

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA



Susceptibilidad de poblaciones de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) a insecticidas sintéticos y de acción bacteriana

Johan Stiven Mora Roa

Daniel Arbey Rodríguez Manosalva

Programa de Ingeniería Agronómica

2024

Susceptibilidad de poblaciones de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) a insecticidas sintéticos y de acción bacteriana

Trabajo de grado bajo la modalidad de investigación presentado como requisito para optar el título de Ingeniero Agrónomo

Johan Stiven mora roa 1005336017

Daniel Arbey Rodríguez Manosalva 1093799882

Orientador

Dr. Oscar Fernando Santos Amaya

Programa de Ingeniería Agronómica

16/12/2024

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a dios por permitirnos compartir 24 años y 11 meses con nuestro hijo Daniel Rodríguez y a su hermano por acompañarlo y apoyarlo, a las familias Manosalva Olivares y familia Rodríguez Niño y a la Universidad de Pamplona. A sus profesores que hicieron parte fundamental de la formación de su carrera y un agradecimiento especial a su orientador de trabajo de grado Oscar Fernando Santos Amaya. A sus compañeros que cada uno formo parte fundamental de su vida y su carrera y en especial a sus compañeros Iker, Johan, Ana María y Brayan y entre otros muy buenos compañeros y toda la familia que siempre de una u otra forma estuvieron a su lado apoyándolo en el proceso.

La vida solo es posible con una chispa de amor y bendición por eso primero quisiéramos darle gracias a Dios por permitirnos estar en este mundo, gracias a mi mamá Marcela, papá Asdrúbal, abuelas Blanca y Gloria y Juan Carlos, a mi compañera Gabriela e hija Helena y a todos los compañeros que nos acompañaron en esta travesía que es la formación profesional la cual nos forja de una u otra manera para ser profesionales y más que ingenieros agrónomos ser persona.

Un entero agradecimiento a mi compañero de universidad, de camino profesional y personal el cual me deja un vacío profundo, pero al igual un legado del amor por el campo con su carácter, palabras certeras y compromiso me acompañó hasta donde Dios lo permitió muchas gracias compa Daniel Arbey Rodríguez Manosalva a usted y su familia.

Quisiera darle unas infinitas gracias a nuestro orientador Oscar Fernando Santos Amaya, el cual nos guio con paciencia, empeño, actitud y amor a la investigación, durante este camino del trabajo de grado, no solo nos orientó y enseñó de una manera detallada y certera, sí no que también, nos mostró un camino diferente en la vida profesional, la investigación y la academia. Muchas gracias a nuestro compañero Juan Hernández el cual estuvo dedicado en nuestro trabajo y nos aportó experiencia, conocimiento y apoyo cuando lo necesitamos.

DEDICATORIA

En memoria de Daniel Arbey Rodríguez Manosalva

Tus padres Álvaro Rodríguez y Shirley Manosalva

HIJO: Como tu decías “Podrán robarme las ideas, pero jamás el talento dejando huella y sin pisar a nadie” y así fue dejaste una huella imborrable en nuestros corazones tu legado siempre estará presente en nuestro hogar. Gracias por enseñarle a muchos jóvenes el amor por el campo por ser el motivo de inspiración y perseverancia para tu hermano Yeimer Rodríguez y a darnos la fuerza para seguir con tus sueños en la finca que amabas tanto y le dedicaste tanto tiempo y esfuerzo.

Lleras a este momento de recibir su título Universitario fue uno de tus más grandes sueños y anhelos, pero los planes de dios fueron que estuvieras a su lado. Porque dios es el único que sabe cuándo es nuestro momento de partir gracias hijo por tanto amor te amamos infinitamente.

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN	8
2. INTRODUCCION	10
3. PROBLEMA	11
3.1 Planteamiento problema	11
3.2 Justificación.....	12
3.3 Delimitación.....	13
4. OBJETIVOS	13
4.1 Objetivo General	13
4.2 Específicos.....	13
5. MARCO TEORICO	14
5.1 Antecedentes	14
5.2 Marco Contextual	16
5.2.1 Localización.....	16
6. BASES CONCEPTUALES.....	17
7. MARCO LEGAL.....	24
7.1 Regulación institucional.....	24
8. METODOLOGIA.....	25
9. RESULTADOS.....	30
10. DISCUSIÓN.....	39
11. CONCLUSIONES	44
12. RECOMENDACIONES	45
13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
14. ANEXOS.....	54

14.1 Anexo 1.....	¡Error! Marcador no definido.
14.2 Anexo 2.....	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa del municipio de Pamplona.....	16
Figura 2: Ciclo biológico de <i>S. frugiperda</i> . Duración de cada etapa.)	18
Figura 3: Distribución mundial del gusano cogollero <i>Spodoptera frugiperda</i>). 19	
Figura 4. Mortalidad a los 7 días de cuatro poblaciones de <i>S. frugiperda</i> alimentadas con segmentos de hojas de maíz (4 × 5 cm.) tratadas con diferentes concentraciones del insecticida Bt-Biox.	31
Figura 5. Aumento promedio de peso (%) larval a los 7 días de cuatro poblaciones de <i>S. frugiperda</i> alimentadas con segmentos de hojas de maíz (4 × 5 cm.) tratadas con diferentes concentraciones del insecticida Bt-Biox.	32

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Insecticidas que se van implementar en los bioensayos.	27
Tabla 2. Distribución de los tratamientos	28
Tabla 3. Susceptibilidad de cuatro poblaciones de <i>S. frugiperda</i> al insecticida Fipronil.	33
Tabla 4. Susceptibilidad de cuatro poblaciones de <i>S. frugiperda</i> al insecticida Clorpirifos.	33

Tabla 5. Susceptibilidad de cuatro poblaciones de <i>S. frugiperda</i> al insecticida Tiametoxam + Lambdacihalotrina.	35
Tabla 6. Susceptibilidad de cuatro poblaciones de <i>S. frugiperda</i> al insecticida Tiametoxam.....	36
Tabla 7. Susceptibilidad de cuatro poblaciones de <i>S. frugiperda</i> al insecticida Lambdacihalotrina	37
Tabla 8. Susceptibilidad de cuatro poblaciones de <i>S. frugiperda</i> al insecticida Metomilo.....	38
Tabla 9. Susceptibilidad de cuatro poblaciones de <i>S. frugiperda</i> al insecticida Benzoato de emamectina.....	39

1. RESUMEN

El gusano cogollero, *S. frugiperda*, es una plaga agrícola de importancia mundial. Poblaciones de esta especie han perdido la susceptibilidad a todos los grupos químicos de insecticidas usados para su control, incluyendo las toxinas de *Bacillus thuringiensis*. A pesar de ello, en Colombia existen pocos estudios que hayan estudiado la susceptibilidad de poblaciones de esta especie a los insecticidas usados para su control. Por lo anterior, en este estudio se caracterizó la susceptibilidad de cuatro poblaciones de *S. frugiperda* provenientes de diferentes lugares geográficos de Colombia (Casanare, Pamplonita, Cacota y Bucaramanga) a los ingredientes activos *B. thuringiensis*, Fipronil, Clorpirifos, Tiametoxam + Lambdacihalotrina, Tiametoxam, Lambdacihalotrina, Metomilo y Benzoato de emamectina. Los resultados indican que todas las poblaciones presentan baja susceptibilidad al insecticida con ingrediente activo *B. thuringiensis* y, moderada y alta susceptibilidad a los otros insecticidas. Lo anterior, contrasta con los reportes no documentados de resistencia en campo de agricultores y asistentes técnicos de *S. frugiperda* en las regiones donde se recolectaron las poblaciones. Se discuten los resultados en términos de manejo de la resistencia de *S. frugiperda* a los insecticidas usados para su control.

Palabras clave: Resistencia, control químico, control biológico, concentraciones, gusano cogollero

ABSTRACT

The fall armyworm, *S. frugiperda*, is an agricultural pest of global importance. Populations of this species have lost susceptibility to all chemical groups of insecticides used for its control, including *Bacillus thuringiensis* toxins. Despite this, in Colombia there are few studies that have studied the susceptibility of populations of this species to the insecticides used for its control. Therefore, in this study the susceptibility of four populations of *S. frugiperda* from different geographic locations in Colombia (Casanare, Pamplonita, Cacota and Bucaramanga) to the active ingredients B. thuringiensis, Fipronil, Chlorpyrifos, Thiamethoxam + Lambda-cyhalothrin, Thiamethoxam, Lambda-cyhalothrin, Methomyl and Emamectin benzoate was characterized. The results indicate that all populations show low susceptibility to the insecticide with active ingredient B. thuringiensis and moderate and high susceptibility to the other insecticides. This contrasts with undocumented reports of resistance in the fields of farmers and technical assistants to *S. frugiperda* in the regions where the populations were collected. The results are discussed in terms of management of *S. frugiperda* resistance to the insecticides used for its control.

Keywords: Resistance, chemical control, biological control, concentrations, fall armyworm.

2. INTRODUCCION

El gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), es endémico de las regiones tropicales-subtropicales del continente americano (Pitre ,1988; Capinera, 2000). Se alimenta de al menos 186 plantas hospederas y es una plaga de importancia económica, afectando cultivos como el maíz, el sorgo y el arroz (Casmuz et al., 2010). El ataque de plagas es otro factor que provoca disminución del rendimiento y calidad del grano de maíz, siendo el gusano cogollero una de las más importantes (Casmuz et al., 2010). Si no se controla, las poblaciones de esta especie tienen el potencial de causar una reducción del rendimiento del 45% en el maíz (Hruska y Gladstone, 1988).

Durante décadas, la principal herramienta para el control del gusano cogollero ha sido el uso de insecticidas sintéticos (Young, 1979; Yu, 1991, 1992; Al-Sarar et al., 2006; Blanco et al., 2010). La dependencia de los plaguicidas para controlar esta plaga ha llevado al desarrollo de resistencia a los insecticidas en muchas regiones (Gutiérrez y Mota, 2019). Para poblaciones de esta especie se ha reportado la pérdida de susceptibilidad de al menos 29 ingredientes activos de insecticidas en las Américas (Mota-Sanchez y Wise, 2017).

Una de las formas de mitigar el problema de la resistencia en poblaciones de *S. frugiperda* es por medio de la caracterización de la susceptibilidad de sus poblaciones a los principales plaguicidas usados para su control (Van den Berg & du Plessis, 2022), esto permitiría conocer a cuáles productos las poblaciones han perdido la susceptibilidad y, así, estructurar sistemas de rotación de plaguicidas con criterio técnico (Thirawut et al., 2023).

El objetivo de esta propuesta de investigación fue la caracterización de la susceptibilidad de poblaciones de *S. frugiperda* a insecticidas sintéticos y de acción bacteriana, que brindaron la información necesaria la cual nos guía para el diseño de las estrategias de manejo de la resistencia a esta plaga en poblaciones de Colombia.

3. PROBLEMA

3.1 Planteamiento problema

El gusano cogollero del maíz, *S. frugiperda*, es la principal plaga del cultivo de maíz en Colombia (García-pulido, 1984). Los estados inmaduros de este artrópodo se alimentan del cogollo de la planta lo que en altas densidades poblacionales afecta negativamente el desarrollo, crecimiento y producción del cultivo (Britz, 2020). Una de las herramientas más utilizada para el control de *S. frugiperda* es el control químico, sin embargo, el mal uso de los plaguicidas ha causado el surgimiento de poblaciones resistentes (Giménez et al., 2020). La resistencia en esta especie es un problema limitante en numerosos sistemas de producción y se ha presentado prácticamente con todos los insecticidas registrados disponibles para su control (Samanta et al., 2023). A pesar de esto, en Colombia se tiene poco conocimiento acerca de este problema, por ejemplo, en departamentos como Norte de Santander, los agricultores han manifestado fallas de control a los plaguicidas, causando que estos deban aumentar las dosis de los productos y mezclar más de un ingrediente activo en una aplicación, generando con ello, aumento en los costos de producción y contaminación ambiental, sin obtener resultados positivos en los cultivos.

El primer paso para mitigar el problema de la resistencia en *S. frugiperda* es identificar la pérdida de la susceptibilidad de sus poblaciones a los principales plaguicidas usados para su control (Posos-Parra et al., 2024), lo que permitiría estructurar sistemas de rotación de plaguicidas con criterio técnico (Wu et al., 2023). De no existir un estudio que establezca la susceptibilidad de *S. frugiperda* a los principales plaguicidas usados en el cultivo de maíz en el departamento en Colombia, será difícil implementar estrategias de manejo eficientes para esta plaga, dentro del contexto de la producción agrícola con altos rendimientos y bajo impacto ambiental. Por lo anterior, el presente trabajo responde y genera información para la comunidad agrícola y científica en relación con la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es la susceptibilidad de *S. frugiperda* a los diferentes plaguicidas usados para su control en plantaciones de maíz en poblaciones de Colombia?

3.2 Justificación

El cultivo de maíz *Zea mays* L., hace parte de un importante sistema productivo de Colombia, el cual, genera ingresos para aproximadamente 200.000 familias (Gómez y Ocampo, 2018). En Colombia el cultivo del maíz representa cerca del 10.1% de los cultivos más sembrados en el país con un aproximado de 548.754 hectáreas sembradas para el año 2022. En norte de Santander se tiene un área de siembra de maíz de unas 55|94.5 hectáreas sembradas para el 2022 (EVAS UPRA 2019- 2022).

Una de las principales plagas que amenaza la viabilidad del cultivo del maíz es *S. frugiperda* (Britz, 2020), la cual, mediante su hábito alimentar defoliador afecta negativamente el desarrollo de las plantas, disminuyendo así su producción (Capinera, 2000). El gusano cogollero está catalogado como estrategia “r”, lo que los hace acreedores de unas características bioecológicas que hacen difícil su manejo, por ejemplo, presentan ciclo de vida corto, altas tasas de reproducción y, además, se desarrollan en el cogollo de las plantas de maíz, donde se protegen de depredadores, plaguicidas y condiciones climáticas adversas (Palli et al., 2023). Esto ha ocasionado, que los agricultores y asistentes técnicos se alarmen con su presencia y tomen medidas aceleradas para su control, basadas fundamentalmente en el uso de productos químicos (Mao et al., 2023), lo cual, en muchos casos no ha sido exitoso, debido a que poblaciones de *S. frugiperda* han desarrollado resistencia a casi todos los insecticidas disponibles para su control (Samanta et al., 2023).

En el mundo los problemas de resistencia de *S. frugiperda* a plaguicidas han sido ampliamente estudiados (Kenis et al., 2022; Tay et al., 2023;), sin embargo, en Colombia estudios sobre la resistencia de esta especie a los plaguicidas ha recibido poca atención, por ejemplo, a pesar de que agricultores de maíz en Norte de Santander han reportado fallas de control, se conoce la susceptibilidad de las poblaciones *S. frugiperda* a los diferentes ingredientes activos usados para su control en esta región. Esta situación, toma mayor relevancia, dadas las consecuencias que origina el uso de plaguicidas que no ejercen control sobre poblaciones *S. frugiperda*, como, por ejemplo, aumento en los costos de producción, baja rentabilidad, alta contaminación al medio

ambiente y en algunas oportunidades intoxicaciones de agricultores y trabajadores. Las anteriores situaciones en algunos casos han causado la deserción por parte del agricultor a continuar con los cultivos, poniendo en peligro, el bienestar de las familias que dependen económicamente de él. No actuar rápidamente sobre estos problemas pondría en peligro la viabilidad del cultivo y con ello la sostenibilidad de un importante renglón de la agricultura de Norte de Santander.

Dado el escenario anterior, se hizo necesario el establecimiento de un estudio de la susceptibilidad de *S. frugiperda* a los principales plaguicidas usados para su control en el cultivo de maíz en el departamento de Norte de Santander, ya que esta información, es la base para sobre la cual se sustenta el manejo integrado de la resistencia a plaguicidas. Así mismo, este conocimiento permite ser oportunos, eficaces y racionales en las aplicaciones de plaguicidas y, la unión de estos factores se traducirá en el mejoramiento de la productividad y competitividad del cultivo.

3.3 Delimitación

La investigación que se realizó es de tipo experimental cuantitativa dando resultado a la caracterización de la susceptibilidad de *S. frugiperda* a diferentes insecticidas. Los bioensayos se realizaron en el laboratorio de sanidad vegetal de la Universidad de Pamplona, ubicada en el municipio de Pamplona, Norte de Santander, con poblaciones de gusano cogollero procedentes de los municipios de Pamplonita, Cacota, Casanare y Bucaramanga.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Caracterizar la susceptibilidad de poblaciones de *Spodoptera frugiperda* a insecticidas sintéticos y de acción bacteriana en 4 municipios de Colombia.

4.2 Específicos

- Establecer la susceptibilidad de poblaciones de *S. frugiperda* a los grupos insecticidas de químicos más usados para su control.

- Determinar la susceptibilidad de poblaciones de *S. frugiperda* a insecticidas comerciales con ingrediente activo *Bacillus thuringiensis* (Berliner).
- Establecer un esquema de rotación de insecticidas con base en la susceptibilidad de las poblaciones de *S. frugiperda* a estos plaguicidas.

5. MARCO TEORICO

5.1 Antecedentes

Nivel Nacional

Tito Bacca; Monje, Jaramillo y Pérez (2018); Realizaron una investigación con el objetivo de evaluar la falla de control de insecticidas utilizados para el manejo de *S. frugiperda* en el departamento de Tolima, donde según los análisis de varianza hubo diferencias significativas entre la mortalidad obtenida utilizando los insecticidas para las tres localidades ($p \leq 0,001$). La resistencia de organofosforados y piretroides que ya se había sido encontrada para esta región no fue registrada en este estudio, posiblemente por el uso de cultivos genéticamente transformados que disminuyen la presión de selección ejercida por los insecticidas. Sin embargo, se reitera la falla de control con las toxinas Cry ya reportada por Zenner de Polanía et al. (2008) y Ríos-Díez et al, (2012).

JD Rios- Diez; Saldamando- Benjumea (2011) realizaron una investigación para evaluar la susceptibilidad de poblaciones de *S. frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) del centro de Colombia a dos insecticidas, metomilo y lambda-cihalotrina: un estudio de la base genética de la resistencia, donde según análisis que la población proveniente del cultivo de arroz no difiere significativamente en la resistencia al metomilo en comparación con la población de maíz, pero desarrolla tolerancia más rápidamente a la lambda-cialotrina. La viabilidad de los huevos de las hembras tratadas también se vio significativamente afectada por el metomilo en cada generación. Rios-Saldamando (2011).

Nivel Internacional

Tejeda-Reyes et al (2014) Hicieron una evaluación de insecticidas en el control de gusano cogollero *S. frugiperda* J.E Smith en el maíz en Cocula, Guerrero México donde se utilizó un diseño de bloques completos al azar con siete tratamientos y cuatro repeticiones esto se llevó a cabo en la localidad de Apipilulco, Cocula, guerrero; en un lote de maíz comercial de la variedad A-7573, al igual usando un análisis estadista del paquete SAS (2008), cuyos resultados fueron que todos los insecticidas evaluados tuvieron un efecto en *S. frugiperda* ($P < 0.05$) en comparación con el testigo absoluto. Así mismo, presentaron una eficacia de control de 45 a 56 % de control a los 21 días después de la aplicación y un promedio de daño no mayor al 20 %. Por otro lado, al examinar el número de larvas en las plantas dañadas en la última evaluación se observó una reducción del 86 al 95 % en los tratamientos evaluados en este experimento.

Cerna-Chávez et al., (2022) En un estudio de revisión sistemática con una recopilación de artículos científicos desde los primeros reportes de resistencia del gusano cogollero. Como hallazgo principal el control de gusano cogollero se ha basado en el uso de insecticidas químicos; esto ha generado que las aplicaciones aumenten sin un control y, por lo tanto, la resistencia de la plaga. Se ha informado de resistencia al gusano cogollero desde 1965; en la actualidad, se ha informado resistencia en poblaciones de esta especie a 33 ingredientes activos en diferentes partes del mundo.

Nivel Regional

Rueda-Adán y Giraldo-Vanegas (2022), realizaron una investigación sobre Virulencia de tres cepas locales de *Bacillus thuringiensis* (Berliner) sobre el gusano cogollero del maíz, bajo condiciones in vitro. Donde se recolectaron tres muestras de suelo, la primera de suelo agrícola con un huerto de lechugas, la segunda muestra de un suelo agrícola con cultivo de papa en la vereda Monte dentro, la tercera muestra colectada en un suelo de bosque de pino, los tres sitios pertenecientes al municipio de Pamplona, Norte de Santander, Colombia. Donde se aislaron las capas e implementaron para la comparación de la mortalidad sobre *S. frugiperda* con las cepas

locales de *B. thuringiensis*. Dicha investigación concluyó que todas las concentraciones de las tres cepas probadas causaron mortalidades del 100% a larvas neonatas de *S. frugiperda*; solamente la concentración 1×10^{10} UFC/ml de la cepa 1 causó el 92% a larvas neonatas, pero sin llegar a ser significativamente diferente de las demás concentraciones.

5.2 Marco Contextual

5.2.1 Localización

Pamplona

El municipio de Pamplona se encuentra en la latitud 7.37565 y longitud -72.64795. Hace parte del continente de América del Sur y está ubicado en el hemisferio norte. (Alcaldía Municipal de Pamplona, Norte de Santander 2024). Pamplona, limita al Norte con Pamplonita y Cucutilla, al sur con los municipios de Cácosta y Mutiscua, al oriente con Labateca y al occidente con Cucutilla. (Figura 1) (Alcaldía Municipal de Pamplona, Norte de Santander 2024).



Figura 1. Mapa del municipio de Pamplona

Fuente: Pamplona Destino Turístico (2011)

Bases Conceptuales

Generalidades del Gusano Cogollero *Spodoptera frugiperda* (J.E. smith).

El gusano cogollero, *S. frugiperda* (J.E. Smith), es un insecto del orden Lepidoptera que presenta generalmente seis estadios larvales, etapa en la cual produce daños severos en los cultivos de interés agrícola, principalmente el maíz, debido a que se alimenta de hojas y tallos tiernos (Jing et al., 2021; Sarkar et al., 2021). Su capacidad de formar grandes poblaciones y su alta tasa de diseminación, convierten a esta especie en una plaga de impacto económico (Jing et al., 2021; Sarkar et al., 2021). Por lo tanto, esta plaga es protagonista de numerosas investigaciones y normalmente en los laboratorios se mantienen poblaciones de diferentes sitios para realizar estudios sobre sus enemigos naturales, resistencias a nuevas y viejas moléculas químicas y su respuesta a cultivos genéticamente modificados (Luna-López, 2013).

Taxonomía del gusano cogollero

- Orden: Lepidoptera
- Familia: Noctuidae
- Género: *Spodoptera*
- Especie: *S. frugiperda*
- Nombre común: Gusano cogollero (ICA, 2003)

Biología y morfología del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith

Los huevos son puestos en grupos o masas en número de 100 o más, protegidos por unas escamas que la hembra adhiere a la masa de huevos para su protección a parasitoides. Individualmente son de forma globosa, estriados radialmente, de color rosado pálido que se torna gris a medida que se aproxima la

eclosión a los dos o tres días de la ovoposición. Las hembras depositan los huevos corrientemente durante las primeras horas de la noche, tanto en el haz como en el envés de las hojas. Las larvas se trasladan a diferentes partes de la planta esto con el fin de buscar más alimento y evitar el canibalismo. Al máximo desarrollo después de 15 a 24 días de nacidas pueden llegar a medir 34 a 44 mm de longitud (ICA, 2003). La cual puede ser variable principalmente por la temperatura y la precipitación (Murúa et al., 2006).

Cuando las larvas alcanzan sus últimos instares buscan el suelo para empupar, (Figura 2). Los adultos vuelan con facilidad durante la noche, siendo atraídos por la luz; son de coloración gris oscura (ICA, 2003).

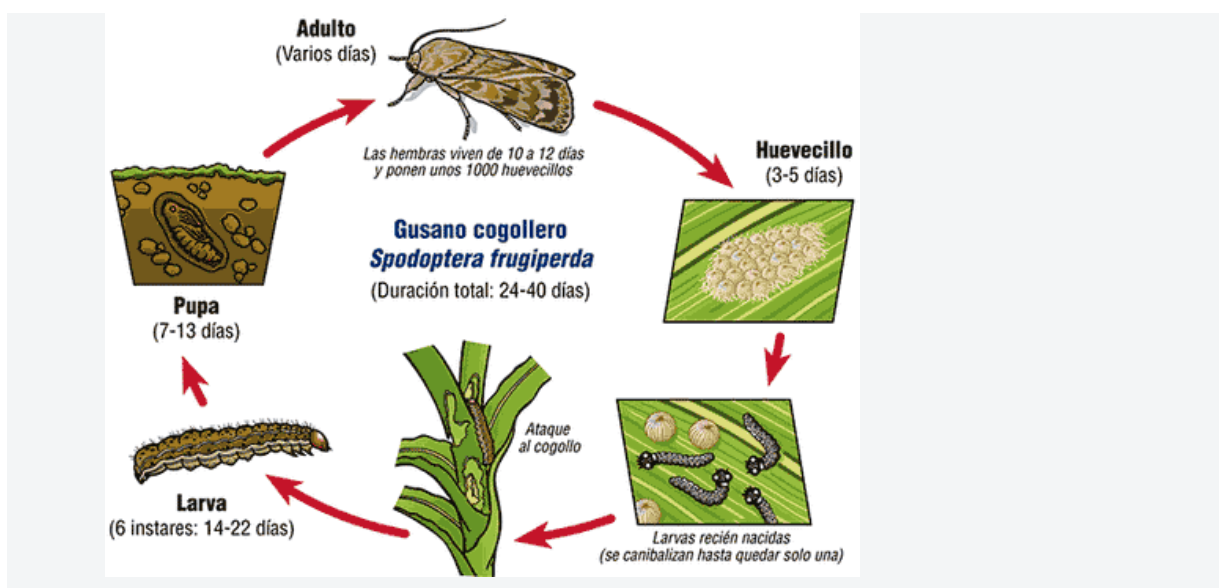


Figura 2: Ciclo biológico de *S. frugiperda*. Duración de cada etapa. (PROAIN 2020)

Distribución Mundial:

Actualmente *S. frugiperda* está presente desde el centro de Norte América hasta el este, extendiéndose por la costa hasta el sureste de Canadá. Además, la plaga está totalmente extendida por Centroamérica y el Caribe y por todo Sudamérica.

Recientemente se ha confirmado su presencia en más de 30 países del continente africano y en 2018, fue encontrada por primera vez en India (Figura 3) (EPPO, 2024).

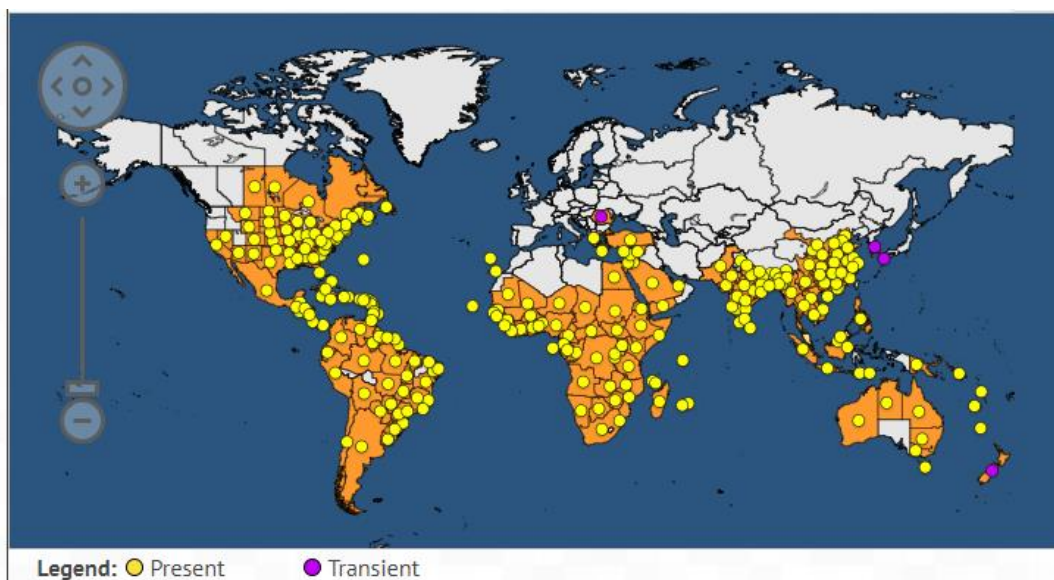


Figura 3: Distribución mundial del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda*. Fuente: (EPPO, 2024)

Daños:

El gusano cogollero *S. frugiperda* generalmente se alimenta del follaje de las plantas, la larva puede comportarse como raspador durante los primeros tres estados, alimentándose de la epidermis de las hojas, lo que ocasiona un daño de ventanilla. En los últimos estados, las larvas se introducen en el cogollo causando daños a las hojas tiernas que luego resultan en hojas con agujeros de tamaño y forma irregular. En infestaciones severas pueden destruir el cogollo (ICA, 2003).

Control biológico:

El cogollero es atacado por varias enfermedades fungosas, que desafortunadamente se desarrollan en épocas de bastante humedad, cuando el ataque de cogollero no es tan severo como en épocas secas (ICA 2003). Al igual que otros agentes biológicos como los Nucleopolyhedrovirus de *Spodoptera*, la cual tiene

especificidad absoluta para las larvas de su huésped natural, y se encuentra entre los baculovirus con mayor actividad insecticida (Muñoz, 1999).

Otros controladores biológicos serían sus enemigos naturales como *Telenomus remus* Nixon y *Trichogramma* spp. Los cuales tienen un comportamiento de parasitoides de huevos del gusano cogollero del maíz (Bezerra, 2015). Los microorganismos también hacen parte de este control como lo es *Beauveria bassiana* tiene efecto entomopatógeno frente a larvas del III estadio de *S. frugiperda* (Paico et al., 2023).

Control químico:

El control químico en el cultivo de maíz se divide en dos etapas:

a) Desde la germinación hasta las 8 hojas, donde se usan aplicaciones de insecticidas líquidos de contacto o ingestión, y b) después de las 8 hojas se hacen aplicaciones de insecticidas granulados de contacto directamente a los cogollos infestados, con la ventaja de que no requiere ningún equipo sofisticado para su aplicación (ICA, 2003).

Agroquímicos:

El término “agroquímicos” se refiere a las sustancias o mezclas de sustancias destinadas a controlar o evitar la acción de plagas agrícolas, regular el crecimiento de las plantas, defoliar y desecar o proteger del deterioro, el producto o subproducto cosechado (García y Lazovski, 2011).

Insecticidas:

Los insecticidas son compuestos químicos utilizados para controlar o destruir insectos plaga. El origen etimológico de la palabra insecticida deriva del latín y significa literalmente matar insectos o artrópodos, los insecticidas vienen en diferentes presentaciones incluidos polvos mojables, aerosoles, gases, gránulos, soluciones de aceite, concentrados emulsionables, tratamientos de semillas, aerosoles líquidos a base de aceite, concentrado de nebulización, líquidos de ultra bajo volumen y

aerosoles de volumen ultra bajo. Los pesticidas se dividen orgánicos (que contienen carbono) e inorgánicos según su composición química, efecto toxicológico o método de penetración (INSP, 2020).

- **ENGEO:** Producto de amplio espectro que controla masticadores, chupadores y raspadores. Insecticida de acción de contacto y con propiedades sistémicas. Moderna formulación, contiene microcápsulas de lambdacialotrina combinada con tiametoxam formulada en una suspensión concentrada.

Ingredientes Activos: Lambda-cihalotrina Tiametoxam

Concentración: 141 g/L de Tiametoxam 106 g/L de Lambdacihalotrina.

Fórmula Empírica: Lambda-cihalotrina: $C_{23}H_{19}ClF_3NO_3$ - Tiametoxam: $C_8H_{10}ClN_5O_3S$

Peso Molecular: Lambda-cihalotrina: 449.9- Tiametoxam: 291.72

Grupo Químico: Lambda-cihalotrina: Piretroide - **Tiametoxam:** Neonicotinoide.

Mecanismo de acción: actúa sobre el sistema nervioso de los insectos en la postsinapsis interfiriendo los receptores de acetilcolina. Lambda-cyhalothrin es un piretroide de cuarta generación y actúa alterando la conducción de los impulsos nerviosos por medio del retardo que causa en el cierre de los canales de sodio de los axones de las células del sistema nerviosos. Esto causa impulsos nerviosos repetitivos, pérdida del control muscular y como resultado un visible y rápido efecto de derribe sobre el insecto plaga. (Syngenta 2023).

Modo de acción: ENGEO es un insecticida que tiene acción de contacto y propiedades sistémicas. (Syngenta 2023).

- **BT-BIOX:** es un bioinsecticida agrícola, compuesto por la bacteria *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*. Este bioinsumo es utilizado para la prevención y el control de larvas de lepidópteros en diferentes cultivos.

Ingredientes activos: *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*.

Concentración: Viabilidad de esporas por gramo: 2×10^9 esporas viables por gramo de producto.

Mecanismo de acción: actúa una vez las larvas ingieren las esporas y los cristales del producto que se encuentran en el tejido vegetal donde se aplicó el bioinsumo, intoxicándolas debido a las condiciones alcalinas del intestino medio de las larvas y sus enzimas digestivas, las cuales disuelven los cristales y activan las protoxinas por cortes proteolíticos, convirtiéndolas en toxinas las cuales son reconocidas por receptores de membranas de las células epiteliales del intestino medio del insecto, agrupándose en ella y formando canales iónicos, causando un desequilibrio osmótico y por tanto lisis celular, provocando la muerte del insecto.

- **LORBAN:** es organofosforado de amplio espectro, que está indicado para controlar insectos de suelo y follaje en los distintos cultivos y frutales, además de ser un insecticida, también actúa como acaricida “organofosforado” para el control de insectos defoliadores, minadores, plagas del suelo y ácaros que afectan una gran variedad de cultivos, sobre las que actúa por contacto, ingestión e inhalación.

Ingredientes activos: clorpirifos.

Concentracion: 0,0-diethyl 0-3,5,6-trichloro-2-pyrydyl phosphorothioate, de formulación a 20 °C.

Modo de acción: Contacto, ingestión e inhalación.

Mecanismo de acción: Inhibe la acción de la enzima acetil-colinesterasa, ocasionando disturbios en el sistema nervioso de los insectos y la muerte de los mismos.

- **LANNATE SL:** Es un producto líquido soluble en agua; se aplica en forma de aspersión foliar para el control de insectos por contacto y/o acción estomacal; como ovicida se debe aplicar en los estados próximos a eclosión.

Ingrediente activo: Metomyl.

Grupo químico: Carbamatos.

Modo de acción: acción por contacto e ingestión (estomacal).

Mecanismo de acción: es un insecticida carbamato con acción sobre los insectos por disminución de la actividad de la enzima Acetilcolinesterasa.

- **BURIL:** es un insecticida no sistémico que penetra los tejidos de las hojas por movimiento translaminar. Paraliza los lepidópteros los cuales dejan de alimentarse por horas muriendo de 2 a 4 días después de aplicado el tratamiento.

Ingrediente activo: Emamectin benzoato.

Modo de acción: Paraliza los lepidópteros los cuales dejan de alimentarse por horas muriendo de 2 a 4 días después de aplicado el tratamiento.

Mecanismo de acción: Interviene neurotoxina que interfiere con el funcionamiento normal del ácido gamma aminobutírico (GABA), el cual es uno de los aminoácidos que actúa como neurotransmisor en los vertebrados e invertebrados. Específicamente, GABA es el transmisor primario para una rápida transmisión sináptica inhibitoria.

- **ATHRIN BRIO GQA 100EC:** Es un insecticida de amplio espectro con acción estomacal y de contacto con alta residualidad.

Ingrediente activo: Lambda-cihalotrina.

Grupo químico: Piretroides.

MECANISMO DE ACCION: Actúa sobre el sistema nervioso de los insectos alterando el flujo de iones a través de la membrana nerviosa.

MODO DE ACCION: Insecticida de amplio espectro con acción estomacal y de contacto con alta residualidad.

- **FIPROGROP:** Es un insecticida de contacto e ingestión muy efectivo para el control de plagas masticadoras en varios cultivos y de muy buen efecto residual.

Ingrediente activo: Fipronil.

Grupo químico: Fenil Pirazol.

Mecanismo de acción: se basa en bloquear la transmisión de los impulsos nerviosos prácticamente no tiene efecto sobre la acetilcolinesterasa por lo que los insectos resistentes a carbamatos, organofosforados y piretroides son sensibles a FIPRONIL.

6. MARCO LEGAL

Trabajo de grado

Para la realización de trabajo de grado el estudiante cumplió la normativa según los alineamientos del reglamento estudiantil, el acuerdo número 186 del 02 de diciembre del 2005. Según el artículo 35 y 36 del capítulo VI de trabajo de grado.

ARTICULO 35.

Definición de Trabajo de Grado: La Universidad de Pamplona, establece como requisito para obtener el título profesional la realización de un trabajo especial conocido como “Trabajo de Grado”. Este proyecto consolida la información integral del estudiante, permitiéndole desarrollar estrategias, ejecutar y planear proyectos utilizando sus conocimientos universitarios en problemas o necesidades que le sean útiles a futuro (Universidad de Pamplona, 2005).

ARTÍCULO 36.

Modalidades de trabajo de grado: El trabajo de grado se realizó bajo la modalidad de investigación para solucionar problemáticas teóricos o prácticos, con tecnologías que generen conocimiento de proyectos nuevos (Universidad de Pamplona, 2005).

6.1 Regulación institucional

ARTICULO 2.

Establece que se genere manejo de sanidad animal y vegetal donde se garantice la prevención, el control, el manejo de plagas, enfermedades y malezas. Para generar armonía en el ecosistema y la preservación de los recursos naturales (ICA, 1994).

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.

RESOLUCIÓN No.00001580

“Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para el registro de los fabricantes, formuladores, envasadores, distribuidores, importadores y/o exportadores de los plaguicidas químicos de uso agrícola, así como los requisitos para el registro de plaguicidas químicos de uso agrícola y otras disposiciones” (ICA, 2022).

RESOLUCIÓN NO. 1756 DE 2006

Proporciona directrices para la presentación de protocolos de ensayos de eficacia de estos productos (ICA, 2006).

RESOLUCIÓN 75486 DE 2020

“Por medio de la cual se establece los requisitos y procedimientos para el registro o ampliación de uso de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola y Bioinsumos a través del mecanismo de historial de uso” (ICA, 2020).

RESOLUCIÓN ICA 227 DE 2017

Que establece los lineamientos generales para la regulación de productos biológicos, incluyendo los insecticidas biológicos (ICA, 2017).

7. METODOLOGIA

La presente investigación evaluó la susceptibilidad de *S. frugiperda*, donde se tomaron las variables predeterminadas en un instrumento (Anexo1,2). Para ello se

desarrolló una investigación de tipo experimental cuantitativa en el 2024-1, manteniendo las poblaciones de *S. frugiperda* en condiciones de laboratorio.

- **Origen de las poblaciones:** Las poblaciones se tomaron de los cultivos de maíces de los municipios de Pamplonita, Cacota, Bucaramanga y Yopal en Colombia. Se recolectaron posturas y larvas de cualquier instar.
- **Cría de las poblaciones:** Los individuos recolectados se llevaron al laboratorio de sanidad vegetal de la Universidad de Pamplona donde fueron alimentadas con maíz convencional previamente sembrado. Con el fin de evitar el canibalismo, las larvas se individualizaron en recipientes plástico de 20 mL. Las pupas, se almacenaron en gaiolas de PVC de diámetro de 6 pulgadas y de largo de 30cm. Su interior fue forrado con papel bond la cual facilitó la recolección de las posturas.

Objetivo 1.

Establecer la susceptibilidad de poblaciones de *S. frugiperda* a los grupos insecticidas de químicos más usados para su control (piretroides, organofosforados, carbamatos, neonicotinoides).

Se utilizaron larvas en instar 3 de cada población de los municipios mencionados, se prepararon disoluciones seriadas de los insecticidas comerciales, con agua destilada más un coadyuvante. Se utilizaron trozos de hojas de maíz (5 × 6 cm.) se sumergieron durante 10 segundos y se dejaron secar a temperatura ambiente. Posteriormente, las hojas de maíz impregnadas de insecticidas se dispusieron en los recipientes de plástico (75 mL) previamente marcados, para la diferenciación de las concentraciones y repeticiones. En cada uno de estos, con la ayuda de un pincel No. 5 se añadieron 5 individuos de *S. frugiperda* en instar 3.

En cada bioensayo se incluyó un testigo, el cual, se montó siguiendo las especificaciones descritas para todos los tratamientos. La mortalidad se evaluó 72h después del montaje de los bioensayos. Se consideraron muertos los individuos que no dieron respuesta con movimiento cuando se tocaron con un pincel.

Para cada población se estableció la concentración que mata el 50% de la población, esto se realizó como se describe en la sección de análisis estadísticos de este documento.

- **INSECTICIDAS:** Para la realización de los bioensayos se utilizaron insecticidas comerciales de los diferentes grupos químicos con registro ICA para *S. frugiperda* en Colombia (Tabla 1).

Tabla 1. Insecticidas que se van implementar en los bioensayos.

Nombre comercial	Casa comercial	Ingrediente activo	Grupo químico	Categoría toxicológica
ENGEO ®	Syngenta	Lambda-cihalotrina – Tiametoxam	Neonicotinoide y piretroide	II
ATHRIN BRIO ® GQA 100EC	OMA	Lambda-cihalotrina	piretroide	II
FIPROGROP	Ciagropa	Fipronil	fenilpirazoles	II
BURIL ®	Interoc	Emamectin benzoate	Avermectinas	III
LANNATE ® SL	Corteva	Metomyl	carbamatos	IB
LORSBAN ®	Dow	Clorpirifos	organofosfatos	II
BT-BIOX ®	Semillas del valle.	<i>Bacillus thuringiensis var kurstaki.</i>	biológico	IV
FURIO ®	Avgust	Tiametoxam	neonicotinoides	III

- **BIOENSAYOS:** Los bioensayos se realizaron teniendo en cuenta la concentración recomendada por el fabricante y basándonos en ella realizamos una solución seriada con un total de 7 concentraciones diferentes y el testigo. Por cada una de las concentraciones se dispusieron de 7 repeticiones lo que significó un total de 56 recipientes previamente marcados (Tabla 3). Se utilizaron larvas del gusano cogollero del tercer estadio como muestras de prueba (Kulye et al., 2021; Zhang et al., 2021; Bird et al., 2022). Las razones principales por las que se utilizaron larvas del tercer instar con un promedio de 1,53 mm de largo (Núñez-Velásquez 2024), como especímenes de prueba son que los estadios tempranos son más sensibles al estrés biótico y abiótico y más susceptibles a los insecticidas en comparación con los estadios posteriores (Ghidiu y Andalaro, 1993; Adamczyk et al., 1999).

Tabla 2. Distribución de los tratamientos

Testigo	Concentración 1	Concentración 2	Concentración 3	Concentración 4	Concentración 5	Concentración 6	Concentración 7
Repetición 1	Repe 1 5 larvas	Repe 1 5 larvas	Repe 1 5 larvas	Repe 1 5 larvas	Repe 1 5 larvas	Repe 1 5 larvas	Repe 1 5 larvas
Repetición 2	Repe 2 5 larvas	Repe 2 5 larvas	Repe 2 5 larvas	Repe 2 5 larvas	Repe 2 5 larvas	Repe 2 5 larvas	Repe 2 5 larvas
Repetición 3	Repe 3 5 larvas	Repe 3 5 larvas	Repe 3 5 larvas	Repe 3 5 larvas	Repe 3 5 larvas	Repe 3 5 larvas	Repe 3 5 larvas
Repetición 4	Repe 4 5 larvas	Repe 4 5 larvas	Repe 4 5 larvas	Repe 4 5 larvas	Repe 4 5 larvas	Repe 4 5 larvas	Repe 4 5 larvas

Repetición 5	Repe 5 5 larvas	Repe 5 5 larvas	Repe 5 5 larvas	Repe 5 5 larvas	Repe 5 5 larvas	Repe 5 5 larvas	Repe 5 5 larvas
Repetición 6	Repe 6 5 larvas	Repe 6 5 larvas	Repe 6 5 larvas	Repe 6 5 larvas	Repe 6 5 larvas	Repe 6 5 larvas	Repe 6 5 larvas
Repetición 7	Repe 7 5 larvas	Repe 7 5 larvas	Repe 7 5 larvas	Repe 7 5 larvas	Repe 7 5 larvas	Repe 7 5 larvas	Repe 7 5 larvas

- **Objetivo 2. Determinar la susceptibilidad de poblaciones de *S. frugiperda* a insecticidas comerciales con ingrediente activo *Bacillus thuringiensis***

La susceptibilidad de las poblaciones al insecticida de origen biológico (BT biox), se estableció siguiendo la metodología descrita para los insecticidas de síntesis química, con las siguientes modificaciones:

- Después de 72 horas de la aplicación se estimó la mortalidad y se reemplazó el trozo de hoja con insecticidas por otro que no contenía el agente biológico.
 - Los tres y cinco días de la aplicación se cambiaron las hojas de maíz por otras que no fueron tratadas con insecticida. La evaluación de mortalidad se realizó a los 7 días. Los individuos vivos se pesaron para determinar inhibición del crecimiento entre los tratamientos.
- **Objetivo 3. Establecer un esquema de rotación de insecticidas con base en la susceptibilidad de las poblaciones de *Spodoptera frugiperda* a estos plaguicidas.**

De acuerdo con la susceptibilidad que presentaron las poblaciones a los diferentes insecticidas que se evaluaron, propusimos un esquema de rotación conforme a los mecanismos de acción que no presentaron pérdida de susceptibilidad en los bioensayos. Se tuvieron presente los insecticidas que tengan registro ICA para *S. frugiperda* y que son comercializados en Colombia.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA EVALUACIÓN:

Los datos de mortalidad fueron sometidos a análisis de Probit, mediante el uso del programa Polo-PC (LeOra Software, 2007), a partir del cual fueron estimadas las concentraciones letales CL₅₀ y CL₉₅. La razón de resistencia (RR) de cada población se calcularon dividiendo la respectiva CL₅₀ (o CL₉₅) por el valor de la CL₅₀ (o CL₉₅) registradas por la empresa de cada producto que se utilizó.

ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS: Dentro de la organización de los datos que se tomaron, se utilizó la herramienta de Microsoft Excel, en el cual se recopilaron, organizaron y estructuraron los datos que obtuvimos de los respectivos experimentos, dentro de lo que incluyeron. (tratamiento, replica de los tratamientos, supervivencia y observaciones).

8. RESULTADOS

Las cuatro poblaciones de *S. frugiperda* no presentaron mortalidad mayor al 50% cuando fueron tratadas con el insecticida Bt-Biox a base de *Bacillus thuringiensis* (Berliner), después de siete días de exposición (Figura 4). El rango donde se encuentra la concentración recomendada por el fabricante (2.5 mg/L) produjo mortalidades inferiores al 40%. Por lo anterior, no fue posible establecer las CL₅₀ para ninguna de estas poblaciones. Interesantemente, las poblaciones provenientes de Bucaramanga, Pamplonita, Cacota presentaron aumento de biomasa (peso) cuando fueron tratadas con el insecticida. Por ejemplo, en comparación con el testigo (0.0 mg/L) las poblaciones Bucaramanga, Pamplonita, Cacota en la concentración menor (0.16 mg/L) presentaron un aumento superior al 200, 100 y 80% en el peso promedio larval, respetivamente (Figura 5). Este mismo patrón de aumento de peso se observó en las

otras concentraciones. Contrariamente, población DKB presentó inhibición de crecimiento en todas las concentraciones en relación con el testigo (Figura 5).

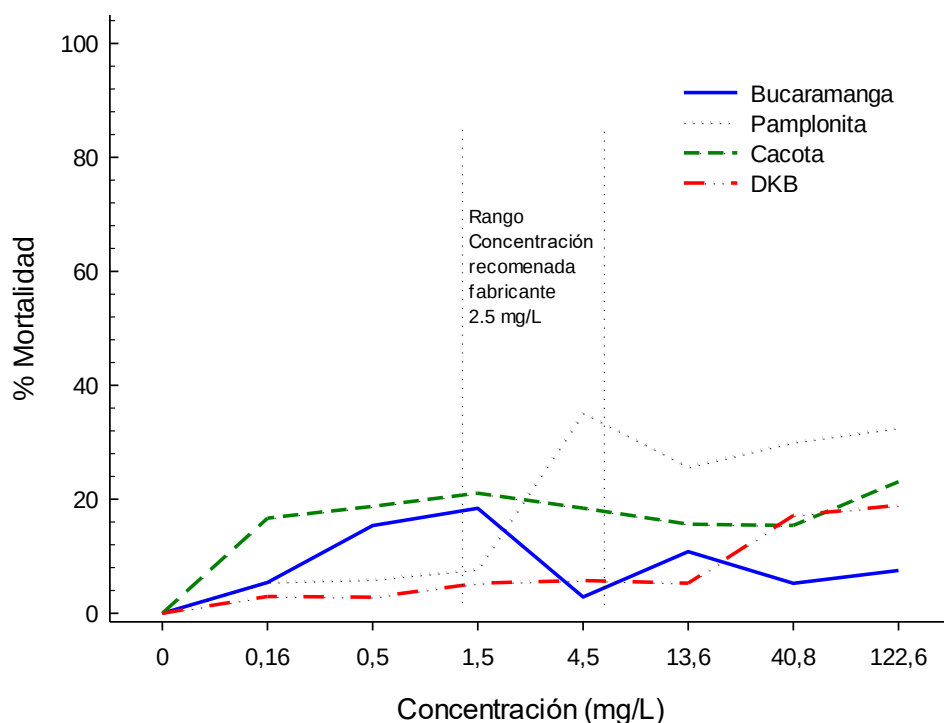


Figura 4. Mortalidad a los siete días de cuatro poblaciones de *S. frugiperda* alimentadas con segmentos de hojas de maíz (4 × 5 cm.) tratadas con diferentes concentraciones del insecticida Bt-Biox (*Bacillus thuringiensis*) en condiciones de laboratorio (20 ± 3 °C; 70 ± 10% H.R.; 12:12 Luz: Oscuridad).

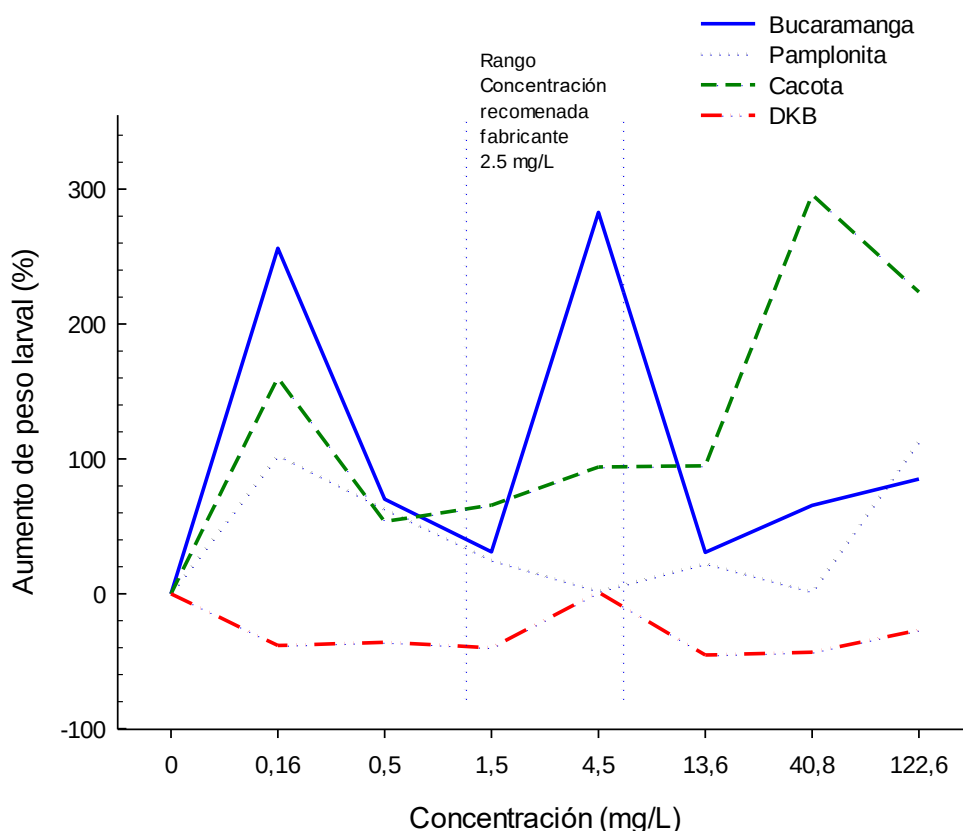


Figura 5. Aumento promedio de peso (%) larval a los siete días de cuatro poblaciones de *S. frugiperda* alimentadas con segmentos de hojas de maíz (4 × 5 cm.) tratadas con diferentes concentraciones del insecticida Bt-Biox (i.a.: *Bacillus thuringiensis*) en condiciones de laboratorio (20 ± 3 °C; 70 ± 10% H.R.; 12:12 Luz: Oscuridad).

De otra parte, como lo indican los valores *P* superiores a 0,05 (Tabla 5-7), el modelo probit se ajustó correctamente a los datos, lo que permitió realizar estimaciones válidas de los parámetros (CL₅₀ y CL₉₉) que describen la susceptibilidad de las poblaciones a los insecticidas Fipronil, Clorpirifos, Tiametoxam + Lambdacihalotrina, Tiametoxam, Lambdacihalotrina, Metomilo y Benzoato de emamectina.

En relación con el insecticida fipronil, las cuatro poblaciones evaluadas (Bucaramanga, Pamplonita, Cacota y DKB) presentaron alta susceptibilidad a este ingrediente activo. La CL₉₉ de todas las poblaciones se presentó por debajo de la dosis recomendada por el fabricante (1.5 ml/L), como lo indica la relación de resistencia menor a 1 (Tabla 5).

Tabla 3. Susceptibilidad de cuatro poblaciones de *S. frugiperda* al insecticida Fipronil. Se muestra la respuesta relativa de larvas de tercer instar cuando se exponen a siete concentraciones de fipronil en bioensayos conducidos bajo condiciones de laboratorio.

Población	N	Pendiente		CL ₅₀ (95% IC) ^b	CL ₉₉ (95% IC) ^c	RR ^d	X ²	P
		± ES ^a						
Bucaramanga	32	1.10 ±		0.068 (0.040 -	0.973 (0.497-	0.6		0.404
	0	0.13		0.114)	2.578)	5	2.92	*
Pamplonita	32	1.96 ±		0.051 (0.022 -	0.606 (0.239 -	0.4		0.086
	0	0.39		0.112)	4.045)	0	9.63	*
Cacotá	32	0.52 ±		0.003(0.000 -	0.759 (0.197 -	0.5		0.403
	0	0.09		0.014)	15.05)	1	4.02	*
DKB	32	1.06 ±		0.040 (0.021 -	0.651 (0.346 -	0.4		0.711
	0	0.15		1.722)	1.722)	3	2.13	*

^a Error estándar

^b concentración que mata el 50% de la población, con intervalo de confianza del 95% entre paréntesis

^c concentración que mata el 99% de la población, con intervalo de confianza del 95% entre paréntesis

^d Relación de resistencia, el valor de la CL₉₉ de la población de *S. frugiperda* dividido por la concentración recomendada por el fabricante (1.5 ml/L).

* La falta de ajuste no fue significativa (P > 0,05), lo que indica que el modelo Probit se ajustó a los datos (Robertson et al., 2007).

El insecticida Clorpirifos produjo alta mortalidad en tres de las cuatro poblaciones evaluadas, como lo indica la relación de resistencia (RR) menor a 1 (Tabla 6). De manera interesante, se registró que, para matar el 99 % de la población proveniente del municipio de Pamplonita es necesario utilizar una concentración cercana al doble de la recomendada por el fabricante (RR=1.9) (Tabla 6).

Tabla 4. Susceptibilidad de cuatro poblaciones de *S. frugiperda* al insecticida Clorpirifos. Se muestra la respuesta relativa de larvas de tercer instar cuando se exponen a siete concentraciones de Clorpirifos en bioensayos conducidos bajo condiciones de laboratorio.

Población	N	Pendiente			RR	χ^2	P
		$\pm$ ES	CL ₅₀ (95% IC)	CL ₉₉ (95% IC)			
Bucaramanga	320	1.27 $\pm$ 0.16	0.038 (0.008 - 0.145)	0.393 (0.112- 13.92)	0.78	5.93	0.115
Pamplonita	320	0.93 $\pm$ 0.11	0.040 (0.023 - 0.068)	0.954 (0.457 - 2.864)	1.9	2.724	0.605
Cacotá	320	1.1 $\pm$ 0.15	0.020 (0.08 - 0.040)	0.290 (0.124 - 1.719)	0.58	4.83	0.305
DKB	320	0.99 $\pm$ 0.22	0.006 (0.002 - 0.011)	0.107 (0.051 - 0.511)	0.21	2.513	0.642

^a Error estándar

^b concentración que mata el 50% de la población, con intervalo de confianza del 95% entre paréntesis

^c concentración que mata el 99% de la población, con intervalo de confianza del 95% entre paréntesis

^d Relación de resistencia, el valor de la CL₉₉ de la población de *S. frugiperda* dividido por la concentración recomendada por el fabricante (0.5 ml/L).

* La falta de ajuste no fue significativa ($P > 0,05$), lo que indica que el modelo Probit se ajustó a los datos (Robertson et al., 2007).

De forma similar, la población proviene del municipio de Pamplonita presento baja susceptibilidad a la mezcla de insecticidas con los ingredientes activos Tiametoxam + Lambdacihalotrina (Engeo), como lo indica la relación de resistencia cercana a 10 (RR=9.64), lo cual indica, que se necesita aproximadamente 10 veces la concentración recomendada por el fabricante (0.5 ml/L) para conseguir matar el 99 de los individuos utilizados en el experimento (Tabla 7). Las poblaciones Bucaramanga y Cacota, también presentaron relaciones de resistencia mayores a 1, señalando que se necesita concentraciones mayores a las recomendadas por el fabricante para alcanzar a matar el 99% de esas poblaciones. Contrariamente, la población DKB, presento alta susceptibilidad a la mezcla de estos insecticidas (Tabla 7).

Tabla 5. Susceptibilidad de cuatro poblaciones de *S. frugiperda* al insecticida Tiametoxam + Lambdacihalotrina. Se muestra la respuesta relativa de larvas de tercer instar cuando se exponen a siete concentraciones de Tiametoxam + Lambdacihalotrina en bioensayos conducidos bajo condiciones de laboratorio.

Población	N	Pendiente		CL ₅₀ (95% IC)	CL ₉₉ (95% IC)	RR	X ²	P
		± ES						
Bucaramanga	320	1.25 ± 0.17		0.062 (0.036 - 0.096)	0.653 (0.384 - 1.474)	1.3	3.14	0.678
Pamplonita	320	0.73 ± 0.09		0.085 (0.033 - 0.172)	4.823 (2.163 - 15.6)	9.64	2.85	0.581
Cacotá	320	0.96 ± 0.09		0.053 (0.019 - 0.108)	1.134 (0.510 - 4.601)	2.26	5.45	0.244
DKB	320	0.68 ± 0.15		0.007 (0.000 - 0.023)	0.485 (0.202 - 1.878)	0.97	2.89	0.716

^a Error estándar

^b concentración que mata el 50% de la población, con intervalo de confianza del 95% entre paréntesis

^c concentración que mata el 99% de la población, con intervalo de confianza del 95% entre paréntesis

^d Relación de resistencia, el valor de la CL₉₉ de la población de *S. frugiperda* dividido por la concentración recomendada por el fabricante (0.5 ml/L).

* La falta de ajuste no fue significativa ($P > 0,05$), lo que indica que el modelo Probit se ajustó a los datos (Robertson et al., 2007).

En relación con la mortalidad causada por los ingredientes activos Tiametoxam y Lambdacihalotrina aplicados de forma separada, se observó que la población Bucaramanga presenta menor susceptibilidad a estos compuestos cuando se aplican de esta forma. Por ejemplo, la relación de resistencia registrada (RR) fue de 8.48 y 3.59 para Tiametoxam y Lambdacihalotrina, respectivamente (Tabla 8 y 9). Resultado similar se registró para la población de Cacota, la cual necesita más de 2 y 6 veces de la concentración recomendada por el fabricante para causar la mortalidad del 99% de la población con los insecticidas Tiametoxam y Lambdacihalotrina, respectivamente (Tabla 8 y 9). Contrariamente, la población Pamplonita presento mayor CL₉₉ cuando el

Tiametoxam y Lambdacihalotrina se aplicaron solos, en comparación a la registrada cuando se aplicó la mezcla Tiametoxam + Lambdacihalotrina (Tabla 7-9). La población DKB, mantiene la susceptibilidad presentada a la mezcla Tiametoxam + Lambdacihalotrina aun cuando estos ingredientes activos se aplicaron de forma separada (Tabla 8 y 9).

Tabla 6. Susceptibilidad de cuatro poblaciones de *S. frugiperda* al insecticida Tiametoxam. Se muestra la respuesta relativa de larvas de tercer instar cuando se exponen a siete concentraciones de Tiametoxam en bioensayos conducidos bajo condiciones de laboratorio.

Población	N	Pendiente		CL ₅₀ (95% IC)	CL ₉₉ (95% IC)	RR	X ²	P
		± ES						
Bucaramanga	320	0.74 ± 0.10		0.079 (0.039 - 0.015)	4.24 (1.55 - 21.56)	8.48	0.644	0.886
Pamplonita	320	0.92 ± 0.19		0.004 (0.000 - 0.011)	0.09 (0.03 - 1.16)	0.18	4.75	0.313
Cacotá	320	0.85 ± 0.11		0.043 (0.023 - 0.080)	1.34 (0.54 - 5.55)	2.68	2.88	0.409
DKB	320	1.01 ± 0.12		0.079 (0.024 - 0.209)	1.43 (0.45 - 20.559)	2.86	7.22	0.124

^a Error estándar

^b concentración que mata el 50% de la población, con intervalo de confianza del 95% entre paréntesis

^c concentración que mata el 99% de la población, con intervalo de confianza del 95% entre paréntesis

^d Relación de resistencia, el valor de la CL₉₉ de la población de *S. frugiperda* dividido por la concentración recomendada por el fabricante (0.5 mg/L).

* La falta de ajuste no fue significativa ($P > 0,05$), lo que indica que el modelo Probit se ajustó a los datos (Robertson et al., 2007).

Tabla 7. Susceptibilidad de cuatro poblaciones de *S. frugiperda* al insecticida Lambdacihalotrina. Se muestra la respuesta relativa de larvas de tercer instar cuando se exponen a siete concentraciones de Lambdacihalotrina en bioensayos conducidos bajo condiciones de laboratorio.

Población	N	Pendiente		CL ₅₀ (95% IC)	CL ₉₉ (95% IC)	RR	χ^2	P
		$\pm$ ES						
Bucaramanga	320	1.18 $\pm$ 0.14		0.149 (0.087 - 0.260)	1.797 (0.899 - 4.844)	3.59	1.062	0.786
Pamplonita	320	0.68 $\pm$ 0.14		0.003 (0.000 - 0.013)	0.229 (0.067 - 5.157)	0.45	6.288	0.279
Cacotá	320	0.74 $\pm$ 0.08		0.066 (0.026 - 0.149)	3.055 (1.184 - 22.65)	6.11	5.860	0.32
DKB	320	0.60 $\pm$ 0.16		0.001 (0.000 - 0.005)	0.142 (0.048 - 1.250)	0.28	1.733	0.784

^a Error estándar

^b concentración que mata el 50% de la población, con intervalo de confianza del 95% entre paréntesis

^c concentración que mata el 99% de la población, con intervalo de confianza del 95% entre paréntesis

^d Relación de resistencia, el valor de la CL₉₉ de la población de *S. frugiperda* dividido por la concentración recomendada por el fabricante. (0,5 ml/L).

* La falta de ajuste no fue significativa ($P > 0,05$), lo que indica que el modelo Probit se ajustó a los datos (Robertson et al., 2007).

Finalmente, las cuatro poblaciones evaluadas presentaron alta susceptibilidad a los insecticidas con ingredientes activos Metomilo y Benzoato de emamectina. Estas registraron índices de relación de resistencia inferiores a 1 (Tablas 10 y 11).

Tabla 8. Susceptibilidad de cuatro poblaciones de *S. frugiperda* al insecticida Metomilo. Se muestra la respuesta relativa de larvas de tercer instar cuando se exponen a siete concentraciones de Metomilo en bioensayos conducidos bajo condiciones de laboratorio.

Población	N	Pendiente		CL ₅₀ (95% IC)	CL ₉₉ (95% IC)	RR	χ^2	P
		$\pm$ ES						
Bucaramanga	320	1.16 $\pm$ 0.13		0.136 (0.043 - 0.394)	1.728 (0.556 - 17.93)	0.58	8.050	0.089
Pamplonita	320	1.11 $\pm$ 0.11		0.198 (0.089 - 0.430)	2.783 (1.078 - 16.206)	0.93	9.24	0.09
Cacotá	320	2.08 $\pm$ 0.31		0.583 (0.404 - 0.799)	2.402 (1.628 - 4.446)	0.80	1.96	0.74
DKB	320	0.89 $\pm$ 0.15		0.008 (0.003 - 0.016)	0.228 (0.211 - 0.642)	0.08	1.983	0.851

^a Error estándar

^b concentración que mata el 50% de la población, con intervalo de confianza del 95% entre paréntesis

^c concentración que mata el 99% de la población, con intervalo de confianza del 95% entre paréntesis

^d Relación de resistencia, el valor de la CL₉₉ de la población de *S. frugiperda* dividido por la concentración recomendada por el fabricante (3 mg/L).

* La falta de ajuste no fue significativa ($P > 0,05$), lo que indica que el modelo Probit se ajustó a los datos (Robertson et al., 2007).

Tabla 9. Susceptibilidad de cuatro poblaciones de *S. frugiperda* al insecticida Benzoato de emamectina. Se muestra la respuesta relativa de larvas de tercer instar cuando se exponen a siete concentraciones de Emamectin Benzoate en bioensayos conducidos bajo condiciones de laboratorio.

Población	N	Pendiente		CL ₅₀ (95% IC)	CL ₉₉ (95% IC)	RR	χ^2	P
		$\pm$ ES						
Bucaramanga	320	2.68 $\pm$ 0.49		0.015 (0.010 - 0.0239)	0.045 (0.028 - 0.184)	0.09	4.544	0.337
Pamplonita	320	0.88 $\pm$ 0.16		0.006 (0.002 - 0.011)	0.168 (0.087 - 0.544)	0.33	3.059	0.69
Cacotá	320	0.96 $\pm$ 0.14		0.011 (0.002 - 0.025)	0.236 (0.086 - 3.744)	0.47	9.421	0.093
DKB	320	1.08 $\pm$ 0.15		0.023 (0.013 - 0.036)	0.344 (0.186 - 0.909)	0.68	3.653	0.454

^a Error estándar

^b concentración que mata el 50% de la población, con intervalo de confianza del 95% entre paréntesis

^c concentración que mata el 99% de la población, con intervalo de confianza del 95% entre paréntesis

^d Relación de resistencia, el valor de la CL₉₉ de la población de *S. frugiperda* dividido por la concentración recomendada por el fabricante (0.5 mg/L).

* La falta de ajuste no fue significativa ($P > 0,05$), lo que indica que el modelo Probit se ajustó a los datos (Robertson et al., 2007).

9. DISCUSIÓN

El gusano cogollero, *S. frugiperda*, es una plaga agrícola de importancia mundial (Paudel et al., 2022). Poblaciones de esta especie han perdido la susceptibilidad a todos los grupos químicos de insecticidas usados para su control (Baudrot et al., 2023), incluyendo las toxinas de *Bacillus thuringiensis* (Orozco et al., 2024). A pesar de ello, en Colombia existen pocos estudios que hayan estudiado la susceptibilidad de poblaciones de esta especie a los insecticidas usados para su control. Por lo anterior, en este estudio se caracterizó la susceptibilidad de cuatro poblaciones de *S. frugiperda* provenientes de diferentes lugares geográficos de Colombia a los ingredientes activos *B. thuringiensis*, Fipronil, Clorpirifos, Tiametoxam + Lambdacihalotrina, Tiametoxam,

Lambdacihalotrina, Metomilo y Benzoato de emamectina. Los resultados indican que todas las poblaciones presentan baja susceptibilidad al insecticida con ingrediente activo *B. thuringiensis* y moderada y alta susceptibilidad a los otros insecticidas. Lo anterior, contrasta con los reportes no documentados de resistencia en campo de agricultores y asistentes técnicos de *S. frugiperda* en las regiones donde se recolectaron las poblaciones.

En relación con el insecticida a base de *B. thuringiensis*, el cual cuenta con registro ICA No. 10055 para el manejo de esta especie en Colombia, ninguna de las poblaciones presentó mortalidad superior al 40%, lo cual, no permitió el establecimiento de la CL₅₀. A pesar de este resultado, no se puede reportar como pérdida de susceptibilidad de las poblaciones a este compuesto o desarrollo de resistencia en campo, pues no se comprobó su efecto letal sobre ninguna población (Tabashnik et al., 2014). Esta falta de toxicidad del insecticida puede deberse a diferentes causas, por ejemplo, que la formulación del insecticida no sea la adecuada o que el producto no se haya almacenado siguiendo las indicaciones del fabricante (Chapple et al., 2007).

De forma interesante, las poblaciones Bucaramagana, Pamplonita y Cacota presentaron aumento de su biomasa larval en todas las concentraciones usadas con el producto a base de *B. thuringiensis*, esto indica que, contrariamente a producir un efecto letal en las poblaciones, el producto ocasionó un efecto positivo en los individuos. Este fenómeno se ha visto en otras investigaciones con poblaciones de *S. frugiperda* tratadas con toxinas de *B. thuringiensis*, donde el insecticida provocó un aumento las tasas de crecimiento poblacional en algunas concentraciones (Guedes et al., 20022). De esta forma, es importante realizar tablas de vida con las poblaciones de Bucaramagana, Pamplonita y Cacota, que permitan determinar si este aumento de peso larval producido por el producto a base se traduce en un aumento en los parámetros de crecimiento poblacional de los individuos tratados con este producto (Campos et al., 2017). Estudiar este fenómeno es importante, porque se ha reportado que el uso de xenobióticos, como en este caso un insecticida que no es toxico para

algunas especies puede aumentar la densidad poblaciones de algunas plagas (Cutler et al., 2022).

De otra parte, las cuatro poblaciones de *S. frugiperda* presentaron alta susceptibilidad a los insecticidas con ingredientes activos fipronil, Clorpirifos, Metomilo y Benzoato de emamectina. En todas estas poblaciones la concentración necesaria para matar el 99% de los individuos está por debajo de la concentración recomendada por el fabricante. Este resultado indica que, estos ingredientes activos representan una opción viable para el control de esta plaga en las regiones de donde son originarias. Sin embargo, el insecticida fipronil, el cual actúa como bloqueador del canal del cloro regulado por el GABA (ácido gamma amino butírico) (Wazir & Shad, 2022) y el Clorpirifos que inhibe la **acción** de la enzima acetil-colinesterasa (Garlet et al., 2021), presentan limitaciones para el uso en Colombia, por ejemplo, el Clorpirifos fue prohibido en el país desde el 2023 (Resolución ICA 06365 de 2023) y al fipronil, el ICA, en enero de 2023, le concedió un plazo de 12 meses para acabar sus existencias comerciales (Resolución ICA 740 de 2023). De esta forma, el ingrediente activo Metomilo que inhibe la acción de la enzima acetil-colinesterasa (Morillo & Notz, 2001), se convierte en una opción viable para reemplazar el Clorpirifos, toda vez que presentan el mismo mecanismo de acción y, Benzoato de emamectina, el cual estimula la liberación del GABA (Ferreira et al., 2021), puede sustituir la ausencia en el mercado del Fipronil, cual también actúa sobre el GABA.

En relación con los insecticidas Tiametoxam y Lambdacihalotrina, usados en mezcla (engeo), se observó que la población de Pamplonita presenta menor susceptibilidad. Este resultado es interesante porque se trata de dos ingredientes activos con diferente mecanismo de acción, el Tiametoxam, es un Modulador competitivo del receptor nicotínico de la acetilcolina (Karmakar et al., 2009) y la Lambdacihalotrina es un Modulador del canal de sodio (Tian et al., 2018). Esta diferencia en los mecanismos de acción de estos ingredientes activos se realiza para aumentar la eficacia del producto en campo y retardar de forma significativa el surgimiento de poblaciones resistentes (Madgwick & Kanitz, 2024).

A pesar que en la población Pamplonita se observó que se necesitan 9 veces la concentración recomendada por el fabricante para matar el 99% de la población, no se puede hablar de surgimiento de resistencia, lo anterior, debido a que teóricamente se necesita que sea mayor a diez veces (Tabashnik et al., 2014) y, además, el intervalo de confianza (IC95%) estimado para la CL99, es significativamente alto en la parte superior, lo cual indica que es necesario realizar nuevas estimaciones (Robertson et al., 2017). Así mismo, la susceptibilidad de la población Pamplonita aumento cuando se aplicó cada uno de estos ingredientes activos por separado, lo cual refuerza la tesis que se necesitan nuevas estimaciones.

Contrariamente a lo observado en la población Pamplonita, las poblaciones de Bucaramanga y Cacota presentaron alta susceptibilidad a la mezcla Tiametoxam + Lambdacihalotrina y baja a la aplicación de cada uno de estos por separado. Sin embargo, en ninguna de estas dos poblaciones se registras valores de Relación de resistencia mayores a 10, lo cual indica que no hay surgimiento de poblaciones resistentes a estos compuestos (Tabashnik et al., 2014).

De otra parte, a pesar a que teóricamente no se puede reportar que las poblaciones de Pamplonita, Bucaramanga y Cacota hayan desarrollado resistencia en campo a los ingredientes activos Tiametoxam y Lambdacihalotrina, es importante continuar con los monitoreos de la susceptibilidad de las poblaciones de *S. frugiperda* en sus lugares de origen, pues es evidente que existe una disminución en la susceptibilidad de esas poblaciones hacia esos compuestos, lo cual, puede resultar en fallas de control en poco tiempo si no se toman las medidas necesarias. Principalmente, se recomienda efectuar medidas de control con otras estrategias de manejo (control biológico, cultural, etológico etc.) y/o realizar aplicaciones de insecticidas con mecanismos de acción diferentes a Tiametoxam y Lambdacihalotrina.

Con el desarrollo de este estudio, se mostró que contrariamente a lo reportado por agricultores y asistentes técnicos en las regiones donde se recolectaron las cuatro poblaciones de *S. frugiperda*, no existe surgimiento de poblaciones resistentes a los principales insecticidas usados para su control. Los constantes relatos no

documentados de fallas de control de los insecticidas en el manejo de *S. frugiperda* en estas regiones, puede deberse a factores operacionales en la aplicación de los insecticidas, como, por ejemplo, carencia de adecuados equipos de medición, calibración y aplicación, lo cual, genera aplicaciones incorrectas que se pueden generar bajos porcentajes de control (Chapple et al., 2007).

Finalmente, con los resultados de esta investigación, se recomienda para las regiones de donde se recolectaron las poblaciones de *S. frugiperda*, realizar esquemas de rotación con el siguiente orden e ingredientes activos para el control de *S. frugiperda*: Metomilo, Lambdacihalotrina, Benzoato de emamectina y Tiametoxam. Debido a que todos estos ingredientes activos presentan diferentes mecanismos de acción, este esquema de rotación asegura la eliminación de los individuos resistentes que se presenten a cualquiera de estos insecticidas (Madgwick & Kanitz, 2024).

10. CONCLUSIONES

1. No se evidencio perdida de susceptibilidad de las poblaciones de *S. frugiperda* provenientes de Bucaramanga, Pamplonita, Cacota y Casanare (DKB) Fipronil, Clorpirifos, Tiametoxam + Lambdacihalotrina, Tiametoxam, Lambdacihalotrina, Metomilo y Benzoato de emamectina.
2. El insecticida de origen bacterial con ingrediente activo *Bacillus thuringiensis*, comercializado con el nombre comercial **BT-BIOX**, **no presento mortalidad en las** poblaciones de *S. frugiperda* provenientes de Bucaramanga, Pamplonita, Cacota y Casanare (DKB)
3. El insecticida de origen bacterial con ingrediente activo *Bacillus thuringiensis*, comercializado con el nombre comercial **BT-BIOX**, **produjo un aumento en la biomasa larval de las poblaciones** de *S. frugiperda* provenientes de Bucaramanga, Pamplonita y Cacota
4. El esquema de rotación para el manejo de las poblaciones de *S. frugiperda* provenientes de Bucaramanga, Pamplonita, Cacota y Casanare (DKB) debe realizarse con el siguiente orden e ingredientes activos: Metomilo, Lambdacihalotrina, Benzoato de emamectina y Tiametoxam.

11. RECOMENDACIONES

1. Continuar con el monitoreo de la resistencia en las poblaciones de *S. frugiperda* provenientes de Bucaramanga, Pamplonita, Cacota y Casanare (DKB) a los ingredientes activos Lambdacihalotrina y Tiametoxam, toda vez que se evidenció indicios de menor susceptibilidad por parte de las poblaciones objeto de estudios a estos compuestos.
2. Continuar con el estudio del efecto del insecticida a base *Bacillus thuringiensis*, que permitan determinar si el aumento de peso larval producido por ese insecticida se traduce en un aumento en los parámetros de crecimiento poblacional de las poblaciones de *S. frugiperda* provenientes de Bucaramanga, Pamplonita y Cacota.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Báez, M. C. D., Rossini, G. D. B., & Granados, Y. P. (2004). 5 MÉTODOS ESTADÍSTICOS PARA EL ANÁLISIS DE RESULTADOS DE TOXICIDAD. Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas, 99.
- Baudrot, V., Schouten, R., Umina, P. A., Hoffmann, A. A., Bird, L., Miles, M., & Maino, J. L. (2023). Managing pesticide resistance in *Spodoptera frugiperda*: A spatially explicit framework for identifying optimal treatment strategies. *Ecological Modelling*, 483, 110416.
- BEZERRA DASILVA, CHERRE SADE, MENDES VIEIRA, JACI, LOIÁCONO, MARTA, MARGARÍA, CECILIA, & POSTALI PARRA, JOSÉ ROBERTO. (2015). Evidencia de competencia explotadora entre parasitoides de huevos de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) en maíz. *Revista Colombiana de Entomología* , 41 (2), 184-186. Recuperado el 24 de junio de 2024 de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-04882015000200006&lng=en&tlng=en.
- Britz, C. (2020). Relationship between *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) damage and yield loss in maize (Doctoral dissertation, North-West University (South Africa)).
- Burgos, V., & Alinda, M. (2016). *Determinación de la línea básica de resistencia de Spodoptera frugiperda Smith a los insecticidas fipronil, permetrina, lufenuron y metomil*. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/3039>
- Caballero, P. (1999). El Nucleopolyhedrovirus multiple de *Spodoptera exigua* (SeMNPV): diversidad genética y recombinación. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=145675>
- Campos, S. O., Santana, I. V., Silva, C., Santos-Amaya, O. F., Guedes, R. N. C., & Pereira, E. J. G. (2019). Bt-induced hormesis in Bt-resistant insects: Theoretical possibility or factual concern?. *Ecotoxicology and environmental safety*, 183, 109577.

- Chapple, A. C., Downer, R. A., & Bateman, R. P. (2007). Theory and practice of microbial insecticide application. In Field manual of techniques in invertebrate pathology: application and evaluation of pathogens for control of insects and other invertebrate pests (pp. 9-34). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Chapple, A. C., Downer, R. A., & Bateman, R. P. (2007). Theory and practice of microbial insecticide application. In Field manual of techniques in invertebrate pathology: application and evaluation of pathogens for control of insects and other invertebrate pests (pp. 9-34). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Chávez, E. C., Vázquez, J. L. A., Mayo-Hernández, J., Uribe, L. A. A., Fuentes, Y. M. O., Hernández-Juárez, A., & Del Ángel, E. C. (2022). PERSPECTIVA ACTUAL DEL GUSANO COGOLLERO *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) Y SU RESISTENCIA DESARROLLADA A INSECTI. Tropical And Subtropical Agroecosystems, 25(2). <https://doi.org/10.56369/tsaes.4089>
- Correa, A., Menezes, A., Duarte de Souza, J., Ferreira, D., Peterson, C., & Aparecido, O. (2015). Mortality dynamics of (Lepidoptera: Noctuidae) immatures in maize. PLoS One, 10(6) doi: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0130437>
- Cutler, G. C., Amichot, M., Benelli, G., Guedes, R. N. C., Qu, Y., Rix, R. R., ... & Desneux, N. (2022). Hormesis and insects: Effects and interactions in agroecosystems. Science of the Total Environment, 825, 153899.
- FERREIRA, F., Thiesen, L. V., CORASSA, J. D. N., Nardon, A., dos Santos, L. V., ROSA, D., & PITTA, R. (2021). Uso Eficaz de Benzoato de Emeactina Para o Manejo de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith)(Lepidoptera: Noctuidae) em Milho.
- García, F. A. & Pulido, J. I. (1984). *El gusano cogollero del maíz Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), su control y perspectivas para su manejo. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/23629>.

- García, S. I. y Lazovski, J. 2011. “Guía de Uso Responsable de Agroquímicos”. 1ra ed. Ministerio de Salud de la Nación. Programa Nacional de Prevención y Control de las Intoxicaciones. Buenos Aires.
- Garlet, C. G., Gubiani, P. D. S., Palharini, R. B., Moreira, R. P., Godoy, D. N., Farias, J. R., & Bernardi, O. (2021). Field-evolved resistance to chlorpyrifos by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae): Inheritance mode, cross-resistance patterns, and synergism. *Pest Management Science*, 77(12), 5367-5374.
- Ghidiu GM, Andaloro JT. Foro: La relación entre el estadio del gusano cogollero (Lepidoptera: Noctuidae) y la susceptibilidad a los insecticidas aplicados al maíz dulce. *Entomol de Florida*. 1993;76(4):549–55. <https://doi.org/10.2307/3495784> .
- Gimenez, S., Abdelgaffar, H., Goff, G. L., Hilliou, F., Blanco, C. A., Hänniger, S., ... & Nam, K. (2020). Adaptation by copy number variation increases insecticide resistance in the fall armyworm. *Communications Biology*, 3(1), 664.
- GMH Gómez, JE Ocampo - Fondo Editorial Biogénesis, 2018 - revistas.udea.edu.co
- Gov.co. Recuperado el 24 de mayo de 2024, de <https://sioc.minagricultura.gov.co/AlimentosBalanceados/Documentos/2017-12-30%20Cifras%20Sectoriales%20Maiz.pdf>
- Guedes, R. N. C., Rix, R. R., & Cutler, G. C. (2022). Pesticide-induced hormesis in arthropods: towards biological systems. *Current Opinion in Toxicology*, 29, 43-50.
- ICA, I. C. (Diciembre de 2003). Boletín de Epidemiología agrícola, 32 pp. Sub gerencia de Protección y Regulación agrícola, Bogota: Grupo transferencia de tecnología, ICA.
- JD Ríos-Díez, CI Saldamando-Benjumea, Susceptibilidad de cepas de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) del centro de Colombia a dos insecticidas, metomilo y lambda-cialotrina: un estudio de la base genética de la resistencia, *Journal of Economic Entomology* , Volumen 104, Número 5, 1 de octubre de 2011, páginas 1698–1705, <https://doi.org/10.1603/EC11079>

- Jing, W.A.N.; Huang, C.; Li, C.Y.; Zhou, H.X.; Ren, Y.L.; Li, Z.Y.; y Wan, F.H. (2021). Biology, invasion and management of the agricultural invader: Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). J. Integr Agric. 20(3): 646-663. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63367-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63367-6)
- Karmakar, R., Singh, S. B., & Kulshrestha, G. (2009). Kinetics and mechanism of the hydrolysis of thiamethoxam. Journal of Environmental Science and Health, Part B, 44(5), 435-441.
- Kenis, M., Benelli, G., Biondi, A., Calatayud, P. A., Day, R., Desneux, N., ... & Wu, K. (2022). Invasiveness, biology, ecology, and management of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*.
- Kulye M, Mehlhorn S, Boaventura D, Godley N, Venkatesh SK, Rudrappa T, Charan T, Rathi D, Nauen R. Susceptibilidad inicial de las poblaciones de *Spodoptera frugiperda* recolectadas en la India a diferentes clases químicas de insecticidas. Insectos. 2021;12:758. <https://doi.org/10.3390/insects12080758> .
- La resistencia a insecticidas: de los mecanismos a las estrategias de manejo. (s. f.). <https://www.phytoma.com/la-revista/phytohemeroteca/173-noviembre-2005/la-resistencia-a-insecticidas-de-los-mecanismos-a-las-estrategias-de-manejo#:~:text=La%20resistencia%20se%20origina%20por,de%20nuevo%20la%20poblaci%C3%B3n%20plaga>.
- Luna-López, A.M. (2013). Evaluación de dietas alternativas en la producción del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) bajo condiciones de laboratorio. Tesis presentada obtener el título de Ingeniero en Agrobiología. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México
- Madgwick, P. G., & Kanitz, R. (2024). What is the value of rotations to insecticide resistance management?. Pest Management Science, 80(4), 1671-1680.
- Madgwick, P. G., & Kanitz, R. (2024). What is the value of rotations to insecticide resistance management?. Pest Management Science, 80(4), 1671-1680.

- Maissa . (2015). *Biochemical and molecular study of the Bacillus thuringiensis vegetative insecticidal proteins (Vip3A) mode of action in Spodoptera species*. Dialnet.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=73874>
- Mao, K. K., Li, H. R., Zhu, J. Y., Jin, M. H., Wang, P., Peng, Y., & Xiao, Y. T. (2023). Rapid test to detect insecticide resistance in field populations of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Frontiers in Physiology*, 14, 1254765.
- Morillo, F., & Notz, A. (2001). Resistencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith)(Lepidoptera: Noctuidae) a lambdacihalotrina y metomil. *Entomotropica*, 16(2), 79-87.
- Morillo, F., & Notz, A. (2001). *Resistencia de Spodoptera frugiperda (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a lambdacihalotrina y metomil*.
http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_ento/article/view/7648
- Murúa, G., J. Molina-Ochoa, and C. Coviella. 2006. Population dynamics of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and its parasitoids in northwestern Argentina. *FL Entomol.* 89:175-182. doi:10.1653/0015-4040(2006)89[175:PDOTFA]2.0.CO;2
- National Institute of Food and Agriculture. (n.d.). *Insecticide resistance*. U.S. Department of Agriculture. <https://www.nifa.usda.gov/sites/default/files/resources/Insecticide%20resistance.pdf>
- Núñez, Velásquez 2024. Determinación de los instares larvales del gusano cogollero del maíz y reconocimiento de parasitoides y depredadores en Pamplona, Norte de Santander, Colombia.
- Orozco-Restrepo, S. M., Santos-Amaya, O. F., Miranda, M. D. S., Tavares, C. S., & Pereira, E. J. G. (2024). Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae): practical resistance of 2 Brazilian populations to Cry1A. 105+ Cry2Ab and Cry1F Bt maize. *Journal of Economic Entomology*, 117(3), 1095-1105.
- Otro(s) ingrediente(s)/inerte(s) en plaguicidas. (s. f.-b).
<https://npic.orst.edu/ingred/inert.es.html>

- Palli, S. R., Biondi, A., Desneux, N., Du Plessis, H., Le Goff, G., & Volkoff, A. N. (2023). The fall armyworm: recent advances in biology and management. *Journal of Pest Science*, 96(4), 1341-1343.
- Paudel Timilsena, B., Niassy, S., Kimathi, E., Abdel-Rahman, E. M., Seidl-Adams, I., Wamalwa, M., ... & Subramanian, S. (2022). Potential distribution of fall armyworm in Africa and beyond, considering climate change and irrigation patterns. *Scientific reports*, 12(1), 539.
- Posos-Parra, O., Mota-Sanchez, D., Pittendrigh, B. R., Wise, J. C., DiFonzo, C. D., & Patterson, E. (2024). Characterization of the inheritance of field-evolved resistance to diamides in the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*)(Lepidoptera: Noctuidae) population from Puerto Rico. *Plos one*, 19(2), e0295928
- Rebeca Gutiérrez-Moreno, David Mota-Sanchez, Carlos A Blanco, Mark E Whalon, Henry Terán-Santofimio, J Concepcion Rodriguez-Maciel, Christina DiFonzo, Field-Evolved Resistance of the Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to Synthetic Insecticides in Puerto Rico and Mexico, *Journal of Economic Entomology*, Volume 112, Issue 2, April 2019, Pages 792–802.
- Robertson, J. L., Jones, M. M., Olguin, E., & Alberts, B. (2017). *Bioassays with arthropods*. CRC press.
- Roy S, Gurusubramanian G, Mukhopadhyay A. Variación de la resistencia al endosulfán en el mosquito del té, *Helopeltis theivora* waterhouse (Heteroptera: Miridae) en la plantación de té de los Dooars subhimalayos, en el norte de Bengala occidental. India Int J Nematol Entomol. 2009;1(3):29–35.
- Rueda-Adán L. A. y Giraldo-Vanegas H. (2022). Virulencia de tres cepas locales de *Bacillus thuringiensis* (Berliner) sobre el gusano cogollero del maíz, bajo condiciones in vitro.
- Samanta, S., Barman, M., Thakur, H., Chakraborty, S., Upadhyaya, G., Roy, D., ... & Tarafdar, J. (2023). Evidence of population expansion and insecticide resistance mechanism in invasive fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*). *BMC biotechnology*, 23(1), 17.

- Spodoptera frugiperda* (LAPHFR)[World distribution]. (s/f). Eppo.int. Recuperado el 24 de mayo de 2024, de <https://gd.eppo.int/taxon/LAPHFR/distribution>
- Syngenta. (2023) (n.d.). *Engeo R: Insecticida*. <https://www.syngenta.com.co/product/crop-protection/insecticida/engeo-r>
- Tabashnik, B. E., Mota-Sanchez, D., Whalon, M. E., Hollingworth, R. M., & Carrière, Y. (2014). Defining terms for proactive management of resistance to Bt crops and pesticides. *Journal of economic entomology*, 107(2), 496-507.
- Tabashnik, B. E., Mota-Sanchez, D., Whalon, M. E., Hollingworth, R. M., & Carrière, Y. (2014). Defining terms for proactive management of resistance to Bt crops and pesticides. *Journal of economic entomology*, 107(2), 496-507.
- Tabashnik, B. E., Mota-Sanchez, D., Whalon, M. E., Hollingworth, R. M., & Carrière, Y. (2014). Defining terms for proactive management of resistance to Bt crops and pesticides. *Journal of economic entomology*, 107(2), 496-507.
- Tay, W. T., Meagher Jr, R. L., Czapak, C., & Groot, A. T. (2023). *Spodoptera frugiperda*: ecology, evolution, and management options of an invasive species. *Annual Review of Entomology*, 68, 299-317.
- Thirawut, S., Sutjaritthammajariyangkun, W., Rukkasikorn, A., Punyawattoe, P., Noonart, U., & Kobori, Y. (2023). Pesticide susceptibility monitoring of fall armyworms (*Spodoptera frugiperda* (JE Smith)): a simple methodology for information-sharing among Southeast Asian countries. *CABI Agriculture and Bioscience*, 4(1), 19
- Tian, X., Liu, J., Guo, Z., Hu, B., Kibe, M. D., Wang, S., ... & Su, J. (2018). The characteristics of voltage-gated sodium channel and the association with lambda cyhalothrin resistance in *Spodoptera exigua*. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 21(3), 1020-1027.
- Van den Berg, J., & du Plessis, H. (2022).

Vista de Efecto de *Beauveria bassiana* irradiada (UV-C) en el control de *Spodoptera frugiperda* y *Cosmopolites sordidus*. (s. f.).
<https://revistas.unsm.edu.pe/index.php/raa/article/view/541/1014>

Wazir, S., & Shad, S. A. (2022). Development of fipronil resistance, fitness cost, cross-resistance to other insecticides, stability, and risk assessment in *Oxycarenum hyalinipennis* (Costa). *Science of The Total Environment*, 803, 150026.

Wu, Y. J., Wang, B. J., Wang, M. R., Peng, Y. C., Cao, H. Q., & Sheng, C. W. (2023). Control efficacy and joint toxicity of metaflumizone mixed with chlorantraniliprole or indoxacarb against the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Pest Management Science*, 79(3), 1094-1101.

YU SJ. 1991. Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). *Pestic Biochem Physiol* 39:84-91.

Zoila, R. R., Alberto, L. S. J., Benigno, E. D., Eduardo, O. H., Agapito, P. M. J., Del Carmen, M. C. M., Zoila, R. R., Alberto, L. S. J., Benigno, E. D., Eduardo, O. H., Agapito, P. M. J., & Del Carmen, M. C. M. (s. f.). Efectos genéticos de la resistencia a *Spodoptera frugiperda* en líneas de maíz derivadas de germoplasma nativo de Tamaulipas.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342017000601329

13. ANEXOS

Anexo 1. Instrumento (planilla) para la toma de datos a las 72h y 7d de mortalidad de bioensayo con insecticidas se síntesis biológica, en laboratorio.

tratamiento	Replica	Sobrevivencia	Biomasa	Observaciones
Testigo	R1			
Testigo	R2			
Testigo	R3			
Testigo	R4			
Testigo	R5			
Testigo	R6			
Testigo	R7			
Testigo	R8			
C1	R1			
C1	R2			
C1	R3			
C1	R4			
C1	R5			
C1	R6			
C1	R7			
C1	R8			
C2	R1			
C2	R2			
C2	R3			
C2	R4			
C2	R5			
C2	R6			
C2	R7			
C2	R8			
C3	R1			

C3	R2			
C3	R3			
C3	R4			
C3	R5			
C3	R6			
C3	R7			
C3	R8			
C4	R1			
C4	R2			
C4	R3			
C4	R4			
C4	R5			
C4	R6			
C4	R7			
C4	R8			
C5	R1			
C5	R2			
C5	R3			
C5	R4			
C5	R5			
C5	R6			
C5	R7			
C5	R8			
C6	R1			
C6	R2			
C6	R3			
C6	R4			
C6	R5			
C6	R6			

C6	R7			
C6	R8			
C7	R1			
C7	R2			
C7	R3			
C7	R4			
C7	R5			
C7	R6			
C7	R7			
C7	R8			

Fuente: Autores 2024

Anexo 2. Instrumento (planilla) para la toma de datos a las 72h de mortalidad de bioensayo con insecticidas de síntesis química, en laboratorio.

tratamiento	Replica	Supervivencia	Observaciones
Testigo	R1		
Testigo	R2		
Testigo	R3		
Testigo	R4		
Testigo	R5		
Testigo	R6		
Testigo	R7		
Testigo	R8		
C1	R1		
C1	R2		
C1	R3		

C1	R4		
C1	R5		
C1	R6		
C1	R7		
C1	R8		
C2	R1		
C2	R2		
C2	R3		
C2	R4		
C2	R5		
C2	R6		
C2	R7		
C2	R8		
C3	R1		
C3	R2		
C3	R3		
C3	R4		
C3	R5		
C3	R6		
C3	R7		
C3	R8		
C4	R1		
C4	R2		

C4	R3		
C4	R4		
C4	R5		
C4	R6		
C4	R7		
C4	R8		
C5	R1		
C5	R2		
C5	R3		
C5	R4		
C5	R5		
C5	R6		
C5	R7		
C5	R8		
C6	R1		
C6	R2		
C6	R3		
C6	R4		
C6	R5		
C6	R6		
C6	R7		
C6	R8		
C7	R1		

C7	R2		
C7	R3		
C7	R4		
C7	R5		
C7	R6		
C7	R7		

fuentes: Autores 2024