unidad de peso corporal (por ejemplo, miligramos de sustancia por kilogramo de peso corporal, mg/kg).

6.8 Definición de Tiempo Letal Medio (TL₅₀)

El tiempo letal medio (TL₅₀) es otra medida toxicológica que indica el tiempo necesario para que una determinada dosis de una sustancia cause la muerte del 50% de una población de organismos de prueba. Este valor se expresa en unidades de tiempo (por ejemplo, horas, días).

6.9 Relación entre Concentración Letal Media (CL₅₀) y Tiempo Letal Medio (TL₅₀)

Aunque la CL₅₀ y la TL₅₀ son medidas diferentes, están interrelacionadas en el contexto de la toxicología y la evaluación del riesgo de sustancias. Ambas métricas se utilizan para comprender la toxicidad de una sustancia y su potencial efecto letal sobre una población de organismos.

Evaluación de Toxicidad: La CL₅₀ proporciona una medida de la cantidad de sustancia necesaria para ser letal, mientras que la TL₅₀ indica el tiempo requerido para que esa dosis sea letal. Juntas, estas medidas ayudan a evaluar tanto la potencia (cuánto) como la velocidad (cuándo) de la toxicidad de una sustancia.



Perfil Tóxico Completo: La combinación de la CL_{50} y la TL_{50} puede ofrecer una visión más completa del perfil tóxico de una sustancia. Una sustancia con una baja CL_{50} (alta toxicidad) podría tener un TL_{50} corto, indicando que es no solo muy tóxica, sino que también actúa rápidamente. Por otro lado, una sustancia con una baja CL_{50} , pero un TL_{50} largo podría ser muy tóxica, pero actuar más lentamente, lo cual puede influir en las estrategias de manejo de exposición y tratamiento.

Comparación entre Sustancias: Estas métricas son útiles para comparar la toxicidad de diferentes sustancias. Por ejemplo, si dos sustancias tienen la misma CL_{50} , pero diferentes TL_{50} , la sustancia con el TL_{50} más corto sería considerada más peligrosamente aguda, ya que actúa más rápidamente.

7. MARCO LEGAL

7.1 Acuerdo No. 186

El presente anteproyecto se rige bajo la normatividad establecida por la Universidad de Pamplona en el reglamento estudiantil, según el acuerdo número 186 de 02 de diciembre 2005.

Capítulo VI. Trabajo de Grado

Artículo 35. La Universidad de Pamplona establece en el plan de estudio de los programas un requisito para la obtención del título profesional, se debe presentar un trabajo especial por parte del estudiante denominado “TRABAJO DE GRADO”, en el cual se consolida al estudiante su información integral, lo cual permite: Diagnosticar problemas y necesidades, a partir, de los conocimientos adquiridos en la etapa académica, acopiar y analizar la información para establecer soluciones a problemas y necesidades específicas, además de; desarrollar planes y ejecutar proyectos, que le permitan demostrar su capacidad en la toma de decisiones.



PARÁGRAFO PRIMERO. Según las características del trabajo de grado se puede realizar de manera individual o en grupo. Corresponde al comité que se integren para realizar uno solo. En todos los casos, se presentará un sólo informe.

PARÁGRAFO SEGUNDO. “El Trabajo de Grado se podrá matricular a partir del 8º. Semestre, dependiendo de la modalidad que se emplee, hasta con máximo dos (2) asignaturas. El Trabajo de Grado deberá ser sustentado ante un Jurado, que está compuesto por tres (3) personas conocedoras del tema y decidir la calificación: “Aprobado”, “Excelente” o “Incompleto”, en llegado caso de que no se cumpla con los objetivos propuestos en la modalidad en la cual se adelanta dicho trabajo, en tal caso, el estudiante tendrá que matricularlo nuevamente en el siguiente semestre académico.

Artículo 36. Modalidades de Trabajo de Grado: para este trabajo, se desarrolla bajo la modalidad de investigación, el cual comprende diseños y ejecución de proyectos que ayuden aportar soluciones a los problemas teóricos o prácticos, adecuar y apropiar tecnologías y validar conocimientos producidos en otros contextos (Universidad de Pamplona, 2005).

7.2 Resoluciones del Instituto Colombiano Agropecuario

7.2.1 Ley 9 de 1979: de las sustancias peligrosas -plaguicidas- artículos pirotécnicos.

Artículo 130º.- En la importación, fabricación, almacenamiento, transporte, comercio, manejo o disposición de sustancias peligrosas deberán tomarse todas las medidas y precauciones necesarias para prevenir daños a la salud humana, animal o al ambiente, de acuerdo con la reglamentación del Ministerio de Salud.

Plaguicidas.

Artículo 136º.- El Ministerio de Salud establecerá las normas para la protección de la salud y la seguridad de las personas contra los riesgos que se deriven de la fabricación, almacenamiento, transporte, comercio, uso o disposición de plaguicidas.



Artículo 138°.- El registro que aprobare el Ministerio de Salud para plaguicidas destinados a uso agropecuario no exime a los interesados del cumplimiento de las disposiciones que para tales productos tengan establecidas las autoridades de agricultura.

Artículo 139°.- El Ministerio de Salud podrá realizar la importación o fabricación de muestras de plaguicidas para fines de investigación, experimentación o registro. Cuando la experimentación con estos productos pueda causar daño a la salud de los trabajadores, de la población o del ambiente tal actividad debe someterse a la vigilancia de las autoridades de salud, las cuales exigirán la adopción de las medidas necesarias para prevenir o remediar tales daños.

Artículo 144°.- Los residuos procedentes de establecimientos donde se fabriquen, formulen, envasen o manipulen plaguicidas, así como los procedentes de operaciones de aplicación no deberán ser vertidos directamente a cursos o reservorios de agua, al suelo o al aire.

7.2.2 Ministerio de Salud. Decreto 775 del 16 de abril de 1990

Por el cual se reglamentan parcialmente los Títulos III, V, VI, VII y XI de la Ley 09 de 1979, sobre uso y manejo de plaguicidas.

Artículo 1° Del objeto del control y vigilancia epidemiológica. El control y la vigilancia epidemiológica en el uso y manejo de plaguicidas, deberá efectuarse con el objeto de evitar que afecten la salud de la comunidad, la sanidad animal y vegetal o causen deterioro del ambiente.

Artículo 2° Régimen aplicable al uso y manejo de plaguicidas. El uso y manejo de plaguicidas estarán sujetos a las disposiciones contenidas en la Ley 09 de 1979, el Decreto 2811 de 1974, Reglamento Sanitario Internacional, las demás normas complementarias previstas en el presente Decreto y las que dicten los Ministerios de Salud y de Agricultura o sus institutos adscritos.



7.2.3 Decreto 1376 de 2013

Decreto del Ministerio del Ambiente, el cual reglamenta el permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial. En este decreto se toma espécimen de especie silvestre como: organismo silvestre de la diversidad biológica vivo o muerto o sus productos, partes, en adelante. Para su recolección es importante la referencia de información básica inherente a los especímenes como la taxonomía, localidad de colecta, fecha de colecta y colector, entre otras. También se dictan disposiciones acerca de las Instituciones Nacionales de Investigación entre las cuales están las Instituciones de Educación Superior.

8. METODOLOGÍA

8.1 Tipo de Investigación

La presente Investigación se enmarco como de tipo Investigación cuantitativa descriptiva, debido a que pretendió obtener resultados a partir de la toma sistemática de datos para analizarlos estadísticamente y determinar la eficacia de cada tratamiento para el control de *Sitophilus zeamais* (Motschulsky).

8.2 Diseño Metodológico

8.2.1 Hipótesis

En condiciones de laboratorio es posible probar la efectividad de aceites de neem para el control de plagas de granos almacenados, los cuales pueden ser evaluados como posibles agentes de control fitoquímico contra *S. zeamais*.



Hipótesis Nula: Los Tratamientos no tienen ningún efecto de control en la plaga.

Hipótesis Alterna: Los Tratamientos tienen ningún efecto de control en la plaga.

Sistema de Variables

8.2.2 Variables Cuantitativas Continuas

Variables dependientes

- Porcentajes de Mortalidad.
- Concentración Letal Media (CL₅₀).
- Tiempo Letal Medio (TL₅₀).

Variables independientes

- Dosis aplicadas.

8.3 Diseño de la investigación

8.3.1 Localización del ensayo

La cría masiva de *S. zeamais* (Motschulsky) y las pruebas de laboratorio se desarrollaron en el barrio el escorial debido a la facilidad para tomar datos cada 12 horas localizado a 2.590 msnm, en el municipio de Pamplona Norte de Santander.

8.3.2 Diseño Experimental

El Diseño Experimental fue un modelo estadístico completamente al azar, que consistió en once tratamientos (concentraciones), cada concentración de cinco Repeticiones y cada repetición con 20 adultos de *S. zeamais*, distribuyendo en cada frasco de vidrio de 30 mL dos parejas de adultos, con dos gramos de pasta alimenticia. La toxicidad por efecto fumigante se avaluó colocando en la parte interna en la tapa de los frascos, una esponja de 0,5 x 0,5 cm, aplicando una gota de cada concentración de 1,2ml/L; 0,96ml/L; 0,72ml/L; 0,48ml/L; 0,24ml/L y 0,00ml/L, para el aceite de neem y las concentraciones de 200mg/L; 160mg/L; 120mg/L; 80mg/L y 40mg/L, para el piretroide cipermetrina; realizando observaciones de mortalidad cada 12 horas. Los adultos



utilizados (F1) en el bioensayo provenían de una cría masiva mantenida en el Laboratorio de Sanidad Vegetal ($17\pm 1^{\circ}\text{C}$ y $65\pm 10\%$ HR).

8.3.3 Efecto subletal Determinación del efecto subletal

Una vez terminada las 96 hrs de evaluación de mortalidad se retiraron todos los insectos adultos de cada uno de los frascos y estos conteniendo sólo la pasta alimenticia se mantuvieron aislados, continuando las observaciones hasta el final del ensayo. Al final de este período se evaluó la emergencia de insectos adultos (F1) tomando como 0% la F1 del testigo.

Se utilizaron los productos comerciales Neem Azal 1,2% EC y Cipermetrina 200mg/L; productos registrados en el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Las concentraciones se prepararon a partir de una concentración inicial de 1,2 ml/L del aceite de neem y de 2 g/L del piretroide cipermetrina, realizando cuatro diluciones seriadas (Tabla 1), que se evaluarán como tratamientos (concentraciones). Las concentraciones fueron:

Tabla 1. Concentraciones de aceite de neem y cipermetrina.

Aceite Neem Concentración (ml/L)	Cipermetrina Concentración (mg/L)
1,20	200
0,96	160
0,72	120
0,48	80
0,24	40
0,00	0,00

Fuente: autor



La representación gráfica del diseño experimental de una concentración del producto comercial se muestra en la Figura 5.

R1	R2	R3	R4	R5
				
				
				



Figura 3. Representación gráfica del diseño experimental por cada concentración

Fuente: Autor

8.4 Descripción de las Actividades

8.5 Colecta y Cría masiva del gorgojo *Sitophilus zeamais* (Motschulsky)

Mediante visitas a supermercados se procedió a la búsqueda de pastas descartadas como consumo humano para coleccionar pastas atacadas por el gorgojo *S. zeamais*, los cuales fueron introducidos en frascos de vidrio con tapa. Los frascos conteniendo las pastas con gorgojos serán llevados al barrio el escorial del municipio de Pamplona, Norte de Santander para iniciar la cría de los gorgojos. Periódicamente la pasta será limpiada de los excrementos y basura, introduciendo trozos de pasta nuevos como alimento, colocándolos en frascos de vidrio de 1000 ml con su tapa.



El pie de cría a nivel de laboratorio se mantendrá hasta que se logre una producción de adultos de no más de siete días de edad, para lograr mínimo 500 adultos y poder iniciar el bioensayo.

8.5.1 Primer objetivo

Comparar la mortalidad causada por cinco concentraciones de aceite de semillas de neem, un testigo y cinco concentraciones de cipermetrina a adultos del gorgojo *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) en condiciones de laboratorio.

Se evaluó la toxicidad fumigante del producto comercial Neem Azal 1,2% EC, en adultos de *S. zeamais* en viales de vidrio de 30 ml. En cada uno de estos se introdujeron cuatro adultos. Los adultos provenían de una cría que se mantenía en el lugar anteriormente descrito para el desarrollo y la observación del ensayo.

Las concentraciones de los aceites esenciales se aplicaron con la ayuda de una micropipeta sobre goma espuma para lograr el efecto fumigante de cada concentración del aceite esencial. La goma espuma se colocó adherida en la parte interna de las tapas de los viales de vidrio, para luego ser impregnada con las diferentes concentraciones. Cada 12 horas y sin abrir los viales se observó la mortalidad de los adultos en cada vial. La mortalidad se consideró cuando los adultos no caminen y no tengan movimiento de sus antenas y patas. Con los datos obtenidos se calculó la mortalidad total y los diferentes parámetros de toxicidad (Anexo 1).

Los adultos permanecieron cuatro días en sus viales con sus diferentes concentraciones, para cumplir con el tiempo determinado de cuatro días de exposición a los tratamientos. Al quinto día los adultos fueron cambiados a un nuevo vial para que los adultos suministrándoles la pasta alimenticia para que continuaran su desarrollo hasta que mueran o sobrevivan en el transcurso del ensayo.



8.5.2 Segundo objetivo

8.6 Determinar la CL₅₀, el TL₅₀ y el efecto subletal de seis concentraciones de aceite de semillas de neem sobre adultos del gorgojo *Sitophilus zeamais* (Motschulsky), en condiciones de laboratorio.

Para determinar la CL₅₀ y el TL₅₀, las mortalidades se tomaron hasta las 96 horas de exposición de los adultos, ya que, dentro del concepto de la CL₅₀, que es la concentración de un material determinado, administrado una sola vez, que provoca la muerte del 50% de un grupo de animales de prueba. Al quinto día los adultos fueron cambiados a un nuevo vial para que los adultos continuaran su desarrollo hasta mueran o sobrevivan en el transcurso del ensayo.

Al comprobarse la mortalidad de un adulto, se anotó en el instrumento diseñado (Anexo 1), el tratamiento, la repetición, la cantidad de gorgojos que viven o que murieron y hora de observación de su muerte.

8.6.1 Determinación del efecto subletal

Una vez terminada las 96 hrs de evaluación se retiraron todos los insectos adultos de cada uno de los frascos y estos conteniendo solamente la pasta alimenticia se mantuvieron aislados, continuando las observaciones hasta el final del ensayo. Al final de este período se evaluó la emergencia de insectos adultos (F1) tomando como 100% la F1 del testigo.

8.6.2 Análisis estadísticos

Los valores de CL₅₀ se determinó con un Análisis Probit, transformando las cinco concentraciones de cada extracto a logaritmo natural y las mortalidades se transformaron a Probit; utilizando el Software SPSS Statistics 26.0, con el cual se realizó un Análisis de Varianza, previa comparación de la normalidad de datos y homogeneidad de varianzas, seguido del test de comparación de medias de Tukey con un nivel de significancia $p \leq 0,05$. Se realizó un análisis de regresión para determinar la relación entre la mortalidad y la concentración, lo que permitió construir la respuesta concentración-efecto para cada concentración, que es la base para la determinación de la CL₅₀. Con los datos de mortalidad acumulados cada doce horas (desde la hora



doce de montado el bioensayo hasta la hora 96), se determinó el tiempo al cual murió el 50% de la población (TL_{50}) para cada concentración evaluada. Para determinar el efecto subletal de los tratamientos se procedió corrigiendo la mortalidad de la fórmula de Abbott (1952), tomando como 100% la F1 del testigo.

9. RESULTADOS

9.1 Primer objetivo

9.1.1 Determinación de la Mortalidad

9.1.2 Comparación de la mortalidad causada a adultos de *Sitophilus zeamais* (Motschulsky), por los once tratamientos (concentraciones), en condiciones de laboratorio.

Todas las concentraciones de cipermetrina causaron el 100% de mortalidad a los adultos de *S. zeamais*; mientras que el aceite de neem causó mortalidades superiores al 98%, sin diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre ellas. El testigo absoluto mostró una mortalidad del 1% (Tabla 2). Esta alta eficiencia de la cipermetrina y el aceite de neem sugieren que incluso las concentraciones más bajas de aceite de neem (0,24ml/L) y de la cipermetrina (40mg/L) son suficientes para matar el 100% de la población del bioensayo. La mortalidad del 1% en el testigo absoluto indica que la mortalidad natural de los adultos de *S. zeamais* es muy baja en ausencia de tratamiento. Esto refuerza la eficacia de los tratamientos con cipermetrina y aceite de neem.

Tabla 2. Prueba de medias de Tukey para los porcentajes de mortalidad de adultos de *S. zeamais* sometidos a once tratamientos, bajo condiciones de laboratorio.



Tratamiento	N	Mortalidad (%)	DS
C-200 mg/L	5	100,00 a	0,00
C-160 mg/L	5	100,00 a	0,00
C-120 mg/L	5	100,00 a	0,00
C-80 mg/L	5	100,00 a	0,00
C-40 mg/L	5	100,00 a	0,00
A-1,20 ml/L	5	100,00 a	0,00
A-0,96 ml/L	5	100,00 a	0,00
A-0,72 ml/L	5	98,00 a	2,74
A-0,48 ml/L	5	100,00 a	0,00
A-0,24 ml/L	5	100,00 a	0,00
Control 0 ml/L	5	1,00 b	2,24

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Nota: C=cipermetrina; A=Azadiractina

Fuente: Autor

No se observó diferencias significativas en la mortalidad entre las diferentes concentraciones de cipermetrina y aceite de neem. Esto sugiere que una vez que se alcanza una



concentración mínima efectiva, aumentar la concentración no mejora significativamente la mortalidad.

El mecanismo de acción de la cipermetrina actúa interfiriendo con los canales de sodio en las células nerviosas de los insectos, causando parálisis y muerte; mientras que el aceite de neem contiene compuestos bioactivos como azadiractina, que interfieren con los procesos hormonales de los insectos, afectando su alimentación, crecimiento y reproducción.

En la Figura 4, se aprecia un Histograma en donde se observa más explícitamente los dos grupos generados por la Prueba de Tukey.

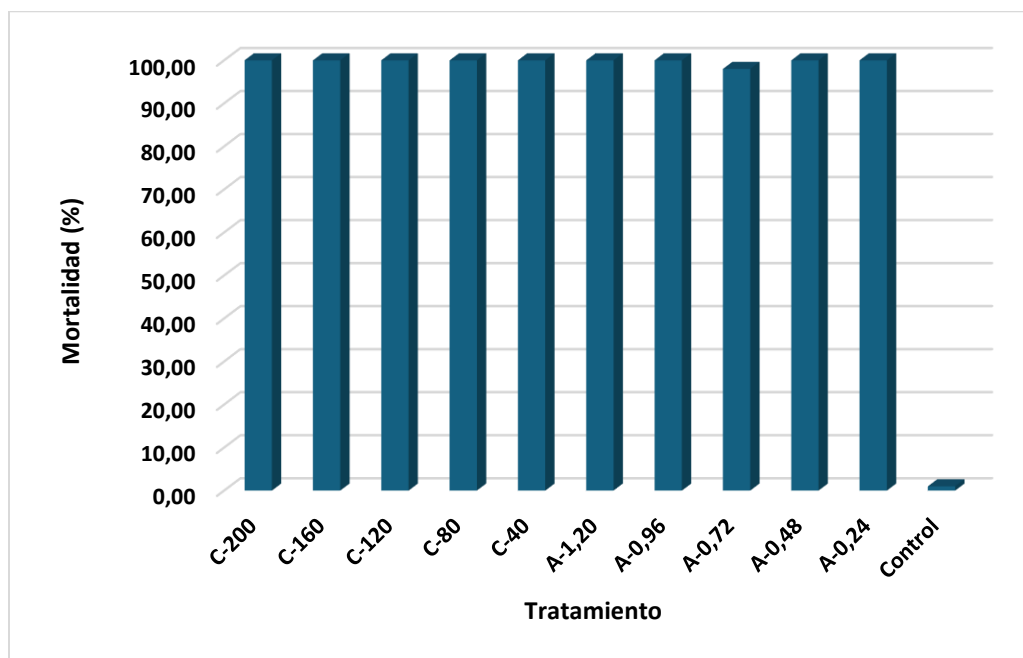


Figura 4. Histograma de los porcentajes de mortalidad de adultos de *S. zeamais* sometidos a once tratamientos, bajo condiciones de laboratorio.

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Nota: C=cipermetrina; A=Azadiractina



Fuente: Autor

9.2 Mortalidad causada a adultos de *S. zeamais*, por el aceite de neem en condiciones de laboratorio.

En este bioensayo, se evaluó la toxicidad del aceite de neem sobre adultos de *S. zeamais* utilizando seis concentraciones diferentes (1,20; 0,96; 0,72; 0,48; 0,24 y 0,00 ml/L). Los resultados de la prueba de Tukey mostraron que las mortalidades obtenidas fueron significativamente diferentes entre las concentraciones, detectándose dos grupos con diferencias significativas ($p \leq 0,05$), en donde el testigo es diferente a todas las demás concentraciones (Tabla 3).

Tabla 3. Prueba de medias de Tukey para los porcentajes de mortalidad de adultos de *S. zeamais* sometidos a seis tratamientos (concentraciones) de aceite de neem bajo condiciones de laboratorio.

Concentración (ml/L)	N	Mortalidad (%)	DS
1,20	5	100,00 a	0,00
0,96	5	100,00 a	0,00
0,72	5	98,00 a	2,74
0,48	5	100,00 a	0,00
0,24	5	100,00 a	0,00
0,00	5	1,00 b	2,24

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Fuente: Autor

Las concentraciones de 1,20 ml/L; 0,96 ml/L; 0,48 ml/L y 0,24 ml/L causaron mortalidades del 100%, lo que indica una alta eficacia del aceite de neem en estas concentraciones. La concentración de 0,72 ml/L mostró una mortalidad ligeramente menor (98%), pero, aun así, sin ser



diferentemente significativas ($p \leq 0,05$) entre ellas, sugiriendo que incluso a concentraciones intermedias, el aceite de neem es altamente efectivo. El control (0,00 ml/L) mostró una mortalidad del 1%, resultando ser diferente significativamente de las cinco concentraciones del aceite de neem, confirmando que la alta mortalidad observada en los tratamientos es atribuible al aceite de neem y no a otros factores.

El aceite de neem mostró una mortalidad del 100% a la concentración más alta (1,20 ml/L), indicando una alta eficacia inicial. Esto concuerda con investigaciones que destacan el neem como un biopesticida efectivo, afectando múltiples aspectos de la biología de los insectos, incluyendo la interrupción del crecimiento y la reproducción (Isman, 2006; Iannacome et al. (2008); Cerna et al. (2010); Villela, 2018; Guettal et al. (2021); Trinidad y Gaona, 2011).

Li et al. (2010) evaluaron el aceite esencial de *M. exótica* contra *Sitophilus zeamais* y *T. castaneum*, encontraron que el aceite esencial de la planta tiene toxicidad fumigante contra adultos de *S. zeamais* y *T. castaneum* con valores de CL_{50} de 8,29 y 6,84 mg/l, respectivamente.

9.3 Análisis de Regresión de la interacción Mortalidad-Concentración del aceite de neem.

La pendiente de la ecuación de regresión es 58,69; indica que por cada unidad adicional de concentración de aceite de neem (ml/L), la mortalidad aumenta en promedio un 58,69%. Esto sugiere una relación positiva entre la concentración del aceite de neem y la mortalidad de los adultos de *S. zeamais*. La intersección de 47.95 indica la mortalidad esperada cuando la concentración de aceite de neem es 0,00 ml/L. Este valor teórico no tiene un significado práctico real, ya que el control (0,00 ml/L) mostró solo un 1% de mortalidad. Sin embargo, se destaca que incluso a concentraciones muy bajas, se espera una alta mortalidad. Un Coeficiente de Determinación ($R^2 = 0,43$) sugiere que el 43% de la variabilidad en la mortalidad puede explicarse por la concentración de aceite de neem (Figura 7). Esto indica una relación moderada entre la concentración del aceite de neem y la mortalidad observada, sugiriendo que hubo otros factores no considerados en este estudio que también influyeron en la mortalidad.

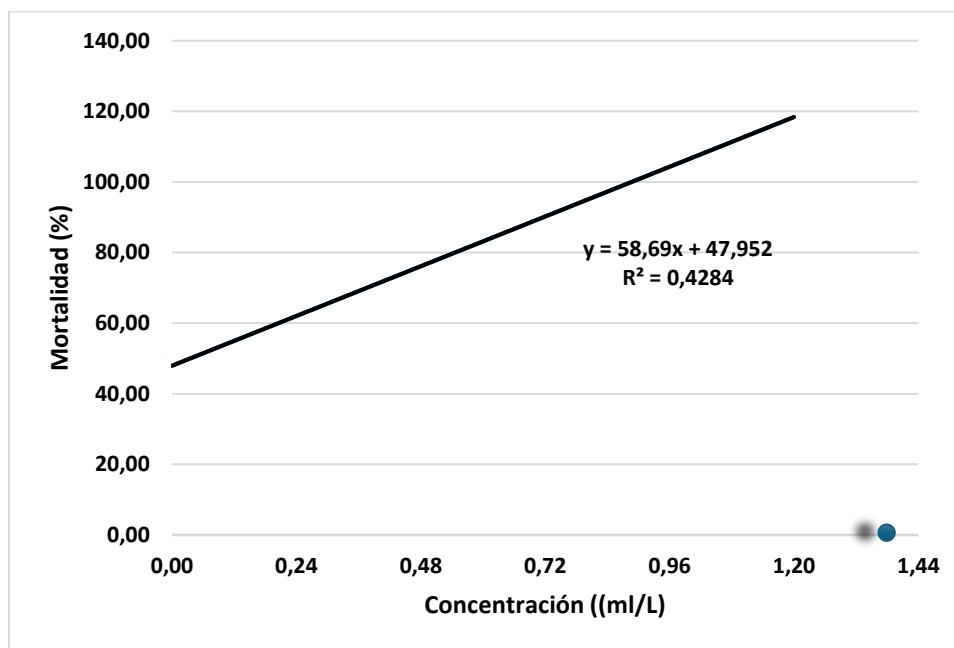


Figura 5. Regresión de la interacción Mortalidad (%)-Concentración (mg/l) para adultos de *S. zeamais* sometidos a seis concentraciones de aceite de neem, bajo condiciones de laboratorio.
Fuente: autor

Considerando la variabilidad y factores adicionales, el coeficiente de determinación ($R^2 = 0,43$) indica que, aunque la concentración de aceite de neem es un factor importante en la mortalidad de *S. zeamais*, no es el único. Factores adicionales como la variabilidad biológica entre los insectos, las condiciones experimentales y otros posibles agentes de estrés podrían haber influido en la mortalidad.



9.4 Mortalidad causada a adultos de *S. zeamais*, por el piretroide cipermetrina, en condiciones de laboratorio.

De la misma manera que el aceite de neem, todas las concentraciones de cipermetrina (200, 160, 120, 80 y 40 mg/L) causaron el 100% de mortalidad en adultos de *S. zeamais*, lo que indica una alta eficacia del insecticida en el rango de las concentraciones probadas. El control (0,00 mg/L) mostró una mortalidad del 1%, confirmando que la alta mortalidad observada en los tratamientos es atribuible a la cipermetrina y no a otros factores. Los resultados de la Prueba de Comparación de Medias (Tukey) encontró que las mortalidades obtenidas fueron significativamente diferentes entre las concentraciones, detectándose dos grupos con diferencias significativas ($p \leq 0,05$), en donde el testigo es diferente a todas las demás concentraciones del piretroide cipermetrina (Tabla 4).

Tabla 4. Prueba de medias de Tukey para los porcentajes de mortalidad de adultos de *S. zeamais* sometidas a seis tratamientos (concentraciones) del piretroide cipermetrina, bajo condiciones de laboratorio.

Concentración (mg/L)	N	Mortalidad (%)	DS
200	5	100,00 a	0,00
160	5	100,00 a	0,00
120	5	100,00 a	0,00
80	5	100,00 a	0,00
40	5	100,00 a	0,00
0,00	5	1,00 b	2,24

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Fuente: Autor

Dado que incluso la concentración más baja de cipermetrina resultó en mortalidad completa, este puede ser un control efectivo y seguro para *S. zeamais*, en las condiciones del



bioensayo. Sin embargo, se debe tener cuidado en su aplicación para evitar el desarrollo de resistencia y minimizar el impacto ambiental. La cipermetrina puede ser integrada en estrategias de MIP, proporcionando una herramienta eficaz para el control de *S. zeamais*, pero es crucial rotar con otros insecticidas y métodos de control para evitar el desarrollo de resistencia.

Estos resultados proporcionan una base sólida para el uso de cipermetrina en programas de manejo de plagas de granos almacenados, destacando su eficacia y potencial como una herramienta de control altamente efectiva.

La cipermetrina mostró una alta eficacia en la mortalidad de *S. zeamais*, especialmente a concentraciones de 200 mg/L, donde se observó una mortalidad del 100%. Este resultado es consistente con estudios previos que demuestran que los piretroides son altamente efectivos contra insectos plaga debido a su acción sobre el sistema nervioso, causando parálisis y muerte rápida (Bradbury & Coats, 1989)

Análisis de Regresión de la interacción Mortalidad-Concentración de la cipermetrina.

En la Figura 8, se presenta la ecuación de regresión obtenida en el bioensayo la cual indica lo siguiente:

La pendiente de la ecuación de regresión es 0,35, lo que indica que por cada unidad adicional de concentración de cipermetrina (mg/L), la mortalidad aumenta en promedio un 0,35%. Dado que la pendiente es relativamente baja, esto sugiere que una pequeña fracción de la mortalidad se explica por incrementos en la concentración, lo cual es consistente con la observación de mortalidad completa en todas las concentraciones probadas. La intersección de 48,14 indica la mortalidad esperada cuando la concentración de cipermetrina es 0,00 mg/L. Este valor puede reflejar un sesgo del modelo debido a la alta eficacia del insecticida en todas las concentraciones probadas en la población de adultos de *S. zeamais* del bioensayo. El Coeficiente de Determinación



($R^2 = 0,43$), indica que el 43% de la variabilidad en la mortalidad puede explicarse por la concentración de cipermetrina. Esto explica una relación moderada entre la concentración de cipermetrina y la mortalidad observada, aunque los datos muestran que la mortalidad es completa en todas las concentraciones, sugiriendo estos resultados que el insecticida es altamente efectivo independientemente de la dosis dentro del rango probado de la cipermetrina.

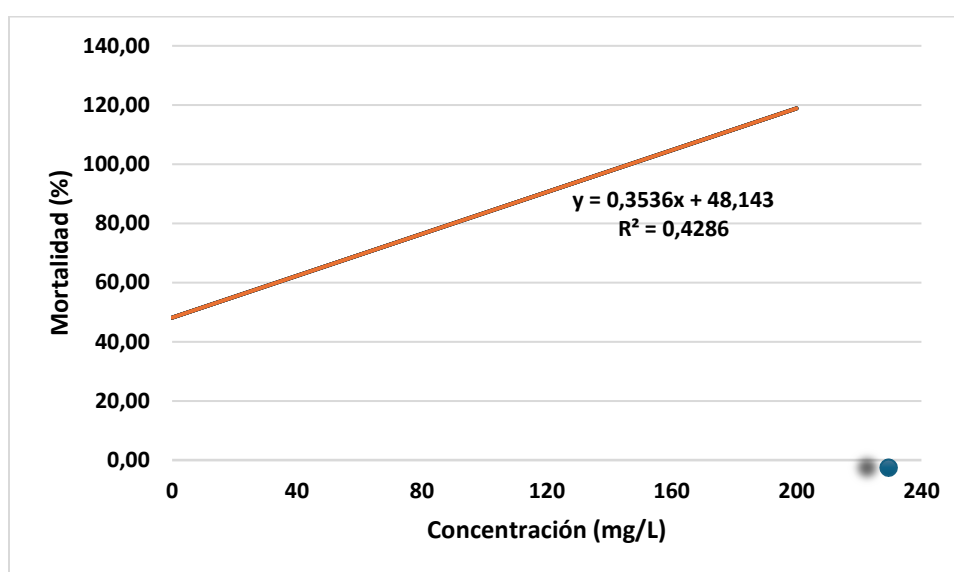


Figura 6. Regresión de la interacción Mortalidad (%)-Concentración (mg/L) para adultos de *S. zeamais* sometidos a seis concentraciones de cipermetrina, bajo condiciones de laboratorio.

Fuente: autor

9.5 Segundo objetivo

9.5.1 Determinación de la CL_{50} , el TL_{50} y el efecto subletal.

9.5.2 Determinar la CL_{50} del aceite de neem sobre adultos de *S. zeamais*.

En la Tabla 5, se presentan las transformaciones de Porcentajes de Mortalidad a Probit (Finnley, 1.952) y las Concentraciones a $\log_{10}$, correspondientes al bioensayo entre las concentraciones (ml/L) de aceite de neem y la mortalidad (%) causada a adultos de *S. zeamais*. La



transformación logarítmica de las concentraciones y las mortalidades se realizó para ajustar la distribución de los datos y mejorar la linealidad de la relación entre las variables.

Tabla 5. Transformaciones de las concentraciones a log10 y mortalidad

Concentración (log10)	Mortalidad (%) (Probit)
2,08	8,09
1,98	8,09
1,86	7,05
1,68	8,09
1,38	8,09
0,00	2,67

Fuente: autor

De seguidas, se procedió a realizar un Análisis de Regresión. lo que permitió obtener la ecuación de regresión $y=2,56x + 3,14$, con un coeficiente de determinación ($R^2 = 0,85$); además, se determinó un valor de CL_{50} de 0,72 ml/L. La CL_{50} de 0,72 ml/L indica que una concentración de 0,72 ml/L de aceite de neem es suficiente para causar la muerte del 50% de los adultos de *S. zeamais* de la población en prueba. Esto muestra que el aceite de neem es altamente efectivo incluso a bajas concentraciones.

La pendiente de la ecuación indica la tasa de cambio de la mortalidad con respecto al aumento en la concentración de aceite de neem; así, una pendiente de 2,56 sugiere que por cada incremento unitario en el valor de la concentración logarítmica de aceite de neem, la variable Probit de mortalidad aumenta en 2,56 unidades. Esto significa que la mortalidad de los adultos de *S. zeamais* también aumenta rápidamente con aumentos en la concentración de aceite de neem. El intercepto (3,14) representa el valor del Probit de mortalidad cuando la concentración logarítmica



de aceite de neem es cero. El Coeficiente de Determinación ($R^2 = 0,85$) indica que el 85% de la variabilidad en la mortalidad puede explicarse por la concentración de aceite de neem (Figura 9).

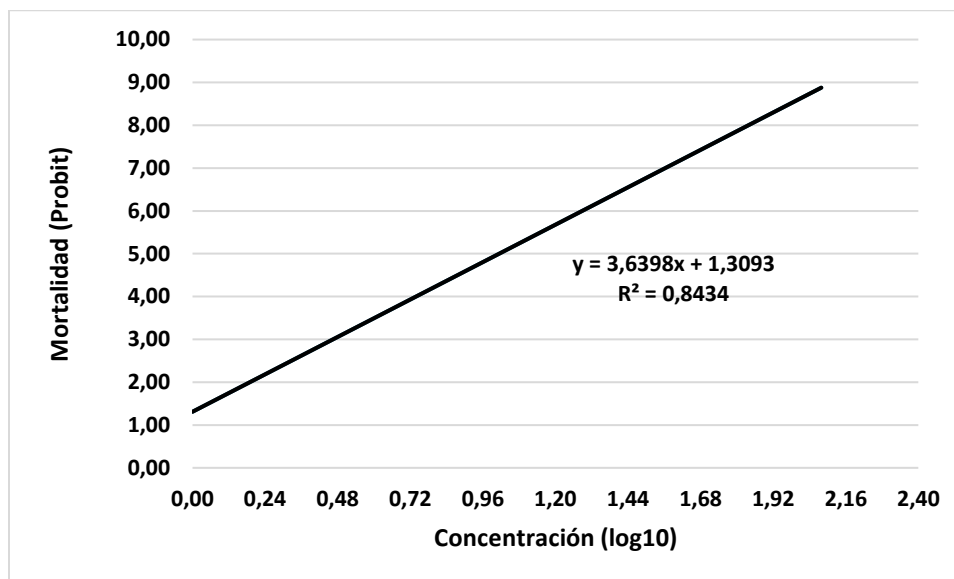


Figura 7. Regresión de la interacción Mortalidad (Probit)-Concentración (log10) para adultos de *S. zeamais* sometidos a seis concentraciones de aceite de neem, bajo condiciones de laboratorio.

Fuente: autor

9.5.3 Determinar la CL_{50} de la cipermetrina sobre adultos de *S. zeamais*.

La Tabla 6 muestra la conversión de los porcentajes de mortalidad a valores de probit (Finley, 1952) y las concentraciones a logaritmos base 10, para el bioensayo realizado entre las concentraciones (mg/L) del insecticida piretroide cipermetrina y la mortalidad (%) en adultos de *S. zeamais*. Se aplicó una transformación logarítmica a las concentraciones y mortalidades para ajustar la distribución de los datos y optimizar la linealidad de la relación entre las variables.

Tabla 6. Transformaciones de las concentraciones a log10 y mortalidad a Probit de la cipermetrina sobre *S. zeamais*, en condiciones de laboratorio.



Concentración (log10)	Mortalidad (Probit)
2,30	8,09
2,20	8,09
2,08	8,09
1,90	8,09
1,60	8,09
0,00	2,67

Fuente: autor

Posteriormente, se llevó a cabo un Análisis de Regresión, lo cual permitió obtener la ecuación de regresión $y = 2,47x + 3,04$, junto con un coeficiente de determinación de $R^2 = 0,92$. Adicionalmente, se determinó un valor de CL_{50} de 6,31 mg/L. Este valor de CL_{50} indica que una concentración de 6,31 mg/L de cipermetrina es suficiente para causar la muerte del 50% de los adultos de *S. zeamais* en la población estudiada. Lo anterior demuestra la alta eficacia de la cipermetrina como insecticida, incluso a bajas concentraciones.

La pendiente de la ecuación 2,47, indica la tasa de cambio en la mortalidad en respuesta a un aumento en la concentración de cipermetrina. En otras palabras, por cada unidad que aumenta la concentración logarítmica de cipermetrina, la variable Probit de mortalidad aumenta en 2,47 unidades. Esto significa que la mortalidad de los adultos de *S. zeamais* también experimenta un aumento rápido a medida que se incrementa la concentración de cipermetrina. El intercepto de la ecuación, 3,04, representa el valor del Probit de mortalidad cuando la concentración logarítmica de cipermetrina es cero. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0,92$) indica que el 92% de la variabilidad en la mortalidad de los adultos de *S. zeamais* puede explicarse por la concentración de cipermetrina (Figura 10).

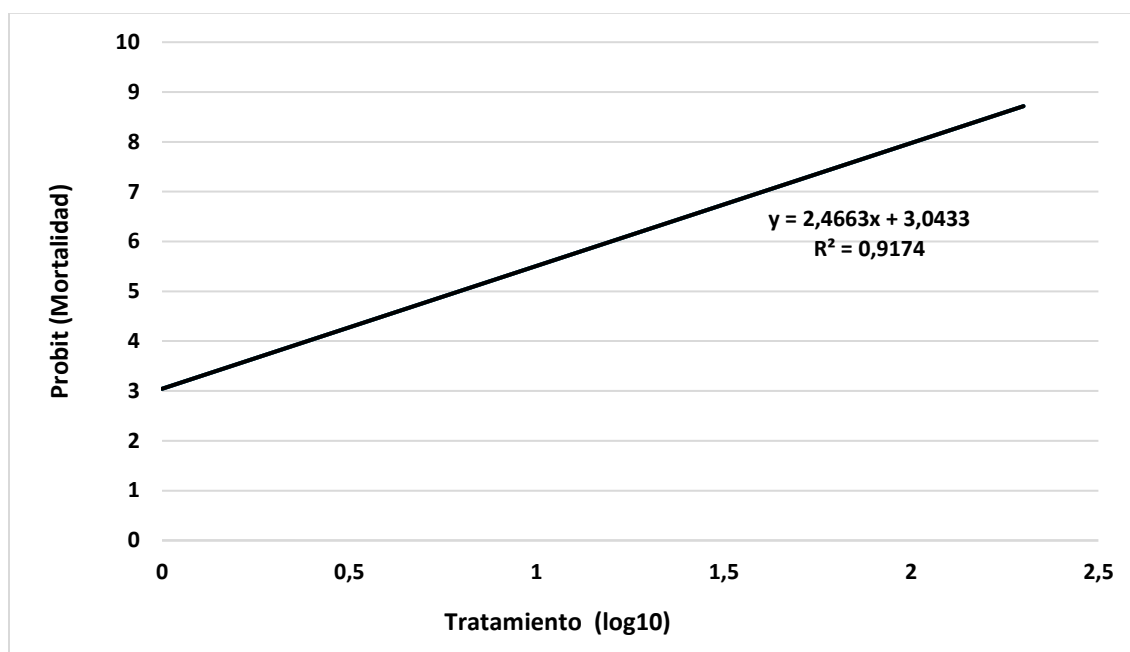


Figura 8. Regresión de la interacción Mortalidad (Probit)-Concentración (log10) para adultos de *S. zeamais* sometidos a seis concentraciones de cipermetrina, bajo condiciones de laboratorio.

Fuente: autor

9.6 Consideraciones entre el aceite de neem y la cipermetrina.

La CL₅₀ del aceite de neem (0,72 ml/L) es significativamente más baja que la de cipermetrina (6,31 mg/L). Esto indica que el aceite de neem es más potente en términos de concentración necesaria para alcanzar la CL₅₀. En otras palabras, se necesita una cantidad menor de aceite de neem en comparación con la cipermetrina para lograr la misma tasa de mortalidad del 50%. En cuanto al Coeficiente de Determinación del aceite de neem y la cipermetrina; se observa que es más alto en la cipermetrina (0,92 contra 0,85) sugiere que los datos de mortalidad se ajustan mejor al modelo de regresión para la cipermetrina que para el aceite de neem. Sin embargo, ambos coeficientes son altos, indicando una buena adecuación de los modelos de regresión a los datos experimentales (Tabla 7).



La menor CL_{50} del aceite de neem sugiere que puede ser más eficiente en términos de cantidad necesaria para el control de *S. zeamais*. Esto puede traducirse en una reducción de costos y una menor cantidad de producto aplicado al ambiente.

Si se considera el impacto ambiental tenemos, que el aceite de neem es generalmente considerado como un bioplaguicida más seguro y menos tóxico para los organismos no objetivo y el medio ambiente en comparación con la cipermetrina, que es un insecticida sintético conocido por su alta toxicidad.

Se podría considerar el uso del aceite de neem como una alternativa viable y sostenible para el control de *S. zeamais*, especialmente en sistemas de manejo de plagas postcosecha, debido al bajo impacto ambiental en alimentación humana y animal.

Tabla 7. Ecuaciones de Regresión, Coeficientes de determinación y Concentraciones letales (CL_{50}) de la cipermetrina y aceite de neem sobre adultos de *S. zeamais*, en condiciones de laboratorio.

Tratamiento	Ecuación Regresión	R^2	CL_{50}
Cipermetrina	$y = 2,47x + 3,04$	0,92	6,31 mg/L
Azadiractina	$y = 2,56x + 3,14$	0,85	0,72 ml/L

Fuente: autor



9.6.1 Determinar del TL_{50} del aceite de neem y cipermetrina sobre *S. zeamais*, en condiciones de laboratorio.

El Tiempo Letal Medio (TL_{50}), es el valor medio del intervalo de tiempo, durante el cual se espera que muera el 50% de una población dada, tras la administración aguda de un agente químico a una determinada concentración y bajo un conjunto de condiciones definidas. Con los datos de mortalidad acumulados cada doce horas, desde la hora 12 de montado el bioensayo hasta la hora 96, se determinó el tiempo en el cual murió el 50% de la población (TL_{50}) para cada una de las cinco concentraciones de aceite de neem y la cipermetrina.

9.6.2 Tiempo Letal Medio (TL_{50}) del aceite de neem.

En este bioensayo se evaluaron cinco concentraciones (1,20; 0,98; 0,72; 0,48 y 0,24 ml/L) del aceite de neem; obteniendo sus ecuaciones de regresión lineal que relacionan el tiempo de exposición (variable independiente) con la mortalidad observada (variable dependiente).

La Tabla 8 muestra los valores de los coeficientes de determinación (R^2) obtenidos en los Análisis de Regresión. Estos valores indican el grado de ajuste de los datos a las líneas de regresión estimadas. En general, valores de R^2 cercanos a 1 señalan un buen ajuste del modelo, mientras que valores más bajos sugieren una mayor dispersión de los datos. En este caso, los valores de R^2 oscilan entre 0,60 y 0,85, lo cual se considera aceptable en el contexto de estudios biológicos.

Con base en las ecuaciones de regresión obtenidas, se calcularon los Tiempos Letales Medios (TL_{50}) para cada concentración del aceite de neem. El TL_{50} representa el tiempo de exposición al insecticida necesario para causar la muerte del 50% de los individuos evaluados. Los valores de TL_{50} obtenidos fueron de 12, 24, 32, 52 y 108 horas, respectivamente. Esto indica que el tiempo requerido para alcanzar la mortalidad del 50% aumenta a medida que disminuye la concentración del aceite de neem.



Tabla 8. Tiempo Letal Medio (TL₅₀), en adultos de *S. zeamais*, sometidos a cinco concentraciones de aceite de neem, en condiciones de laboratorio.

Concentración (ml/L)	Ecuación Regresión	R ²	TL ₅₀ (Horas)
1,20	$y = 0,57x + 56,68$	0,60	12
0,98	$y = 0,90x + 28,54$	0,79	24
0,72	$y = 0,82x + 23,90$	0,85	32
0,48	$y = 0,60x + 18,57$	0,85	52
0,24	$y = 0,33x + 10,14$	0,60	108

Fuente: autor

Las pendientes de las ecuaciones de regresión varían de 0,33 a 0,90. Esto indica diferentes tasas de mortalidad con el tiempo a diferentes concentraciones. Las pendientes más altas en concentraciones intermedias (0,98 ml/L) sugieren una relación más rápida entre tiempo y mortalidad en estas concentraciones, mientras que las concentraciones más bajas y más altas muestran una menor tasa de mortalidad con el tiempo.

Los valores de R² varían de 0,60 a 0,85, lo que indica la variabilidad en la relación entre la concentración de aceite de neem y el TL₅₀. Los valores de R² más altos (0,85 para 0,72 y 0,48 ml/L) indican una buena correlación entre la concentración y el TL₅₀, sugiriendo una alta predictibilidad en estas concentraciones.

A la concentración más alta (1,20 ml/L), el TL₅₀ es más bajo (12 horas), indicando una mortalidad más rápida. A medida que la concentración disminuye, el TL₅₀ aumenta (hasta 108 horas para 0,24 ml/L), lo que sugiere una eficacia temporal más prolongada pero menos inmediata.



9.6.3 Tiempo Letal Medio (TL₅₀) de la cipermetrina.

En este estudio, se evaluaron cinco concentraciones diferentes del insecticida piretroide cipermetrina (200, 160, 120, 80 y 40 mg/L) para determinar su efecto sobre la mortalidad de adultos de *S. zeamais*. Se utilizaron análisis de regresión lineal para relacionar el tiempo de exposición al insecticida (variable independiente) con la tasa de mortalidad observada (variable dependiente).

La Tabla 9 muestra los valores del coeficiente de determinación (R^2) para cada concentración de cipermetrina. En este caso, los valores de R^2 oscilan entre 0,21 y 0,76, lo cual se considera aceptable en el contexto de experimentos biológicos, donde la variabilidad natural puede ser alta.

A partir de las ecuaciones de regresión obtenidas, se calcularon los Tiempos Letales Medios (TL₅₀) para cada concentración de cipermetrina. El TL₅₀ representa el tiempo de exposición necesario para causar la muerte del 50% de los individuos expuestos. Los valores de TL₅₀ obtenidos fueron de 12, 17, 19, 25 y 44 horas, respectivamente. Estos resultados indican que el tiempo requerido para alcanzar la mortalidad del 50% aumenta a medida que disminuye la concentración de cipermetrina.

Tabla 9. Medio de S. a cinco	Concentración	Ecuación	R^2	TL ₅₀	Tiempo Letal (TL ₅₀), en adultos <i>zeamais</i> , sometidos a cinco concentraciones de cipermetrina, en condiciones de laboratorio.
	(mg/L)	Regresión		(Hora)	
	200	$y = 0,45x + 44,61$	0,21	12	
	160	$y = 0,31x + 44,86$	0,53	17	
	120	$y = 0,45x + 41,36$	0,74	19	
	80	$y = 0,50x + 36,71$	0,76	25	
	40	$y = 0,83x + 13,43$	0,74	44	



Fuente: autor

Las pendientes de las ecuaciones de regresión varían de 0,31 a 0,83. Esto indica diferentes tasas de aumento en la mortalidad con el tiempo a diferentes concentraciones. Las pendientes más altas en concentraciones más bajas (40 mg/L) sugieren que la relación entre tiempo y mortalidad se vuelve más pronunciada a medida que la concentración disminuye, posiblemente debido a un efecto retardado de la cipermetrina.

Los valores de R^2 varían de 0,21 a 0,76; lo que indica la variabilidad en la relación entre la concentración de cipermetrina y el TL_{50} . Un R^2 más bajo (0,21 para 200 mg/L) sugiere una mayor variabilidad en los datos, mientras que valores más altos (0,76 para 80 mg/L) indican una mejor correlación entre la concentración y el TL_{50} .

A concentraciones más altas (200 mg/L), el TL_{50} es más bajo (12 horas), indicando una mortalidad más rápida. A medida que la concentración disminuye, el TL_{50} aumenta (hasta 44 horas para 40 mg/L), lo que sugiere una eficacia temporal más prolongada pero menos inmediata. Las concentraciones más altas de cipermetrina (200 mg/L) resultan en una mortalidad más rápida (TL_{50} de 12 horas), mientras que las concentraciones más bajas (40 mg/L) requieren más tiempo (TL_{50}



de 44 horas) para alcanzar la misma mortalidad del 50%. La variabilidad en la eficacia (indicada por los valores de R^2) es mayor a concentraciones más altas, sugiriendo que otros factores pueden influir en la mortalidad en estas concentraciones.

Las concentraciones más bajas pueden ser menos efectivas a corto plazo, pero pueden ofrecer una acción más prolongada, aunque se necesitaría un monitoreo más cercano debido al mayor tiempo necesario para alcanzar el TL_{50} .

9.7 Efectos subletales de los tratamientos

9.7.1 Efecto subletal del aceite de neem

Los efectos subletales de insecticidas se refieren a las consecuencias negativas que un insecticida puede tener en un insecto, sin causarle la muerte inmediata. Estos efectos pueden ser muy variados y afectar diferentes aspectos de la biología del insecto, como el desarrollo y crecimiento, la supervivencia, el comportamiento y su reproducción afectando aspectos importantes como es la disminución en la fecundidad, huevos no viables, alteraciones en el comportamiento de apareamiento, entre otros.

En la Tabla 10, se presenta la prueba de Tukey la cual determino que hay diferencias significativas ($p \leq 0,05$), en las mortalidades causadas por los efectos subletales del aceite de neem entre las distintas concentraciones. Las concentraciones más altas (1.20, 0.96 y 0.72 ml/L) presentaron mortalidades significativamente mayores en comparación con las concentraciones más bajas (0.48 y 0.24 ml/L) y el testigo absoluto (0.00 ml/L).

Tabla 10 Prueba de medias de Tukey para los porcentajes de mortalidad por efecto subletal a adultos de *S. zeamais* sometidas a seis tratamientos (concentraciones) de aceite de neem, bajo condiciones de laboratorio.



Tratamiento (ml/L)	N	Mortalidad (subletal)	DS
1,20	5	100,00 a	0,00
0,96	5	97,14 a	6,39
0,72	5	90,18 a	9,31
0,48	5	78,76 b	7,15
0,24	5	77,75 b	14,57
0,00	5	0,00 c	0,00

Fuente: autor

La ecuación de regresión $y = 67,81x + 33,29$ con un coeficiente de determinación de $R^2 = 0,66$ indica una correlación positiva entre la concentración del aceite de neem (x) y la mortalidad subletal (y). Esto significa que a medida que aumenta la concentración del aceite de neem, la mortalidad subletal también aumenta, así, 67,81 es la pendiente de la línea de regresión. Esto significa que por cada aumento de 1 ml/L en la concentración del aceite de neem, la mortalidad subletal aumenta en promedio 67,81 unidades (Figura 11).

El coeficiente de determinación $R^2 = 0,66$ indica que el 66% de la variación en la mortalidad subletal se puede explicar por la concentración del aceite de neem. Los valores restantes de la mortalidad subletal probablemente se deban a otros factores no controlados en el experimento, como la variabilidad individual de los adultos de *S. zeamais*.

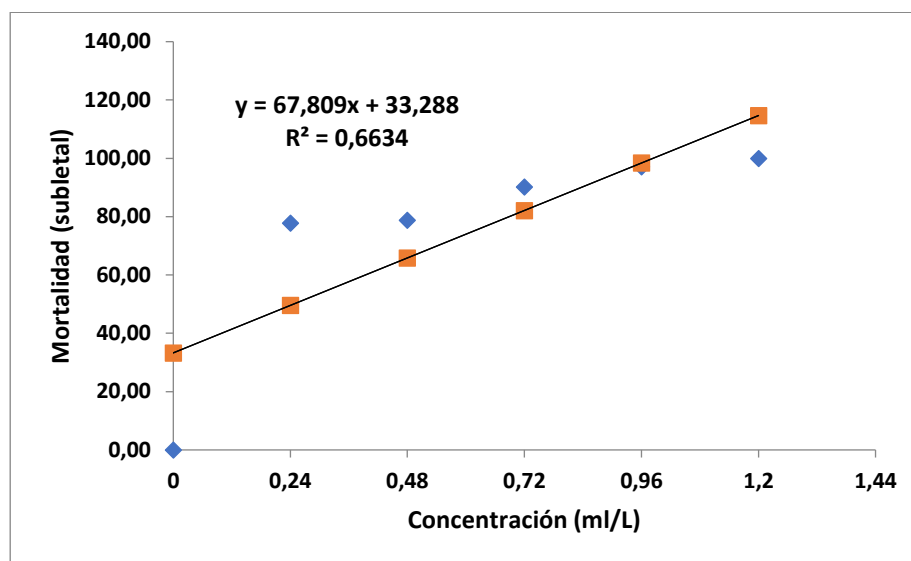


Figura 9 Regresión de la interacción Mortalidad (subletal)-Concentración (mg/l) para adultos de *S. zeamais* sometidos a seis concentraciones de aceite de neem, bajo condiciones de laboratorio.

Fuente: autor

9.7.2 Efecto subletal del aceite de la cipermetrina

La prueba de Tukey (Tabla 11) mostró que hay diferencias significativas en las mortalidades causadas por un efecto subletal de la cipermetrina entre las distintas concentraciones. Las concentraciones más altas (200 y 160 mg/L) presentaron mortalidades significativamente diferentes ($p \leq 0,05$), mayores en comparación con las concentraciones más bajas (80 y 40 mg/L) y el testigo absoluto (0.00 mg/L).

Tabla 11 Prueba de medias de Tukey para los porcentajes de mortalidad por efecto subletal a adultos de *S. zeamais* sometidas a seis tratamientos (concentraciones) de cipermetrina, bajo condiciones de laboratorio.

Tratamiento	N	Mortalidad	Probit
-------------	---	------------	--------



(mg/L)		(%)	
200	5	100,00 a	0,00
160	5	93,04 a	9,78
120	5	84,47 ab	10,48
80	5	72,04 bc	12,64
40	5	62,93 c	16,66
0,00	5	0,00 d	0,00

La ecuación de regresión $y = 0,43x + 25,69$ describe la relación lineal entre la concentración de cipermetrina (x) y la mortalidad observada (y), donde la pendiente de 0,43 indica que cada incremento de 1 mg/L en la concentración de cipermetrina resulta en un aumento del 0,43% en la mortalidad de la plaga. El intercepto, 25,69, sugiere que en ausencia de tratamiento (cuando la concentración es cero), la mortalidad esperada sería del 25,69% (Figura 10).

El coeficiente de determinación (R^2) de 0,79 indica que el 79% de la variabilidad en la mortalidad observada puede explicarse por las variaciones en la concentración de cipermetrina. Esto sugiere una relación fuerte entre la concentración de cipermetrina y la mortalidad. Sin embargo, un 21% de la variabilidad en la mortalidad no está explicada por la concentración de cipermetrina, lo que indica la presencia de otros factores que pueden estar influyendo en la mortalidad.

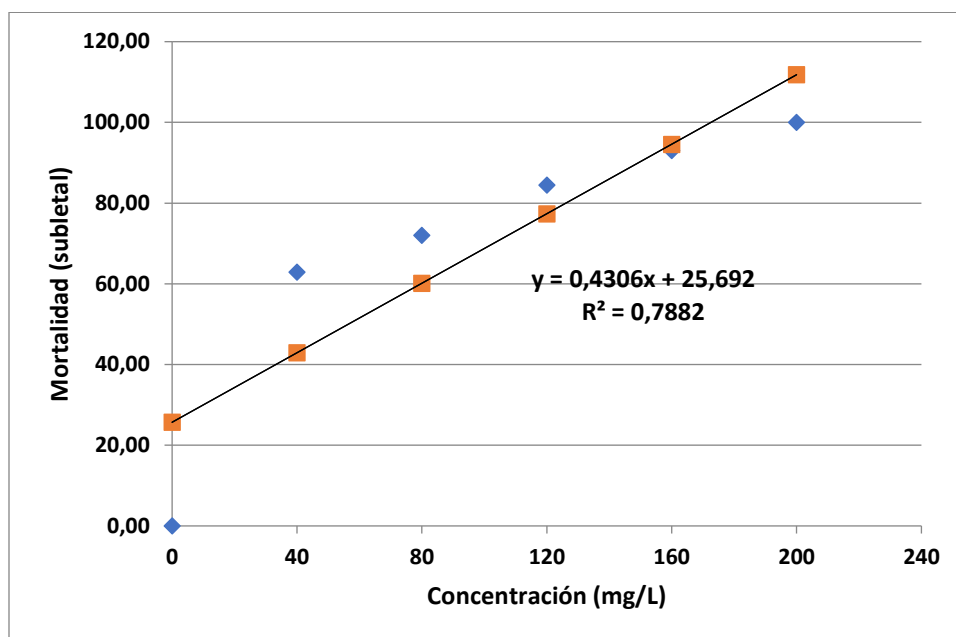


Figura 10 Regresión de la interacción Mortalidad (subletal)-Concentración (mg/l) para adultos de *S. zeamais* sometidos a seis concentraciones de cipermetrina, bajo condiciones de laboratorio.
Fuente: autor

10. CONCLUSIONES

La cipermetrina y el aceite de neem son efectivos en el control de *S. zeamais* a altas concentraciones. La cipermetrina presenta una eficacia consistentemente alta incluso a concentraciones más bajas, mientras que el aceite de neem, aunque efectivo, muestra una mayor variabilidad a concentraciones reducidas. Estos resultados destacan la importancia de considerar tanto la eficacia inmediata como los posibles efectos subletales y la resistencia a largo plazo en los programas de manejo integrado de plagas (MIP).

Ambos tratamientos son efectivos para el control de *S. zeamais*, pero el aceite de neem requiere una concentración significativamente menor para alcanzar la CL_{50} . El aceite de neem



presenta ventajas ambientales y de seguridad en comparación con la cipermetrina. Se podría considerar el uso del aceite de neem como una alternativa viable y sostenible para el control de *S. zeamais*, especialmente en sistemas de manejo integrado de plagas en granos almacenados, donde se busca minimizar la inocuidad de los alimentos.

Comparando ambos insecticidas, es evidente que tanto la cipermetrina como el aceite de neem son efectivos en el control de plagas a altas concentraciones, con TL_{50} de 12 horas. Sin embargo, la eficacia del aceite de neem disminuye significativamente a bajas concentraciones en comparación con la cipermetrina, que, aunque muestra una reducción en la velocidad de mortalidad, no es tan pronunciada como en el caso del aceite de neem.

Los tratamientos tuvieron efectos subletales impactando a los adultos expuestos en su descendencia. Teniendo en cuenta la exposición al aceite de neem y a la cipermetrina pudo haber afectado la viabilidad de los huevos y larvas ya que los resultados del bioensayo arrojaron una menor emergencia de adultos (F1) de *S. zeamais*.

En cuanto al efecto subletal de la cipermetrina y el aceite de neem muestran una relación positiva y significativa con la mortalidad de la plaga, con pendientes de regresión de 0,43 y 67,81, respectivamente, indicando una eficacia gradual y alta. Los coeficientes de determinación de 0,79 para la cipermetrina y 0,66 para el aceite de neem sugieren relaciones fuertes y moderadamente fuertes, aunque no exclusivas, indicando la necesidad de considerar otros factores en futuros estudios. Los resultados apoyan el uso de ambos productos como herramientas efectivas en el manejo integrado de plagas.



11. RECOMENDACIONES

Para maximizar la eficacia en el control de *S. zeamais*, se recomienda utilizar cipermetrina a concentraciones más bajas, ya que sigue mostrando alta efectividad, o aceite de neem a concentraciones altas. Además, es crucial monitorear la resistencia y considerar los efectos subletales en los programas de manejo integrado de plagas (MIP) para asegurar un control sostenible a largo plazo.

Dado que el aceite de neem es efectivo a una concentración menor y presenta ventajas ambientales, se recomienda su uso como una alternativa sostenible a la cipermetrina en sistemas de manejo integrado de plagas en granos almacenados. Esto puede contribuir a minimizar los riesgos de inocuidad de los alimentos y mejorar la seguridad ambiental.

Para mantener un control efectivo de plagas, es recomendable utilizar cipermetrina en situaciones donde se requiera una respuesta rápida y consistente a bajas concentraciones, y aceite de neem en aplicaciones donde se pueden tolerar concentraciones más altas. Este enfoque puede optimizar el control de plagas al balancear la eficacia inmediata con consideraciones ambientales.

Se recomienda investigar más a fondo los efectos subletales de ambos tratamientos en la descendencia de *S. zeamais*, ya que tanto la cipermetrina como el aceite de neem han mostrado impactar la viabilidad de huevos y larvas. Esto puede ser clave para desarrollar estrategias de control que reduzcan la población de la plaga a largo plazo.

Para futuros estudios y aplicaciones prácticas, es importante considerar no solo la mortalidad directa, sino también los efectos subletales de la cipermetrina y el aceite de neem. La fuerte correlación entre concentración y mortalidad sugiere que ambos productos son herramientas valiosas en el manejo integrado de plagas, pero otros factores deben ser considerados para optimizar los resultados.



Analizar el costo-beneficio de utilizar cipermetrina versus aceite de neem considerando factores económicos y ecológicos.

12. BIBLIOGRAFÍA:

- Biswas, K. y Chattopadhyay, I. (2002). Neem: un árbol para resolver problemas globales. *Ciencia actual*, 82(11), 1306-1312.
- Bradbury, S.P. and J.R. Coats, 1989. Comparative toxicology of the pyrethroid insecticides. *Res. Rev.* 108:133-178.
- Cámara de la Industria de Alimentos de la ANDI, (2023). Informe anual sobre la industria de alimentos en Colombia



- Fenalce. (2020). Informe de Producción Agrícola. Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas.
- Fernández, J. (2024). Azadiractina: Principal toxina encontrada en el neem y su actividad pesticida. El Nemm; propiedades y aplicaciones.
- Finney, D., (1952). Probit analysis: a statistical treatment of the sigmoid response curve, Cambridge University Press, Cambridge.
- Gómez Herrera, H. A., González Mejía, O., & González Cortázar, J. C. (2018). Vegetales pulverizados para el manejo de *Sitophilus zeamais* Motschulsky en almacenamiento. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 9(4), 787–798. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i4.1396>
- González, L. (2024). La calidad del trigo afectada por *Sitophilus Zeamais* S. Revista de Entomología y Agricultura.
- Guettal S., Bio Tine S. S., Tine-Djebbar F., y Soltani N. Repellency and toxicity of azadirachtin against granary weevil *Sitophilus granarius* L. (Coleoptera: Curculionidae). Agriculture International, 2021. {hal-03169471}
- Iannacone J., Alvarino L., Ayala H., Salazar N. (2008). Toxicidad de nueve plantas y de la cipermetrina en gorgojos de productos almacenados y en la pulga del agua *Daphnia magna* en el Perú. Biotempo 2008, Volumen 8, 26-34. https://www.researchgate.net/publication/261596717_Toxicidad_de_nueve_plantas_y_de_la_cipermetrina_en_gorgojos_de_productos_almacenados_y_en_la_pulga_del_agua_Daphnia_Magna_en_el_Peru
- Isman, M. B. (2006). Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. Annual Review of Entomology, 51, 45-66.



kgmber, a. (s/f). Biología y ecología del árbol de nim (*Azadirachta indica* a. juss.) extracción, medición, toxicidad y potencial de crear resistencia. zamorano.edu. recuperado el 27 de octubre de 2023, de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/78acbce8-eed3-4a8b-af5e-a961fa37d006/content>.

Koul, O. y Wahab, S. (2005). *Neem: hoy y en el nuevo milenio*. Dordrecht: Editores académicos de Kluwer. [ISBN: 978-1402033775]

Li W Q, Jiang C H, Chu S S, Zuo M X and Liu Z L. 2010. Chemical composition and toxicity against *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum* of the essential oil of *Murraya exotica* aerial parts. *Molecules* 15(8): 5831–39. López, J. L. (2024). El gorgojo del maíz: Importancia económica y sanitaria en la agricultura. *Revista de Agricultura Sostenible*.

Moura, E. D. S., Faroni, L. R. D., Heleno, F. F., & Rodrigues, A. A. Z. (2021). Toxicological stability of *Ocimum basilicum* essential oil and its major components in the control of *Sitophilus zeamais*. *Molecules* (Basel, Switzerland), 26(21), 6483. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules26216483>. PMID:34770901.

Oyediji, A. O., Okunowo, W. O., Osuntoki, A. A., Olabode, T. B., & Ayo-folorunso, F. (2020). Insecticidal and biochemical activity of essential oil from *Citrus sinensis* peel and constituents on *Callosobruchus maculatus* and *Sitophilus zeamais*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 168, 104643. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104643>. PMID:32711776.

Pérez D., Cerna V. M., Landeros F. E., Jerónimo, Ochoa F. J., y María Y. (2014). Evaluación de tres insecticidas para el control del gorgojo confuso de la harina *Tribolium confusum* Duval, bajo condiciones de laboratorio. (México) <https://www.sidalc.net/search/Record/KOHA-OAI-UAAAN:63131/Description>



Pérez, J. (2022). Manejo de gorgojos en granos almacenados. *Revista de Ciencias Agrícolas*.

Kumar S., Mahapatro G. K., Yadav D. K., Tripathi K., Koli P., Kaushik P., Sharma K., and Nebapure S. (2022). Essential oils as green pesticides: An overview. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 92 (11): 1298–1305. <https://doi.org/10.56093/ijas.v92i11.122746>

Schmutterer, H. (2002). El árbol de neem: *Azadirachta indica* A. Juss. y otras plantas meliáceas. Fundación Neem. [ISBN: 978-3921085410]

Trematerra, P., Fleurat-Lessard, F., Lopez, M., & Navarro, S. (2013). Integrated pest management of stored grains in the European Union: protection of grain quality, food safety, and the environment. *Journal of stored products research*, 55, 74-86.

Trinidad C., V. L.; y Gaona M., E. F. (2011). Acción insecticida y repelente del Neem sobre adultos de *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae) en granos de poroto (*Vigna unguiculata*). (Paraguay) *Investig. Agrar.* vol.13 no.2 San Lorenzo Dec. 2011. http://scielo.iics.una.py/scielo.php?pid=S2305-06832011000200007&script=sci_arttext

Volumen de producción de trigo en Colombia. (s/f). Statista. Recuperado el 1 de junio de 2024, de <https://es.statista.com/estadisticas/1337829/colombia-produccion-de-trigo/>

Yimer, A., & Castellanos, R. (s/f). Ciencia Unisalle Ciencia Unisalle. Edu.co. Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1062&context=ingenieria_agronomica.



13. ANEXOS

Anexo 1 Instrumento para la toma de datos de Mortalidad de *Sitophilus zeamais* (Motschulsky).



Concentración	Repetición	Recipiente	Día 1 am		Día 1 pm		Día 2 am		Día 2 pm		Día 3 am		Día 3 pm		Día 4 am		Día 4 pm	
			Vivos	Muertos	Vivos	Muertos	Vivos	Muertos	Vivos	Muertos	Vivos	Muertos	Vivos	Muertos	Vivos	Muertos	Vivos	Muertos
	1	1																
		2																
		3																
		4																
		5																
	2	6																
		7																
		8																
		9																
		10																
	3	11																
		12																
		13																
		14																
		15																
	4	16																
		17																
		18																
		19																
		20																
	5	21																
		22																
		23																
		24																
		25																

Anexo 2 Multiplicación de gorgojos *Sitophilus zeamais* (Motschulsky)





Anexo 3 Multiplicación de *Sitophilus zeamais* en diferentes recipientes para obtener gorgojos adultos de 7 días o menos aptos para el ensayo.



Anexo 4 Montaje del ensayo rotulados por la concentración y numero de recipiente.





Anexo 5 Cantidad de pasta adicionada por recipiente, 2 trozos de 2cm de pasta tallarín en cada recipiente.

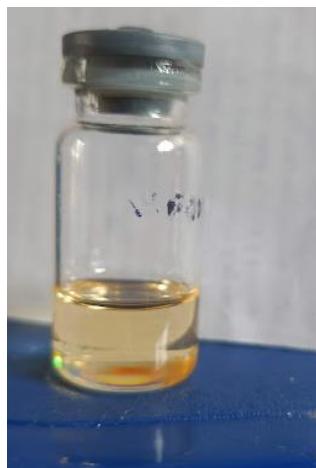


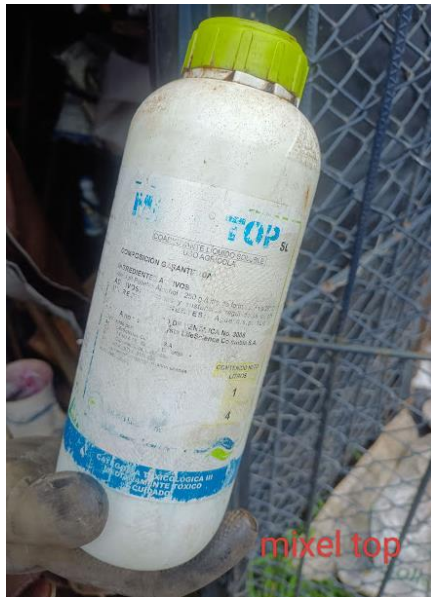


Anexo 6 Goma espuma adherida a la tapa de los recipientes, donde se agregó el aceite Neemazal y la cipermetrina.



Anexo 7 Productos usados en el ensayo.







Anexo 8 Cálculos de concentraciones

Aceite neemabul y Cipermetrina

- $1.2 \text{ ml} / 1000 \text{ ml} = 100\% = 20 \text{ gotas} \quad \begin{array}{l} \text{--- } 1000 \text{ ml} \\ \times \quad \text{--- } 3 \text{ ml} \end{array}$
 $X = 0.06 \rightarrow 1 \text{ gota}$
- $V_1 C_1 = V_2 C_2$
 $V_1 \cdot 100\% = 3 \text{ ml} \cdot 80\%$
 $V = \frac{3 \text{ ml} \cdot 80\%}{100\%}$
 $V = 2.4 \text{ ml} \text{ Aforo} + \text{H}_2\text{O}$
- $V_1 C_1 = V_2 C_2$
 $V_1 \cdot 100\% = 3 \text{ ml} \cdot 60\%$
 $V = \frac{3 \text{ ml} \cdot 60\%}{100\%}$
 $V = 1.8 \text{ ml} \text{ Aforo} + \text{H}_2\text{O}$
- $V_1 C_1 = V_2 C_2$
 $V_1 \cdot 100\% = 3 \text{ ml} \cdot 40\%$
 $V = \frac{3 \text{ ml} \cdot 40\%}{100\%}$
 $V = 1.2 \text{ ml} \text{ Aforo} + \text{H}_2\text{O}$
- $V_1 C_1 = V_2 C_2$
 $V_1 \cdot 100\% = 3 \text{ ml} \cdot 20\%$
 $V = \frac{3 \text{ ml} \cdot 20\%}{100\%}$
 $V = 0.6 \text{ ml} \text{ Aforo} + \text{H}_2\text{O}$



Cantidad a adicionar x gotas

• $1\text{ml} \rightarrow 20\text{ gotas}$
 $2.4\text{ml} \rightarrow x$
 $x = 48\text{ gotas}$ Neemazal 80%
cipermetrina

$1\text{ml} \rightarrow 20\text{ gotas}$
 $0.6\text{ml} \rightarrow x$
 $x \rightarrow 12\text{ gotas}$ agua 80%

• $1\text{ml} \rightarrow 20\text{ gotas}$
 $1.8\text{ml} \rightarrow x$
 $x = 36\text{ gotas}$ Neemazal 60%
cipermetrina

$1\text{ml} \rightarrow 20\text{ gotas}$
 $1.2\text{ml} \rightarrow x$
 $x = 24\text{ gotas}$ agua 60%

• $1\text{ml} \rightarrow 20\text{ gotas}$
 $1.2\text{ml} \rightarrow x$
 $x = 24\text{ gotas}$ Neemazal 40%
cipermetrina

$1\text{ml} \rightarrow 20\text{ gotas}$
 $1.8\text{ml} \rightarrow x$
 $x = 36\text{ gotas}$ agua 40%

• $1\text{ml} \rightarrow 20\text{ gotas}$
 $0.6\text{ml} \rightarrow x$
 $x = 12\text{ gotas}$ Neemazal 20%
cipermetrina

$1\text{ml} \rightarrow 20\text{ gotas}$
 $2.4\text{ml} \rightarrow x$
 $x = 48\text{ gotas}$ Agua 20%



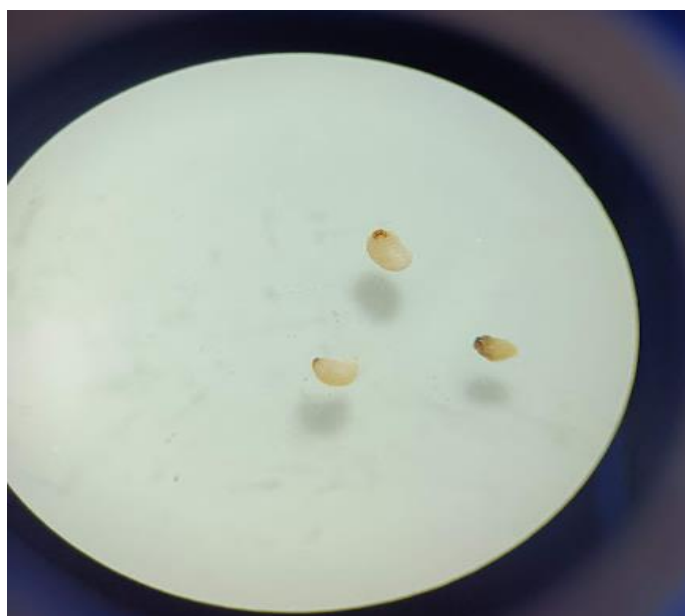
Anexo 9 Preparación de concentraciones

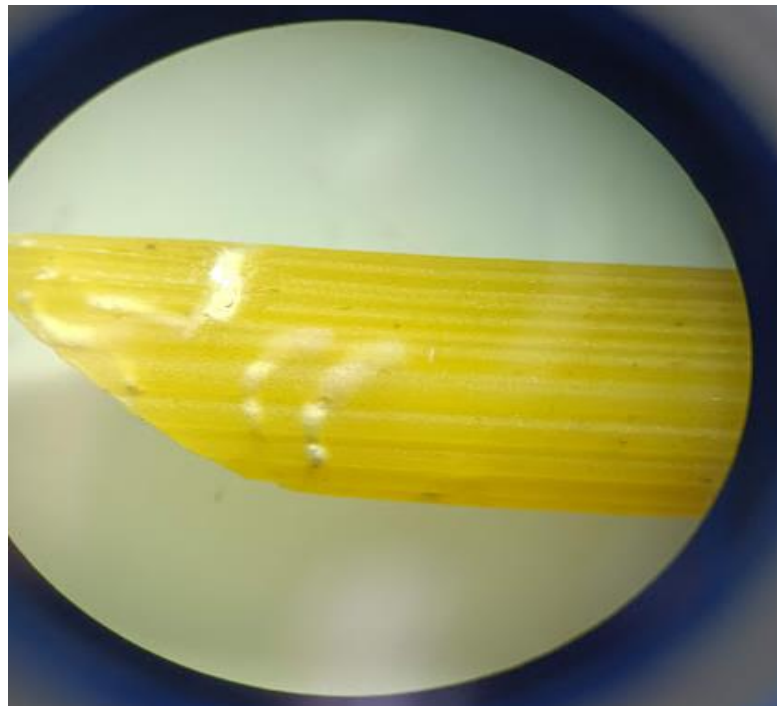
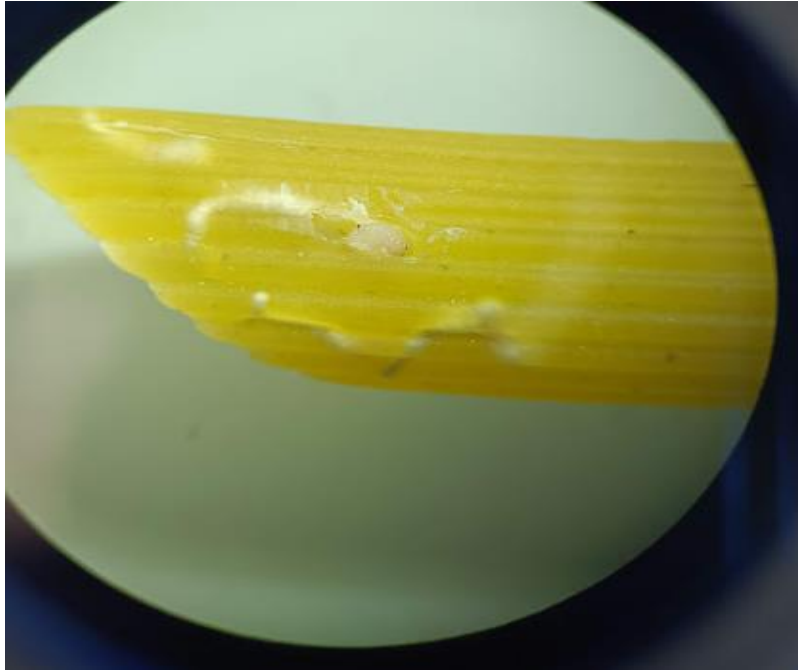






Anexo 10 Observación de galerías de gorgojos adultos, larvas y pupas de *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) de una parte de la cría inicial.













Anexo 11 Observación y toma de datos del ensayo

