

UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN AGRONOMÍA

Uso de *Bacillus popilliae* para el manejo de jobotos (Coleóptera: Scarabaeidae)
en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.), Finca Orgánica Guadalupe,
Zarcero

Trabajo Final de graduación, en modalidad tesis como requisito para optar al grado de Licenciatura en
Ingeniería en Agronomía

Bach. Jairo Josué Morales Salas

Heredia, Costa Rica
Diciembre, 2025

Trabajo de graduación aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional, para optar al grado de Licenciatura en Agronomía.

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR



M.Sc. Andrés Alpizar Naranjo

Representante del Decanato de Ciencias de la Tierra y el Mar



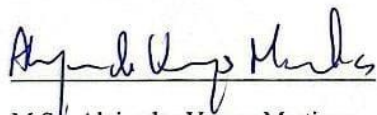
M.Sc. Alonso Calvo Araya

Dirección Escuela de Ciencias Agrarias



M.Sc. Allan González Herrera

Tutor de Tesis



M.Sc. Alejandro Vargas Martines

Asesor de Tesis



M.Sc. Arlette Orozco Muñoz

Asesor de Tesis



Bach. Jairo Josué Morales Salas

Postulante

Contenido

Resumen	8
Abstract	9
1. Introducción	10
2. Objetivos	12
2.1 General	12
2.2 Específicos	12
3. Marco teórico	13
3.1 El cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	13
3.1.1 Generalidades	13
3.1.2 Botánica	13
3.1.3 Principales zonas productoras	13
3.1.4 Principales plagas del cultivo	13
3.2 Jobotos (Coleóptera: Scarabaeidae)	14
3.2.1 Generalidades	14
3.2.2 Clasificación taxonómica	14
3.2.3 Importancia agrícola	15
3.2.4 Características morfológicas	15
3.2.5 Biología y ecología	16
3.2.6 Importancia económica y daños	17
3.3 Alternativas de manejo	17
3.3.1 Manejo cultural	17
3.3.2 Manejo químico	18
3.3.3 Manejo biológico	18
3.4 Bacterias entomopatógenas	19
3.4.1 Características generales	19
3.5 <i>Bacillus popilliae</i>	19
3.5.1 Taxonomía de <i>B. popilliae</i>	20
3.5.2 Modo de acción de <i>B. popilliae</i>	20
4. Metodología	22
4.1 Ubicación de la finca	22
4.2 Cuantificación de la población de jobotos	22

4.2.1	Recolección de muestras de adultos en trampas de luz	22
4.2.2	Recolección de muestras de larvas en suelo	23
4.2.3	Conservación y transporte de las muestras	24
4.3	Manejo agronómico del cultivo	24
4.3.1	Preparación del terreno	24
4.3.2	Establecimiento y manejo de cultivo	24
4.4	Tratamientos experimentales	25
4.4.1	Descripción de los tratamientos	25
4.4.2	Preparación de las soluciones bacterianas	26
4.4.3	Frecuencia y momento de aplicación	26
4.5	Diseño experimental	27
4.6	Variables de estudio	27
4.6.1	Porcentaje de mortalidad	28
4.6.2	Rendimiento a la cosecha	28
4.7	Análisis estadístico	29
4.8	Propuesta de un plan de Manejo Agroecológico de Plagas (MAP) con enfoque orgánico	29
5.	Resultados y discusión	30
5.1	Cuantificación de la población de jobotos	30
5.1.1	Abundancia inicial de larvas en los lotes de estudio	30
5.1.2	Determinación del umbral económico	31
5.1.3	Dinámica poblacional de adultos (2021-2023)	31
5.1.4	Relación entre abundancia de jobotos y variables climáticas	32
5.2	Efectividad de <i>B. popilliae</i> y rendimiento	38
5.2.1	Análisis descriptivo por lote	38
5.2.2	Análisis descriptivo por tratamiento	39
5.2.3	Ausencia de infección por <i>B. popilliae</i>	40
5.2.4	Factores que explican la ausencia de infección	41
5.2.5	Rendimientos productivos de los tratamientos	45
5.3	Propuesta del plan de Manejo Agroecológico de Plagas (MAP) para la Finca Orgánica Guadalupe Natural, Zarcero.	46
5.3.1	Monitoreo y seguimiento:	46
5.3.2	Prácticas culturales	47
5.3.2.1	Rotación de cultivos	47
5.3.2.2	Manejo del suelo (barbecho)	49
5.3.2.3	Labranza y exposición del suelo	50
5.3.3	Manejo mecánico y físico	51
5.3.3.1	Captura de adultos con trampas luz	51

5.3.3.2 Barreras físicas	52
5.3.1 Control biológico:	52
5.3.2 Implementación de fábrica de biofermentos	53
5.3.3 Feromonas	54
6. Conclusiones	55
7. Recomendaciones	55
8. Bibliografía	56

Lista de tablas

Tabla 1. Taxonomía de complejo (Coleóptera: Scarabaeidae).....	15
Tabla 2. Taxonomía de <i>B. popilliae</i>	20
Tabla 3. Tratamientos aplicar para el manejo de Jobotos, en la Finca Orgánica Guadalupe.....	26
Tabla 4. Cantidad de larvas por metro cuadrado en Finca Orgánica Guadalupe Natural finales de mayo a inicios de julio 2023.	30
Tabla 5. Variables climáticas del 2021 al 2023 en el periodo de abril a junio.....	33
Tabla 6. Medidas resumen de muestreos por lotes.	38
Tabla 7. Medidas resumen de larvas en plantas y larvas en suelo por tratamiento	39
Tabla 8. Rendimientos productivos de los lotes donde se realizaron los tratamientos.	45

Lista de figuras

Figura 1. Finca Orgánica Guadalupe, Zarcero	22
Figura 2. Trampas lumínicas, para las capturas de adultos de escarabajos en Finca Orgánica Guadalupe	22
Figura 3. Diseño experimental bloques completamente al azar de los tratamientos en las diferentes áreas de la Finca Orgánica Guadalupe.....	27
Figura 4. Prueba de sintomatología de larvas de escarabajos con la bacteria <i>B. popilliae</i>	28
Figura 5. Daños en sistema de radicular por larvas de Jobotos (Coleóptera: Scarabaeidae)	31
Figura 6. Dinámica poblacional de escarabajos de (Coleóptera: Scarabaeidae) de 2021 al 2023 en Finca Orgánica Guadalupe Natural.	32
Figura 7. Temperatura media promedio del 2021 al 2023	33
Figura 8. Temperaturas promedio 2021 a 2023. A. Temperaturas mínimas. B. Temperaturas máxima	35
Figura 9. Humedad relativa promedio 2021 al 2023.....	36
Figura 10. Precipitación acumulada anual Finca Orgánica Guadalupe Natural	37
Figura 11. Lote de Atrás con 100% de pérdidas de Lechugas.	40
Figura 12. Pruebas en campo de Infección de <i>B. popilliae</i>	41
Figura 13. Rotación de cultivos en Finca Orgánica Guadalupe Natural	48
Figura 14. Periodo de barbecho Finca Orgánica Guadalupe Natural	49
Figura 15. Labranza y exposición de suelo.	50
Figura 16. Trampas luz utilizadas en Finca Orgánica Guadalupe Natural	51
Figura 17. Barreras físicas, para la captura de adultos de Finca Orgánica Guadalupe Natural.....	52
Figura 18. Fábrica de biofermentos biológicos como ejemplo para Finca Orgánica Guadalupe Natural	54

Agradecimiento

Primeramente, me gustaría agradecer a mi tutor de tesis M. Sc Allan Gonzáles Herrera por todo el acompañamiento brindado durante esta investigación. De igual manera agradecer a mis asesores de tesis M. Sc Arlette Orozco Muñoz y M. Sc Alejandro Vargas Martines por todo su acompañamiento durante el proceso.

A mi familia agradezco profundamente por ser el pilar principal para salir adelante con todos los retos que surgen en el camino día a día

Y agradezco profundamente a la Universidad Nacional de Costa Rica por haberme brindado y permitirme el acceso a la educación superior para convertirme en un profesional.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres que, con su apoyo incondicional, esfuerzo y ejemplo de perseverancia, me impulsaron para lograr alcanzar esta meta profesional.

Agradezco a mis profesores a lo largo de mi carrera profesional por todo lo aprendido en el proceso y por su compromiso con la formación académica y personal del estudiante.

Resumen

En Costa Rica las fincas con producción orgánica cada vez van en aumento, este tipo de agricultura presenta retos en el manejo de plagas por su difícil manejo. El cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) es uno cultivo tradicional en la producción orgánica por su atracción en la alimentación de dietas saludables. La plaga de jobotos es la que mayores pérdidas económicas genera en la Finca Orgánica Guadalupe Natural, en cultivo de lechuga debido a los daños radiculares que causan los estadios larvales de esta plaga durante su desarrollo. Es indispensable buscar alternativas de manejo para la plaga de ahí la necesidad que surgió de evaluar la efectividad de *Bacillus popilliae* como medio de manejo biológico sobre jobotos a través de aplicaciones en drench en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), para el manejo de la plaga en Finca Orgánica Guadalupe Natural. Este trabajo de investigación se realizó con la finalidad de poseer un producto Orgánico que permita manejar las poblaciones de jobotos. Se realizó un muestreo por los diferentes lotes donde se llevaría a cabo tratamientos para conocer la cantidad de larvas de jobotos presentes en Finca Orgánica Guadalupe Natural. Así como la recolección de datos históricos de las poblaciones de adultos presentes en finca, para relacionar con las condiciones climáticas de la zona. Seguidamente, se seleccionaron bloques experimentales al azahar de cultivo de lechuga en Finca Orgánica Guadalupe Natural donde se realizaron 4 tratamientos con aplicaciones en drench con 25ml por planta con el producto Milke Spore de St. Gabriel Organics con esporas de *B. popilliae*. Durante las aplicaciones cada semana se realizó un muestreo de 5 submuestras entre plantas y suelo en cada uno de los tratamientos y en sus respectivos bloques. Esto con la finalidad de encontrar larvas de jobotos y quebrar la primera pata torácica para ver si había infestación por medio de la bacteria *B. popilliae*. Durante los muestreos realizados durante toda la investigación no se logró encontrar larvas de jobotos infectadas por los esporangios de la bacteria, lo que nos dio como resultado que el producto de Milke Spore de St. Gabriel Organics con esporas de *B. popilliae*, no presento infestación como se esperaba en Finca Orgánica Guadalupe Natural. Por lo tanto se abordaron los temas por los cuales el producto, pudo haber no funcionado, tales como lo son las condiciones climáticas, biología del insecto plaga, efecto del producto, condiciones edafológicas de la finca, la rotación de cultivos y el manejo orgánico que tiene la Finca Orgánica Guadalupe Natural.

Palabras clave: Producción orgánica, larvas, Infestación, control biológico

Abstract

In Costa Rica, farms with organic production are steadily increasing. This type of agriculture presents challenges in pest management due to its complexity. Lettuce cultivation is a traditional crop in organic production because of its appeal in healthy diets. The *jobotos* pest causes the greatest economic losses at Finca Orgánica Guadalupe Natural in lettuce crops, due to the root damage caused by the larval stages of this pest during their development. It is essential to seek alternative management strategies for this pest, hence the need arose to evaluate the effectiveness of *Bacillus popilliae* as a biological control method against *jobotos* through drench applications in lettuce (*Lactuca sativa*) cultivation, for pest management at Finca Orgánica Guadalupe Natural. This research was conducted with the purpose of developing an organic product capable of managing *jobotos* populations. Sampling was carried out in the different plots where treatments would be applied to determine the number of *jobotos* larvae present at the farm. Historical data on adult populations were also collected to relate them to the climatic conditions of the area. Subsequently, experimental lettuce plots were randomly selected at Finca Orgánica Guadalupe Natural, where four treatments were applied using drench applications of 25 ml per plant with the product *Milky Spore* from St. Gabriel Organics, containing *B. popilliae* spores. During the applications, weekly sampling was conducted, consisting of five subsamples between plants and soil in each treatment and its corresponding block. This was done to find *jobotos* larvae and to break the first thoracic leg to check for infection by *B. popilliae*. Throughout the sampling process, no *jobotos* larvae infected by bacterial sporangia were found. As a result, the product *Milky Spore* from St. Gabriel Organics containing *B. popilliae* spores did not produce the expected infection at Finca Orgánica Guadalupe Natural. Therefore, several possible factors were analyzed that could explain why the product did not work as expected, such as climatic conditions, pest insect biology, product effectiveness, soil conditions of the farm, crop rotation, and the organic management practices at Finca Orgánica Guadalupe Natural.

Keywords: Organic production, larvae, infestation, biological control

1. Introducción

El complejo de “jobotos” o “gallina ciega” pertenece a un conjunto de larvas de los adultos de escarabajos del Orden Coleóptera, que forman parte de la macrofauna de suelo y están relacionados con la agricultura, debido a las pérdidas económicas que causa en los sistemas (De Oliveira & Frizzas, 2021). La alimentación de las larvas de jobotos en el suelo se da a nivel del sistema radicular de las plantas, devorando las raíces, provocando una disminución en la capacidad de absorción de nutrientes y crecimiento plantas (Morochó et al., 2020).

Las larvas presentan hábitos masticadores y no son selectivos con la alimentación, es decir son polípagos (Ramanujam et al., 2021). Estas presentan tres pares de patas torácicas en el cuerpo en forma de “C” y de color blanco amarillento excepto por la capsula de la cabeza y sus patas torácicas (Jia et al., 2021). Atacan una gran cantidad de cultivos anuales y perennes, tales como lechuga, papa, maíz, frijol, café, pastos, cebolla, zanahoria y otros (Yineth et al., 2019).

A nivel mundial Brasil presenta pérdidas por estas plagas del 7,2% de la producción anual, aproximadamente 25 millones de toneladas de alimento (De Oliveira & Frizzas, 2021). En Ecuador esta plaga causa pérdidas del 50% de las plantaciones de maíz en la etapa de establecimiento y en México ocasiona pérdidas en maíz entre 32% y 46% de la producción (Ocampo, 2020; Wellington, 2022).

Según Abarca (1997), el cultivo de lechuga es uno de los cultivos de zonas altas que atacan las larvas de jobotos (*Coleóptera: Scarabaeidae*) causando pérdidas de hasta el 100% de los lotes de producción en las primeras 2 semanas del cultivo (Paniagua, 2023).

En Costa Rica se ha presentado pérdidas devastadoras en diferentes zonas agrícolas como Tierra Blanca de Cartago y en Alajuela en los cantones de, Poás, Grecia y Zarcero, afectando hortalizas, frutas, pastos entre otros cultivos (Acuña-Segura & Brenes-Madriz, 2020). Por ejemplo, entre el 2013 y 2016 se reportaron pérdidas de hasta un 98% en los distritos de Guadalupe, Tapasco y Las Brisas de Zarcero (Cubero, 2017).

Se han empleado diversas técnicas de manejo y erradicación para manejar esta plaga. Una de las estrategias más comunes es la aplicación de insecticidas en el suelo, pero su uso no es monitoreado adecuadamente, lo que puede causar daños a los productores, consumidores y al medio ambiente (Escobar, 2020). Por lo tanto, es fundamental buscar alternativas

sostenibles y responsables con el medio ambiente y para el manejo de la plaga, como el uso de microorganismos entomopatógenos.

Los microorganismos entomopatógenos, como hongos, bacterias, virus y nematodos, son una alternativa segura y efectiva para el manejo de plagas de insectos en la agricultura (Deans & Krischik, 2023). Estos microorganismos tienen la capacidad de infectar y matar a los insectos dañinos para los cultivos. En la agricultura, se utilizan diversos microorganismos entomopatógenos para el manejo de la gallina ciega, entre los que destacan el hongo *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, los nematodos *Heterorhabditis* spp. y *Steinernema* spp., y las bacterias del género *Bacillus* spp. (Dara, 2017).

La bacteria entomopatógena *Bacillus popilliae* es una alternativa eficiente sobre el manejo de larvas de Scarabaeidae, debido a que se ha demostrado que son susceptible al ataque de esta bacteria en su hábito subterráneo (Candel et al., 2019). Por tal motivo la utilización de microorganismo entomopatógenos es una alternativa real para luchar contra plagas de difícil manejo, sin tener ningún impacto negativo en la salud de las personas y medio ambiente (Xochilt Zelaya-Molina et al., 2022).

El propósito de esta investigación es evaluar la eficiencia de *B. popilliae* para el manejo de la plaga de jobotos en una Finca Orgánica Guadalupe, mediante la aplicación de esporas de *B. popilliae* en drench; a sí mismo conocer la diversidad de la población de jobotos en esta finca.

2. Objetivos

2.1 General

Evaluar la efectividad de *Bacillus popilliae* como medio de manejo biológico sobre jobotos (Coleóptera: Scarabaeidae) a través de aplicaciones en drench en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), para el manejo de la plaga en Finca Orgánica Guadalupe, Zarcero.

2.2 Específicos

1. Cuantificar la población de jobotos (*Coleóptera: Scarabaeidae*) presentes en Finca Orgánica Guadalupe, Zarcero.
2. Determinar el porcentaje de mortalidad de jobotos (*Coleóptera: Scarabaeidae*) y su relación con el rendimiento a cosecha por la acción de *Bacillus popilliae* como opción de manejo biológico.
3. Proponer un plan de Manejo Agroecológico de Plagas (MAP) con enfoque orgánico, sobre la población de jobotos (*Coleóptera: Scarabaeidae*) en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) en la Finca Orgánica Guadalupe, Zarcero.

3. Marco teórico

3.1 El cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.)

3.1.1 Generalidades

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) pertenece a la familia Asteraceae, una de las familias botánicas más diversas del reino vegetal. Es una hortaliza de alto consumo, especialmente en dietas saludables, y se cultiva ampliamente bajo sistemas orgánicos debido a su ciclo corto y su alta demanda comercial. Presenta una gran diversidad de tipos comerciales diferenciados principalmente por la forma y textura de sus hojas.

3.1.2 Botánica

Es un cultivo anual que posee un raíz pivotante, relativamente fibrosa y gruesa en la base, que se adelgaza en las profundidades y puede alcanzar profundidades de hasta 60 cm en suelos con alta cantidad de materia orgánica y buena humedad. La mayor cantidad de raíces de este cultivo se encuentran en la superficie, donde se da la mayor absorción de nutrientes y agua por parte de la planta. (Saavedra et al., 2017)

3.1.3 Principales zonas productoras

En Costa Rica las principales zonas productoras de Lechuga (*Lactuca Sativa* L) son Cartago y Zarcero de los cuales se contabilizan 3769 productores de Lechuga Orgánica. Según datos del Programa Integral de Mercado Agropecuario PIMA, esta hortaliza se localiza entre las 10 más consumidas en los hogares costarricenses. Partiendo de lo anterior es sumamente importante buscar alternativas de manejo a las principales plagas de lo afectan, principalmente en la agricultura orgánica (Castro et al., 2020).

3.1.4 Principales plagas del cultivo

Las plagas que afectan la lechuga y generan las mayores pérdidas económicas pertenecen principalmente a los órdenes Hemiptera, Lepidoptera, Diptera y Thysanoptera, los cuales ocasionan daños directos al follaje, disminución del área fotosintética y reducción del rendimiento comercial (Saavedra et al., 2017).

Adicionalmente, en sistemas de producción orgánica adquiere especial relevancia el orden Coleoptera, debido a que sus estados larvales particularmente el conocido como jobotos o gallina

ciega representan una amenaza significativa. Según la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, 2008), este orden tiene una importancia económica considerable en cultivos hortícolas orgánicos. Cifuentes et al. (2024) señalan que las larvas atacan el sistema radicular, causando la muerte de plantas jóvenes y limitando el crecimiento de aquellas que sobreviven, lo que afecta directamente el rendimiento del cultivo.

3.2 Jobotos (Coleóptera: Scarabaeidae)

3.2.1 Generalidades

Los jobotos, también conocidos como gallina ciega o abejones de mayo, corresponden al estado larval de diversas especies de escarabajos de la familia Scarabaeidae. Este grupo es objeto de estudio constante debido a su amplia distribución, diversidad biológica y la importancia económica que representa para múltiples sistemas agrícolas.

El ciclo de vida del complejo incluye cuatro etapas: huevo, larva, pupa y adulto (García, 2004, como se citó en Wellington, 2022). Dependiendo de la especie, el ciclo puede ser anual o bianual; las especies de ciclo anual suelen encontrarse en altitudes superiores a los 1500 m s. n. m. Las larvas presentan hábitos subterráneos y se alimentan principalmente de las raíces de una gran variedad de cultivos agrícolas (Ramanujam et al., 2021).

Los jobotos afectan cultivos como frijol, maíz, caña de azúcar, papa, zanahoria, cebolla, tomate, café, rábano y lechuga, entre muchos otros. Las larvas avanzadas se desplazan a través del sistema radicular, devorando raíces primarias y secundarias. Tradicionalmente, su manejo se ha basado en insecticidas de suelo, pero su uso genera riesgos ambientales y de inocuidad alimentaria. Por ello, se requiere un manejo integrado que permita mantener las poblaciones por debajo del umbral económico (Deans & Krischik, 2023).

Según Morocho (2020, como se citó en Wellington, 2022), el hábito subterráneo de las larvas las hace susceptibles a agentes entomopatógenos presentes en el suelo, lo cual abre la posibilidad de emplear microorganismos como alternativa de control. Entre los agentes más utilizados se encuentran los hongos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, nematodos entomopatógenos de los géneros *Heterorhabditis* y *Steinernema*, y bacterias del género *Bacillus*, los cuales han mostrado eficacia en el control de larvas de gallina ciega (Glare et al., 2017).

3.2.2 Clasificación taxonómica

Los escarabajos pertenecen al phylum *Arthropoda*, caracterizado por organismos con exoesqueleto y apéndices articulados. Se ubican dentro del subfilo *Hexapoda* por poseer seis patas, y forman parte de la clase *Insecta*, el grupo más diverso del reino animal. Dentro de esta clase, el orden *Coleoptera* se distingue por presentar élitros, o alas anteriores endurecidas. El suborden más representativo para este grupo es *Polyphaga*, que incluye a la familia *Scarabaeidae*, en la cual se encuentran los jobotos (Bentrál & Cuevas, 2019).

Tabla 1. *Taxonomía de complejo (Coleóptera: Scarabaeidae)*

Reino	Animalia
Phylum	Artrópoda
Subfilo	Hexapoda
Clase	Insecta
Orden	Coleóptera
Suborden	Polyphaga

Nota. De Bentrál & Cuevas (2019)

3.2.3 Importancia agrícola

En Costa Rica, los jobotos constituyen una plaga de gran relevancia agrícola. Se han registrado al menos 931 especies pertenecientes a la superfamilia Scarabaeoidea, aunque esta cifra continúa aumentando con los nuevos registros y estudios taxonómicos (Bentrál & Cuevas, 2019). Los adultos presentan una notable variabilidad morfológica en cuanto a tamaño, color y hábitos, dependiendo de la especie (Solís, 2020).

A nivel internacional, el complejo es considerado una de las plagas subterráneas más destructivas. En Estados Unidos se reportan pérdidas anuales superiores a los 450 millones de dólares; en India las principales afectaciones recaen sobre la caña de azúcar, y en Brasil sobre cultivos como café, caña, soya y maíz (Deans & Krischik, 2023).

3.2.4 Características morfológicas

Las larvas presentan morfología escarabeiforme, con cuerpo blando, grueso y curvado en

forma de “C”. Son de color blanco cremoso, con la región posterior más ensanchada y frecuentemente más oscura debido al contenido intestinal. Poseen tres pares de patas torácicas bien desarrolladas, cápsula cefálica endurecida de color café-amarillento y mandíbulas fuertes adaptadas para cortar raíces, características que facilitan su identificación (Wellington, 2022; Ocampo, 2020).

3.2.5 Biología y ecología

El ciclo biológico inicia con la emergencia de los adultos, seguida de la cópula y la oviposición. Las hembras depositan los huevos a 5–10 cm de profundidad; estos son blancos, alargados y posteriormente adquieren forma esférica y coloración perlada (Wellington, 2022). A partir de la eclosión, las larvas atraviesan tres estadios larvales. Durante los dos primeros, su alimentación se basa en materia orgánica y raíces tiernas; en el tercer estadio incrementan su voracidad y causan los mayores daños fisiológicos al cultivo (Gyawaly et al., 2016).

Su ubicación en el perfil del suelo depende de factores como humedad y tipo de cultivo, aunque comúnmente se encuentran en los primeros 30 cm (Wellington, 2022). Tras completar su desarrollo, construyen una cámara pupal con suelo y excretas, donde permanecen hasta la llegada de las primeras lluvias, que estimulan la emergencia de los adultos (Acuña-Segura & Brenes-Madriz, 2020).

En Costa Rica se presenta una alta diversidad de especies de Scarabaeidae con importancia agrícola. Entre los géneros reportados con mayor frecuencia se encuentran *Anomala*, *Cyclocephala*, *Diplotaxis*, *Dyscinetus*, *Isonychus*, *Macroductylus*, *Pelidnota*, *Phyllophaga*, y *Tomarus* (Solís, 2021).

La composición de especies varía entre regiones agrícolas, influenciada por condiciones como altitud, tipo de suelo, humedad y uso del suelo. Por ejemplo, *Phyllophaga spp.* suele encontrarse por debajo de los 2500 m s. n. m., mientras que *Cyclocephala spp.* se asocia más frecuentemente a zonas alrededor de los 1700 m s. n. m. (Hilje & Cubillo, 2017).

Estudios en Tárcoles, Bajo Tempisque, San Carlos, Valle del General, Valle Central Occidental y Zarcero han identificado que las especies dominantes difieren en cada zona,

destacando diferentes especies del género *Anomala* según el sitio (Solís, 2021; Morón, 2000).

3.2.6 Importancia económica y daños

Los jobotos son plagas altamente polífagas, capaces de alimentarse de raíces de numerosos cultivos, incluyendo hortalizas, granos básicos, frutales y cultivos perennes. Las larvas son la fase más dañina, ya que consumen las raíces principales, lo que reduce la absorción de agua y nutrientes y provoca marchitez, deficiencias y muerte de plantas jóvenes.

En Zarcero, por ejemplo, se han reportado pérdidas de hasta un 98% en hortalizas como lechuga debido a infestaciones severas (Cubero, 2017). Los daños varían según el cultivo: en frijol y maíz pueden destruir completamente las raíces durante la emergencia, mientras que en papa y camote dejan galerías que disminuyen el valor comercial del producto. En lechuga provocan amarillamiento, retraso en el crecimiento y finalmente la pérdida total de la planta (Solís, 2020; Escobar, 2020).

3.3 Alternativas de manejo

Esta plaga es de difícil manejo debido a sus hábitos subterráneo durante el estado que mayor afectación causa a los sistemas productivos. Por tal motivo, no se pueden observar los daños iniciales de la plaga, lo que provoca que los daños se observen cuando son irreversibles. Además, los síntomas suelen confundirse con deficiencias nutricionales, falta de agua y otras enfermedades (Mansfield et al., 2020).

3.3.1 Manejo cultural

Este método permite reducir las poblaciones de la plaga. Entre las alternativas esta lo colocación de trampas luminosas con un recipiente de agua con jabón debajo para que los abejones atraídos por la luz se ahoguen en el agua (Fuentes, 2020). Otra alternativa es el barbecho y revolver el suelo para exponer las larvas a la luz solar para su muerte y a depredadores como las aves, esto se recomienda realizar de 1 a 2 meses después de la salida de los adultos debido que es cuando las larvas comisan a realizar daños después de la eclosión del huevo. Por otra parte, el aumento de la microbiología del suelo es indispensable debido a que entre mayor vida presente el suelo mayor cantidad de enemigos naturales hongos presentaran las larvas de jobotos (Fuentes, 2020).

3.3.2 Manejo químico

Existen una gran cantidad de insecticidas para el manejo de larvas de gallina ciega, debido a su bajo costo y rápida aplicación (Kumar & Pandey, 2022). La problemática es que los residuos de estos insecticidas quedan en los alimentos exponiendo a los consumidores y agricultores a tener problemas futuros de salud. Por tal motivo, cada día se buscan alternativas biológicas como los bioplaguicidas para el manejo de plagas a nivel mundial, por su bajo impacto en la salud de las personas y para la protección del medio ambiente.

Para el manejo de los adultos (escarabajos) se utiliza un insecticida de contacto como piretroides que se aplica en las horas de la tarde y donde se agrupen las mayores cantidades de adultos para evitar la reproducción (Mansfield et al., 2020). Con el manejo de las larvas se debe aplicar el insecticida en forma de drench y asegurarse que el suelo este húmedo para garantizar la movilidad del insecticida. Para obtener una mayor efectividad en el manejo de larvas se deben aplicar en el instar L1 donde la larva es más débil y el insecticida trabajara mejor. Existen una gran cantidad de insecticidas utilizado como fipronil, organofosforado, neonicotinoide, etc. (Kumar & Pandey, 2022).

3.3.3 Manejo biológico

A nivel mundial las investigaciones por buscar microorganismos entomopatógenos para el manejo del complejo de larvas de orden coleóptera no se detienen, seguidamente se siguen probando nuevos microorganismos para obtener nuevas alternativas. Por ejemplo, se conocen 3 especies de bacterias *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus sphericus* y *Penibacillus popilliae* con capacidad de infestación de insectos de la orden coleóptera. En Costa Rica se descubrieron un complejo de bacterias nativas identificadas como *Bacillus cerus* y *Erwinia* spp., que mostraron un 100% de mortalidad para los huevos y larvas de los tres estadios larvales de *Phyllophaga menetriesi* y *P. obsoleta* (Escobar, 2020).

Por otra parte, los hongos entomopatógenos ofrecen oportunidades para el manejo de gallina ciega, los géneros que más se han utilizado para el manejo de esta plaga son *Beauveria*, *Metarhizium*, *Entomophthora*, *Verticillium* y *Paecilomyces* (Chandel et al., 2019). También los nematodos entomopatógenos como *Heterorhabditis bacteriophora*, *Steinernema glaseri* y *Steinernema feltiae* son efectivos para reducir las poblaciones de gallina ciega (Sarwar & Mukhtar,

2021).

3.4 Bacterias entomopatógenas

3.4.1 Características generales

Las bacterias entomopatógenas pertenecen al reino de los procariotas unicelulares, organismos que carecen de membrana nuclear y cuyo material genético permanece libre en el citoplasma. Desde una perspectiva microbiológica, estos microorganismos se clasifican en dos grandes grupos: *Gram-positivas* y *Gram-negativas*, diferenciadas por la estructura de su pared celular (Jiménez García, 2019).

Las bacterias *Gram-positivas* suelen presentar morfología de cocos o bacilos y pueden ser aerobias o anaeróbicas facultativas. Una característica clave es su capacidad para formar esporas de resistencia, estructuras altamente duraderas que les permiten sobrevivir en condiciones adversas de temperatura, humedad, radiación o escasez de nutrientes (Dara, 2017). Esta propiedad facilita su producción, formulación, almacenamiento y persistencia en el campo, lo que las hace especialmente adecuadas como agentes de biocontrol.

Por el contrario, las bacterias *Gram-negativas*, aunque también poseen formas variadas (cocos o bacilos), generalmente no forman esporas, lo que limita su estabilidad y dificulta su producción a escala comercial (Glare et al., 2017). Sin embargo, algunas especies presentan mecanismos alternativos de persistencia y también pueden actuar como patógenos efectivos en ciertas plagas.

Las bacterias entomopatógenas ejercen su acción principalmente mediante la producción de toxinas o complejos proteicos que afectan la integridad del intestino medio del insecto. Una vez ingeridas, las toxinas pueden provocar perforaciones en el epitelio intestinal, septicemia y muerte del hospedero. En otros casos, la infección se desarrolla de manera sistémica, donde la bacteria coloniza la hemolinfa y otros tejidos, causando la muerte del insecto en pocos días (Mehrotra et al., 2017).

3.5 *Bacillus popilliae*

Es una bacteria *gran* positiva, que se caracteriza por causar la enfermedad lechosa en las larvas de los escarabajos, reduciendo las poblaciones de larvas hasta un 50% en los sistemas productivos (Dara, 2017). *B. popilliae* corresponde a una bacteria entomopatógeno que cuenta con

la capacidad de producir cuerpos parasporales proteicos que son las toxinas de las bacterias que tienen actividad insecticida sobre las larvas de escarabajos (Glare et al., 2017). Siendo una de las bacterias más utilizadas alrededor del mundo. En la Tabla 3. se observa la taxonomía *B. popilliae* bacteria que utilizan en la industria agrícola para el manejo de larvas de jobotos.

3.5.1 Taxonomía de *B. popilliae*

Tabla 2. Taxonomía de *B. popilliae*

Reino	Bacterias
Filo	Firmicutes
Clase	Bacilos
Orden	Bacillales
Familia	Paenibacillaceae
Género	<i>Paenibacillus</i>
Especie	<i>popilliae</i>

Fuente: (Jiménez García, 2019)

3.5.2 Modo de acción de *B. popilliae*

La ingesta ocurre cuando las larvas se alimentan de materia orgánica o raíces del suelo y al mismo tiempo ingieren los cuerpos paraesporales que son las estructuras de multiplicación de la bacteria, que se encuentran en el suelo (Pedraza et al., 2020^a). Una vez ingeridos van a intestino medio donde germinan debido al medio alcalino del intestino. Seguidamente las toxinas germinadas penetran en el epitelio del intestino medio para alcanzar el lado luminal de la membrana basal, donde causa la lisis celular y posteriormente la muerte de larva del insecto (Pedraza et al., 2020^a). Con la muerte del insecto la bacteria coloniza todo el cuerpo de la larva aumenta la cantidad de cuerpos paraesporales en el suelo, aumentando su efectiva durante periodos más largos (Jiménez, 2019).

La ingesta ocurre cuando las larvas se alimentan de materia orgánica o raíces del suelo y al mismo tiempo ingieren los cuerpos paraesporales que son las estructuras de multiplicación de la bacteria, que se encuentran en el suelo (Pedraza et al., 2020).

La infección en las larvas comienza cuando estas ingieren esporas bacterianas que germinan en el intestino ante condiciones alcalinas (Beard, 1945). Seguidamente, las esporas penetran en el epitelio del intestino medio para alcanzar el lado luminal de la membrana basal, donde mediante toxinas causan lisis celular y posteriormente la muerte de la larva del insecto (Pedraza et al., 2020). Durante el proceso, tanto las esporas como los cuerpos paraesporales se acumulan en la sangre del insecto, produciendo el característico aspecto blanquecino que da nombre a la enfermedad (Klein & Jackson, 1995), (Jiménez, 2019).

Bacillus popilliae se considera un patógeno verdadero porque cumple con los postulados de Koch aplicados al escarabajo japonés, pues siempre está presente en larvas enfermas, puede cultivarse en laboratorio, reproduce los síntomas al inocularse en insectos susceptibles y puede aislarse nuevamente conservando sus características originales. (Bulla et al., 1978)

El ciclo de infección se divide en cuatro fases:

1. Incubación (días 1–2): pocas bacterias presentes.
2. Proliferación (días 3–5): rápido crecimiento de células vegetativas y aparición de preesporas y algunas esporas.
3. Transición (días 5–10): disminuye el crecimiento vegetativo y aumenta la formación de preesporas y esporas.
4. Esporulación (días 14–21): ocurre una esporulación masiva que provoca la muerte de la larva.

En la fase intermedia, las preesporas representan entre el 20–35% de la población en los días 5–6 y aumentan hasta un 40–80% hacia el día 10 (Klein & Jackson, 1992). En la fase final, las células vegetativas y preesporas disminuyen mientras las esporas se acumulan en grandes cantidades, alcanzando hasta 5×10^9 esporas por larva, lo que le da el aspecto lechoso característico (St. Julian et al., 1972). Este proceso no es sincrónico: el crecimiento vegetativo y la esporulación ocurren de manera simultánea y progresiva (Klein & Jackson, 1995).

La cantidad de esporas necesarias para inducir la enfermedad no está claramente definida, aunque se sabe que una sola espora no es suficiente (Dutky, 1940). Experimentos demostraron que dosis de entre 1×10^3 y 2×10^6 esporas pueden provocar infección, y que su virulencia depende de la edad de las esporas, siendo las frescas más letales que las envejecidas (Sharpe et al., 1973). Por ejemplo, 4×10^6 esporas frescas por gramo de suelo matan al 96% de las larvas, mientras que la misma cantidad de esporas envejecidas solo mata al 50% (St. Julian et al., 1968). En contraste, basta con inyectar 140 células vegetativas sanas para enfermar al 63% de una población larvaria

(St. Julian et al., 1970).

4. Metodología

4.1 Ubicación de la finca

La presente investigación se llevó a cabo en la Finca Orgánica Guadalupe Natural (Figura 1), ubicada en el Cantón de Zarcero de la provincia de Alajuela, (10.18093-84.40515), durante el segundo semestre del año 2023. Esta Finca tiene una extensión de 10 hectáreas de terreno para el cultivo de hortalizas, presenta una topografía irregular, cuenta con tres áreas el frontal, superior y posterior. Las condiciones ambientales para la zona de estudio son temperatura que oscila entre los 13 a 25 °C, con una humedad relativa del 85% y con una altura de 1736 m.s.n.m.

Figura 1. *Finca Orgánica Guadalupe, Zarcero*



Nota: Tomado de Google Maps, 2025.

4.2 Cuantificación de la población de jobotos

4.2.1 Recolección de muestras de adultos en trampas de luz

La Finca Orgánica Guadalupe cuenta con trampas de luz instaladas en la periferia de los lotes de cultivo. Cada trampa está conformada por un estañón con un orificio de 50 × 40 cm y un bombillo de luz púrpura en el interior (Figura 2). Estas trampas se utilizan de manera rutinaria para el monitoreo de escarabajos adultos en la finca.

Figura 2. *Trampas lumínicas, para las capturas de adultos de escarabajos en Finca Orgánica Guadalupe*



La recolección de las muestras se realizó una vez por semana, donde se pesó el total de adultos capturados en todas las trampas instaladas en coordinación con la Finca Orgánica Guadalupe Natural donde se obtuvieron los registros diarios de las poblaciones de adultos.

Adicionalmente, se obtuvieron los registros de las poblaciones en kilogramos que los registros diarios de la Finca Orgánica Guadalupe Natural, diaria desde el 2021 al 2023, se elaboró una comparación entre estas y las poblaciones muestreadas durante el periodo de estudio.

Posteriormente con el fin de evaluar la posible influencia de factores ambientales sobre la dinámica poblacional, se descargaron datos climáticos del conjunto *ERA5-Land* mediante la plataforma Google Earth Engine, correspondientes al periodo 2021–2023. De las siguientes variables climáticas temperatura media promedio (°C), temperatura máxima promedio (°C), Temperatura mínima promedio (°C), Humedad relativa promedio (%) y la precipitación anual acumulada (mm).

4.2.2 Recolección de muestras de larvas en suelo

El muestreo de larvas se realizó considerando la profundidad del sistema radicular de los cultivos presentes en la finca (generalmente menor a 0,5 m) y la distribución vertical conocida de las larvas de Scarabaeidae, que suelen ubicarse entre 2 y 28 cm de profundidad (Ramírez & Castro, 2000, como se citó en Bran, 2016; Cifuentes, 2024). Por ello, todas las submuestras se realizaron a una profundidad estándar de 30 cm y un ancho aproximado de 10 cm, escalando posteriormente los datos a 1 m² de suelo.

Se estableció un esquema de muestreo compuesto por 10 submuestras por área durante 10 semanas consecutivas. El muestreo se llevó a cabo con un palín, extrayendo el bloque de suelo correspondiente a la profundidad establecida. Cada submuestra se depositó sobre un plástico para

facilitar la separación manual y el conteo de larvas.

Las larvas recolectadas en cada submuestra se colocaron inmediatamente en recipientes plásticos protegidos de la luz solar directa para evitar su deterioro durante el trabajo en campo.

4.2.3 Conservación y transporte de las muestras

Una vez completado el muestreo en cada área, las larvas se conservaron mediante un procedimiento térmico inicial para evitar su descomposición. Para ello, se calentaron 500 mL de agua en un microondas por 5 minutos, hasta alcanzar punto de ebullición, y posteriormente se sumergieron las larvas durante unos minutos para garantizar su inactivación.

Después del escaldado, las larvas se almacenaron en alcohol al 70%, rotuladas según el área y la fecha de muestreo. Finalmente, las muestras se trasladaron al Laboratorio de Entomología Agrícola de la Universidad Nacional (UNA) para su posterior análisis, clasificación y registro.

4.3 Manejo agronómico del cultivo

El manejo agronómico del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), variedad Frezze, se desarrolló siguiendo las prácticas estándar de la Finca Orgánica Guadalupe, con la única modificación relacionada con la aplicación del tratamiento biológico evaluado. Las labores incluyeron la preparación del terreno, el establecimiento del cultivo y las labores de mantenimiento durante el ciclo vegetativo.

4.3.1 Preparación del terreno

La preparación del terreno se realizó manualmente utilizando palas de aporca, siguiendo las prácticas habituales de manejo orgánico de la finca. Se construyeron eras de 50 cm de ancho por 10 m de largo. Posteriormente, se definió la distancia de siembra de la variedad Frezze, utilizando un espaciamiento de 25 cm entre plantas, acorde con las recomendaciones técnicas para producción orgánica de lechuga en sistemas intensivos.

4.3.2 Establecimiento y manejo de cultivo

Las plántulas de lechuga fueron trasplantadas una semana después de la germinación en el semillero. En cuanto al manejo agronómico del cultivo incluyendo labores de riego, fertilización

orgánica, manejo de malezas y prácticas culturales se realizó conforme al plan de manejo de la Finca Orgánica Guadalupe. Este plan está basado en principios agroecológicos y prácticas certificadas para la producción orgánica.

La única modificación con respecto al manejo convencional de la finca correspondió al control biológico del complejo jobotos, para lo cual se aplicó el producto Milky Spore®, cuyo ingrediente activo es *Bacillus popilliae*. Las aplicaciones se realizaron en modalidad de drench, con frecuencia semanal, durante todo el ciclo del cultivo. Esta práctica se integró dentro del diseño experimental para evaluar la efectividad del microorganismo bajo condiciones de campo.

4.4 Tratamientos experimentales

Los tratamientos evaluados se diseñaron con el fin de determinar la eficacia de *Bacillus popilliae* como agente de control biológico del complejo jobotos en el cultivo de lechuga. Se empleó el producto comercial Milky Spore®, cuyo ingrediente activo es *Bacillus popilliae*, junto con formulaciones complementarias destinadas a potenciar su actividad biológica.

4.4.1 Descripción de los tratamientos

El producto Milky Spore® (St. Gabriel Organics, Estados Unidos) fue adquirido mediante autorización especial del Servicio Fitosanitario del Estado (SFE), dado que no se encuentra registrado en Costa Rica. El producto se presenta en envases de 9 kg y contiene esporas viables de *Bacillus popilliae* a una concentración de 0,0006 UFC, indicada para inducir la enfermedad lechosa en larvas de escarabajos (Coleoptera: Scarabaeidae). Según el fabricante, la dosis estándar está formulada para una cobertura efectiva de aproximadamente 650 m².

Se establecieron cuatro tratamientos experimentales con el propósito de evaluar la eficacia de *Bacillus popilliae* bajo diferentes condiciones de aplicación y formulación.

El Tratamiento 1 (T1) consistió en la aplicación del producto comercial Milky Spore® (MS), el producto se diluyó en agua siguiendo la dosis recomendada por el fabricante, utilizándose como referencia para comparar el efecto del microorganismo en su formulación estándar.

El Tratamiento 2 (T2) correspondió a la combinación de Milky Spore® con un potencializador biológico, formulación diseñada para favorecer la activación y multiplicación de la bacteria previo a su aplicación en campo. Este potencializador estuvo compuesto por suero de leche sin sal (1,87 L), sulfato de magnesio (94 g), melaza (300 mL) y agua (4,3 L), a los cuales se incorporaron 150 g de Milky

Spore®. La mezcla fue sometida a un proceso de incubación durante tres días, con el fin de promover el desarrollo bacteriano y aumentar su concentración activa antes del tratamiento.

El Tratamiento 3 (T3) incluyó únicamente el potencializador, sin adición de Milky Spore®, con el objetivo de identificar efectos independientes de la mezcla sobre el cultivo o sobre la población de jobotos.

Finalmente, el Tratamiento 4 (T4) correspondió al testigo absoluto, en el cual no se aplicó Milky Spore® ni el potencializador, permitiendo establecer una referencia base para la comparación de los demás tratamientos.

Tabla 3. *Tratamientos aplicar para el manejo de Jobotos, en la Finca Orgánica Guadalupe*

Código	Tratamiento	Dosis ml/planta
T1	Milky Spore	25ml
T2	Milky Spore +Potencializador	25ml
T3	Potencializador	25ml
T4	Testigo	25ml

4.4.2 Preparación de las soluciones bacterianas

Para la preparación de las soluciones de aplicación, se utilizó una bomba de espalda manual calibrada para dispensar 25 mL por planta. El volumen total de mezcla requerido por bomba fue de 4,3 L, permitiendo cubrir todas las plantas asignadas por tratamiento.

La cantidad total de Milky Spore® utilizada para los tratamientos T1 y T2 fue de 150 g, lo que corresponde a una dosis aproximada de 0,87 g de esporas/planta por aplicación. Esta preparación se elaboró semanalmente para asegurar la viabilidad de las esporas y la frescura del potencializador.

4.4.3 Frecuencia y momento de aplicación

Los tratamientos fueron aplicados mediante la técnica de drench, utilizando una lanza diseñada para depositar la solución directamente en la base de cada planta, asegurando así la infiltración del producto en la zona radicular. Las aplicaciones se efectuaron con una frecuencia semanal, iniciando inmediatamente después del trasplante y manteniéndose durante todo el ciclo productivo del cultivo de lechuga. Cada tratamiento se aplicó sobre un total de 172 plantas, lo que

permitió una evaluación de la variabilidad biológica y del efecto acumulativo del microorganismo en el suelo.

4.5 Diseño experimental

La unidad experimental corresponde a las áreas donde se aplicaron los tratamientos y la observacional corresponde a las plantas de lechuga. En cuanto a la estructura de tratamiento es bifactorial con interacción, donde el primer factor tiene cuatro niveles correspondientes a T1, T2, T3 y T4 y el segundo factor sería las evaluaciones con siete evaluaciones. Cada combinación de factores tendrá tres repeticiones y en cuanto a la estructura de la parcela al ser heterogénea se establecerá un diseño de bloques completamente al azar (DBCA).

Donde en la Finca se establecieron tres áreas para realizar los tratamientos, el Área Frontal, con Área Superior y Área Atrás.

Figura 3. *Diseño experimental bloques completamente al azar de los tratamientos en las diferentes áreas de la Finca Orgánica Guadalupe.*

Área Frontal



Área Superior



Área Atrás



4.6 Variables de estudio

Para evaluar la eficacia de *Bacillus popilliae* y sus distintas formulaciones, se definieron y midieron dos variables principales el porcentaje de mortalidad de larvas de jobotos y rendimiento del cultivo de lechuga. Adicionalmente, se recopilaron variables ambientales con el fin de contextualizar los resultados y explorar posibles relaciones con la dinámica poblacional del insecto.

4.6.1 Porcentaje de mortalidad

La mortalidad larval se evaluó una semana después de cada aplicación del tratamiento. Para ello, se realizaron muestreos sistemáticos en cada lote experimental mediante dos procedimientos complementarios:

1. Muestreo entre surcos: Se realizaron cinco submuestras por lote, extrayendo bloques de suelo a 30 cm de profundidad para identificar y cuantificar larvas presentes en la rizósfera inmediata del cultivo.
2. Muestreo en plantas: Se seleccionaron aleatoriamente cinco plantas por lote, las cuales fueron extraídas cuidadosamente para inspeccionar el sistema radicular y cuantificar la presencia de larvas.

Para determinar la posible infección por *Bacillus popilliae*, cada larva recolectada se sometió a una prueba de diagnóstico visual, consistente en la remoción del primer par de patas torácicas. La exudación de un fluido lechoso blanquecino se consideró como indicador positivo de infección, siguiendo el protocolo descrito por Klein (2023) (Figura 4).

El porcentaje de mortalidad se calculó mediante la relación entre larvas encontradas infectadas y el total de larvas recolectadas por tratamiento.

Figura 4. Prueba de sintomatología de larvas de escarabajos con la bacteria *B. popilliae*



Nota. De Klein, (2023)

4.6.2 Rendimiento a la cosecha

Esta variable de estudio se evaluó en semana siete, cuando se cosecho el producto para el mercado nacional. Para cada tratamiento se registraron dos indicadores: número total de plantas cosechadas, producción total obtenida por lote

4.7 Análisis estadístico

Para determinar el efecto de los tratamientos sobre las variables de respuesta estudiadas (larvas infectadas y rendimiento productivo), se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para un diseño completamente aleatorizado y el modelo lineal es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \gamma_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

con: $i = 1 \dots x, \quad j = 1 \dots x, \quad k = 1 \dots x$

Con:

Y_{ijk} : variable de respuesta del i-ésimo factor de fertilización, j-ésimo factor de producto y la k-ésima repetición.

μ : media general

α_i : efecto de la i-ésimo factor de A.

γ_j : efecto de la j-ésimo factor de B

δ_{ij} : efecto adicional (interacción) para la combinación de los niveles i del factor de A y j factor de B.

ε_{ijk} : término de error que se distribuye normal independiente con media cero y varianza constante. '

Se comprobó los supuestos del ANOVA con gráficos diagnósticos (cuantiles de los términos de error, gráficos de residuos y gráficos de residuos vs. predichos) y se escogió el mejor modelo en función de los criterios de Akaike (AIC) y de información Bayesiano (BIC). En las variables donde existieron diferencias estadísticas entre los tratamientos, se realizó las comparaciones de medias por medio de la prueba de Prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC) ($p \leq 0.05$) permitiendo la formación de grupos excluyentes y no transición entre tratamientos. Por medio del software R (Posit Software, PBC. (2023).

Con respecto al análisis estadístico se realizó un ANOVA de una vía y al no dar diferencia significancia, ($P > 0,5$), por lo que se realizó un análisis descriptivo de los datos.

4.8 Propuesta de un plan de Manejo Agroecológico de Plagas (MAP) con enfoque orgánico

Una vez que se cuantifico la población de jobotos por sectores en Finca y evaluada la

efectividad de *B. popilliae*, se propuso un plan de Manejo Agroecológico de Plagas (MAP) con enfoque orgánico para el manejo de esta plaga.

Este plan pretende brindar alternativas complementarias al manejo actual que realiza la Finca Orgánica Guadalupe Natural. Con el objetivo de mejorar el manejo en finca y reducir las pérdidas económicas causadas por la plaga.

5. Resultados y discusión

5.1 Cuantificación de la población de jobotos

5.1.1 Abundancia inicial de larvas en los lotes de estudio

La cuantificación inicial permitió determinar la abundancia de larvas de jobotos en cada uno de los lotes muestreados antes de la aplicación de los tratamientos. En la Tabla 4 se presenta el número de larvas por metro cuadrado registradas entre mayo y julio de 2023. Los datos muestran un aumento progresivo de larvas en los tres lotes conforme avanzaron las semanas del muestreo. En los lotes Frontal y Atrás, no se detectaron larvas durante las primeras cuatro semanas; sin embargo, ambos lotes mostraron incrementos significativos a partir de la semana cinco, alcanzando los valores más altos en la semana diez. En contraste, el lote Superior presentó larvas desde la primera semana, manteniendo niveles relativamente constantes hasta el final del periodo.

Tabla 4. Cantidad de larvas por metro cuadrado en Finca Orgánica Guadalupe Natural finales de mayo a inicios de julio 2023.

Cantidad de larvas en lotes 1m ²			
Fecha	Frontal	Superior	Atrás
03/5/2023	0	7	0
10/5/2023	0	10	0
17/5/2023	0	30	0
23/5/2023	0	43	3
31/5/2023	13	37	7
07/6/2023	7	67	43
13/6/2023	17	63	27
19/6/2023	43	77	60
27/6/2023	20	40	37
05/7/2023	80	70	73

Este comportamiento indica que la plaga tiene un patrón de incremento asociado al avance

de la estación lluviosa, lo cual coincide con lo reportado en literatura, donde las mayores abundancias larvales se presentan tras las primeras lluvias del invierno (Ramírez & Castro, 2000; Solís, 2020).

5.1.2 Determinación del umbral económico

Por medio de los muestreos realizados en la Finca Orgánica Guadalupe Natural se determinó un umbral económico de una larva por planta, ya que una sola larva de jobotos (Coleóptera: Scarabaeidae) es capaz de destruir totalmente el sistema radicular del cultivo de lechuga y provocar la muerte total de la planta, como se evidencia en la Figura 6.

Este resultado coincide con Cifuentes (2024) y Pérez-Agis et al. (2014), quienes señalan que los jobotos son altamente destructivos incluso en bajas densidades, justificando la necesidad de un monitoreo constante y un manejo preventivo.

Figura 5. *Daños en sistema de radicular por larvas de Jobotos (Coleóptera: Scarabaeidae)*



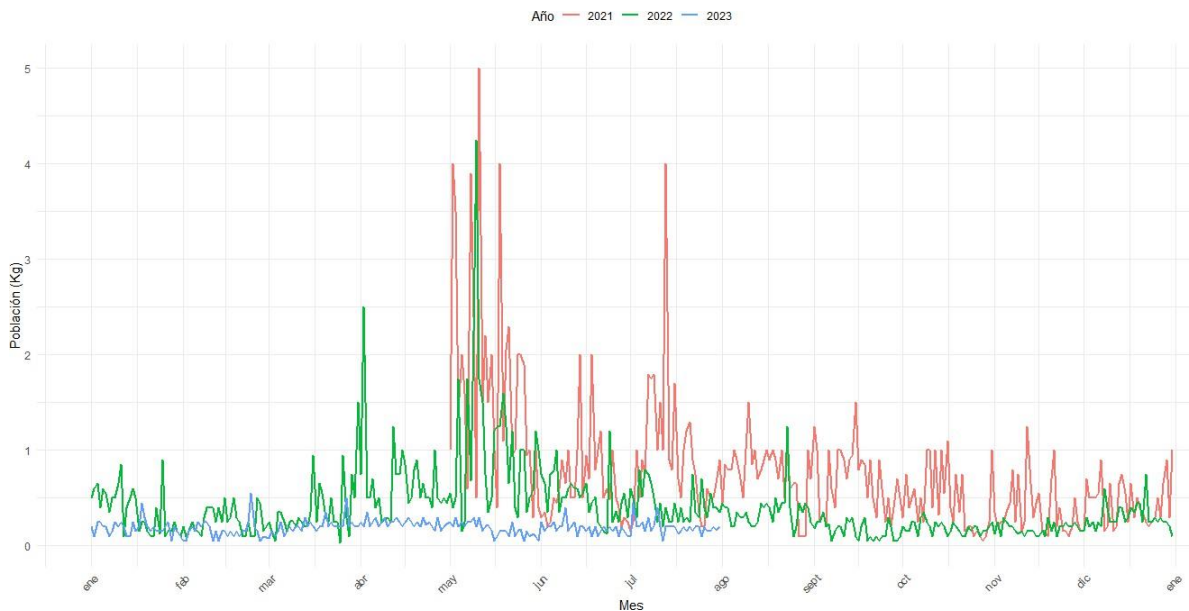
5.1.3 Dinámica poblacional de adultos (2021-2023)

Seguidamente, en la figura 6 se presenta la dinámica poblacional de escarabajos del periodo de junio 2021 a agosto 2023 mediante trampas de luz. Los datos indican que la plaga estuvo presente durante todo el año, aunque con picos más altos entre mayo y julio, lo cual refleja una

alteración del ciclo biológico tradicionalmente (Abarca & Quesada, 1997; Calberto, 2004; Pérez-Agis et al., 2014).

Este patrón coincide con reportes de Hilje et al. (2017), quienes afirman que la presencia continua de adultos prolonga el periodo de oviposición y dificulta el manejo integrado de la plaga. Asimismo, los mayores picos poblacionales registrados en 2021 y 2022 se asocian a las mayores tasas de daño productivo reportadas por la finca.

Figura 6. Dinámica poblacional de escarabajos de (*Coleóptera: Scarabaeidae*) de 2021 al 2023 en Finca Orgánica Guadalupe Natural.



5.1.4 Relación entre abundancia de jobotos y variables climáticas

Con respecto a las variables climáticas se realizó una comparación desde el 2021 al 2023 específicamente en el periodo de abril a junio, que corresponde a la época en la que los escarabajos de la familia Scarabaeidae emergen a la superficie para reproducirse (Solís 2020). Este análisis permitió determinar si cambios en la temperatura, humedad o precipitación durante la época de reproducción pudieron influir en la disminución observada de las poblaciones de escarabajos y larvas en 2023, en comparación con los 2 años anteriores.

Al comparar estos datos se observa como la temperatura media estuvo 1,0°C más caliente en el 2023 que en el 2022 y 0,7°C más caliente que en el 2021. En cuanto a la temperatura máxima en

2023 estuvo 2,1°C más caliente que el 2022 y 1,6°C más caliente que el 2021. Por otra parte, las temperaturas mínimas de la zona de estudio se mantuvieron estables durante los tres años. Y analizando, la humedad relativa se observa como en el 2023 estuvo 8,3% menos de humedad relativa y en el 2021 6,3 % está disminución de humedad relativa está relacionado con el aumento de temperatura del 2023.

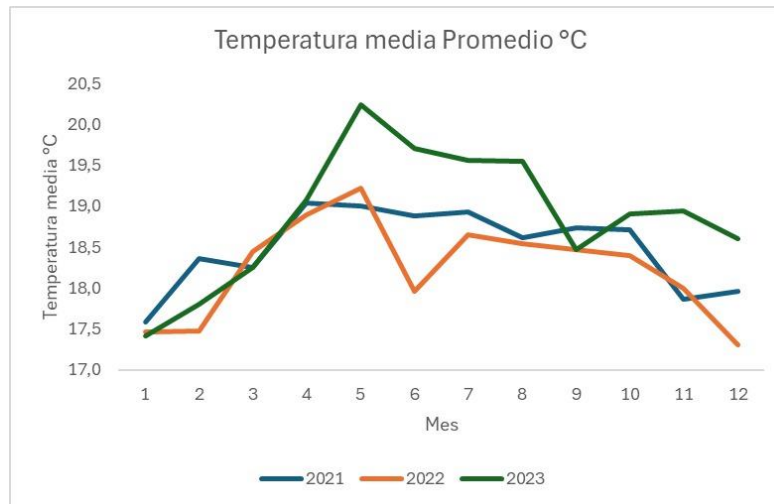
Además, se observa una disminución en la precipitación acumulada en el 2023 en el periodo de abril a junio. En 2023 fue de 139,88mm, mientras que en el 2022 y 2021 fue 384,31 y 218,01 respectivamente. Según Ramírez y Castro (2000), citado por Bran (2016) las primeras lluvias de la entrada del invierno son las que permiten el humedecimiento del suelo y les permite a los adultos de escarabajos (Coleóptera: Scarabaeidae) salir a la superficie, por tal motivo esta podría ser una de las razones por la que en el años 2023 en Finca Orgánica Guadalupe Natural hubo una disminución en las poblaciones, esto en relación con el aumento de las temperatura en el periodo del 2023 y las disminución de la Humedad relativa en este mismo periodo.

Tabla 5. *Variables climáticas del 2021 al 2023 en el periodo de abril a junio.*

Variable Climática	Año		
	2021	2022	2023
Temperatura Media °C	18,98	18,70	19,67
Temperatura Máxima °C	22,81	22,38	24,42
Temperatura Mínima °C	16,65	16,56	16,51
Humedad relativa Media %	88,57	90,28	82,03
Precipitación mm	218,01	384,31	139,88

En relación con la temperatura media promedio de la Finca Orgánica Guadalupe Natural desde el 2021 al 2023. Se observa claramente en la Figura 7, como la temperatura del 2023 estuvo, más caliente desde abril a setiembre en comparación al 2022 y 2021

Figura 7. *Temperatura media promedio del 2021 al 2023*

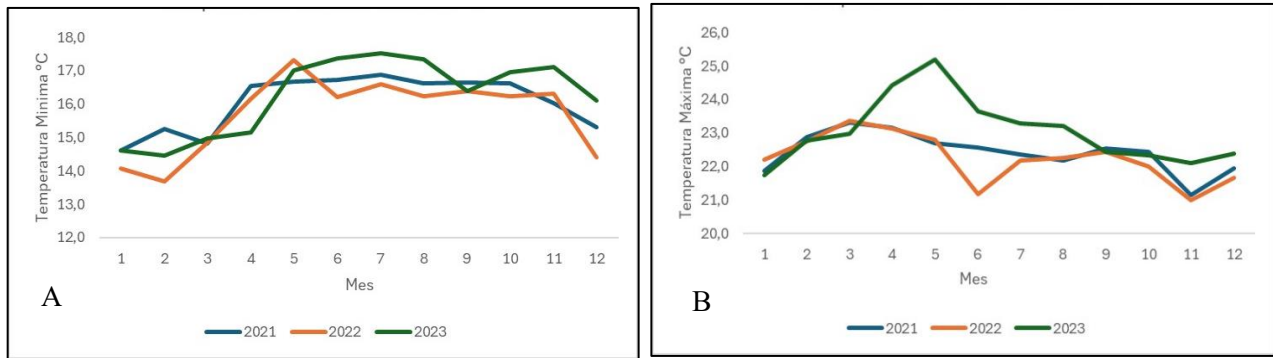


Fuente: Elaborado a partir de Excel

Según Bran (2016), como se cita en, Cifuentes (2024) la temperatura óptima para la eclosión de los huevos y el desarrollo larval es $26^{\circ}\text{C} + 2^{\circ}\text{C}$, en el suelo por lo que un aumento significativo en la temperatura exterior de la zona pueda afectar el ciclo biológico de los jobotos (Coleóptera: Scarabaeidae). Con los considerables aumentos en la temperatura en el 2023 podría ser una de las variables que haya disminuido las poblaciones de jobotos, porque al aumentar la temperatura exterior y disminuir la precipitación en el 2023 las temperaturas del suelo probablemente aumentaron.

En la Figura 8A se observan se observa las temperaturas mínimas promedio del 2021 al 2023 en la Finca Orgánica Guadalupe Natural. A lo largo del periodo de 3 años no se observaron diferencias marcadas, se mantuvieron constantes durante el periodo abril a junio desde 2021 al 2023. Cuando se analizan máximas promedio en el año 2023, en el periodo de abril a junio se obtuvo $25,2^{\circ}\text{C}$, mientras que en el 2022 y 2021 se presentaron temperatura máxima promedio de $23,2^{\circ}\text{C}$ una diferencia de 2°C más caliente el 2023 con respecto a 2022 y 2021 (Figura 8B).

Figura 8. *Temperaturas promedio 2021 a 2023. A. Temperaturas mínimas. B. Temperaturas máxima*

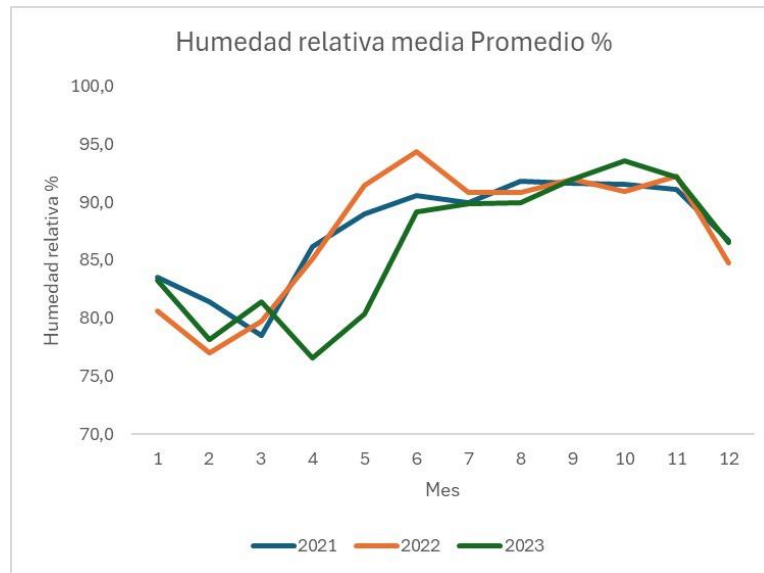


Nota: Elabora a partir de Excel

Según Ramírez & Castro (2000, como se cita en Aragón, 2005), las temperaturas bajas en zonas altas causan una disminución en el desarrollo larval, por lo que dura más tiempo en llegar a pupa y además reduce la movilidad de las larvas en el suelo. Por otra parte Acuña & Brenes (2020) indican que las temperaturas de suelos superiores a los 26° afectan los estadios larvales de la plaga de jobotos (Coleóptera: Scarabaeidae), reduciendo el porcentaje de eclosión de huevos y alargando el periodo de estadios larvales, por lo que están más tiempo expuestos a los microorganismos entomopatógenos en el suelo. En relación con los resultados obtenidos esto, no se vio influenciado en las poblaciones muestreadas debido a que el porcentaje de infestación fue cero%.

Con respecto a la humedad relativa promedio del 2021 al 2023 se logra observar la época seca de diciembre a abril y la época lluviosa de mayo a noviembre, donde en la época lluviosa la humedad relativa se mantiene cercana al 90% durante 6 meses y en la época seca cercana al 75%. Como se mencionó anteriormente en el periodo de abril a junio del 2023 la temperatura aumento, en este mismo periodo se observa como la humedad relativa bajó considerablemente. En el 2023 la humedad relativa promedio para el periodo de abril a junio fue de 82,03% mientras que para el 2022 y 2021 fue 90,3% y 88,6% respectivamente.

Figura 9. *Humedad relativa promedio 2021 al 2023.*

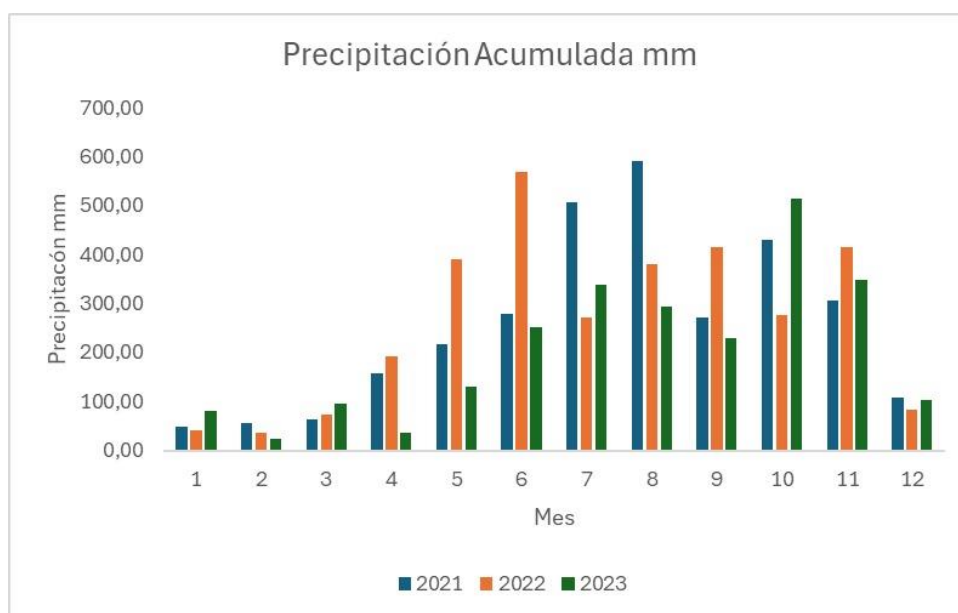


Nota. Elaborado a partir de Excel

Según Aragón (2005, como se cita en Bran, 2016) la humedad Óptimas del suelo para un óptimo desarrollo del ciclo biológico de la plaga es 70% + 5%. Por tal motivo una disminución de la humedad relativa exterior puede afectar significativa el ciclo biológico de la plaga, creando un suelo más seco donde la plaga se va a ver afectada, la salida de los adultos por un suelo más duro, disminución de la eclosión de huevos y afectación en el tiempo de crecimiento de los estadios larvales.

Seguidamente se presenta la precipitación acumulada en milímetros de la Finca Orgánica Guadalupe Natural, donde para el 2021 y 2022 se presentó una precipitación acumulada anual de 3038,34mm y 3148,26 mm respectivamente. Para el 2023 la precipitación acumulada anual fue de 2447,16mm de lluvia por metro cuadrado, presentando una reducción de lluvias de 33% con respecto al 2022 y 20% con respecto al 2021 en este periodo.

Figura 10. *Precipitación acumulada anual Finca Orgánica Guadalupe Natural*



Nota. Elaborado a partir de Excel

Por otra parte, se comparó la época de surgimiento de la plaga en la Finca Orgánica Guadalupe Natural que va de abril a junio. Según Bran (2016, como se cita en Solís, 2020) las primeras lluvias de la entrada del invierno en el mes de abril, activa las poblaciones de adultos de escarabajos (Coleóptera: Scarabaeidae), por tal motivo una disminución de las lluvias en esta época, que se puede presentar como un verano más largo puede afectar considerablemente en ciclo biológico de la plaga. Porque el suelo al no estar con buena humedad dificulta la salida de adultos a la superficie para reproducirse y ovipositar los huevos en el suelo (Cifuentes, 2024). Por otra parte, al suelo no tener las condiciones óptimas de humedad por las lluvias se reduce el porcentaje de eclosión de los huevos (Pérez., 2014).

Como se muestra en la Tabla 6 para el periodo de abril a junio para los años 2021 y 2022 se presentó una precipitación acumulada de 218,01mm y 384,31mm respectivamente. Como se muestra en la Figura 6 estos años fueron los que se presentaron las mayores poblaciones de Escarabajos (Coleóptera: Scarabaeidae) en Finca Orgánica Guadalupe Natural y los años que mayores pérdidas económica se han presentado (Paniagua, 2023). Por otra parte, como se observa en la Tabla 6 para el año 2023 la precipitación acumulada para los meses de abril a junio fue de 139,88mm lo que representa un 74% menos de lluvia en comparación con el año 2022 y una disminución del 36% de precipitación acumulado en este periodo en el 2021. Esta podría ser una

de las razones por la disminución de la población de escarabajos y jobotos (Coleóptera: Scarabaeidae) para el 2023.

5.2 Efectividad de *B. popilliae* y rendimiento

5.2.1 Análisis descriptivo por lote

A continuación, se presentan un análisis descriptivo de la media, mediana y desviación estándar de las muestras de los lotes y tratamientos realizados en Finca Orgánica Guadalupe Natural, donde los datos obtenidos no mostraron significancia estadística donde larvas planta tratamiento presentó un p-valor de 1,49 y larvas suelo ~tratamiento presentó un p-valor de 1,18. Por este motivo, se realizó un análisis descriptivo con el fin de identificar posibles tendencias en la presencia de larvas en suelo, como larvas en planta.

Se logra observar en la Tabla 6 como la media más alta se presentaron en el lote de atrás con una media de 0,11 en larvas en plantas y 0,10 larvas en suelo. Donde se presentaron mayor cantidad de larvas y donde se obtuvieron los rendimientos productivos del lote más bajos. Seguidos por los lotes Frontal con 0,05 larvas en planta y 0,04 larvas en planta. El lote Superior fue el que presentó la menor media 0,03 en larvas en planta y 0,04 en larvas en suelo, presentando la menor cantidad de larvas.

Con respecto a la mediana de los lotes fue 0,0 tanto en larvas con plantas como en larvas en suelo, lo que refleja una distribución altamente sesgada hacia valores bajos o nulos y confirma que la mayoría de las observaciones estuvieron libres de infestación.

Tabla 6. Medidas resumen de muestreos por lotes.

Lote	Larvas en plantas			Larvas en suelo			Proporción Infectadas	n
	Media	Mediana	SD	Media	Mediana	SD		
Atrás	0,11	0,00	0,31	0,10	0,00	0,30	0,00	168,00
Frontal	0,05	0,00	0,25	0,04	0,00	0,19	0,00	168,00
Superior	0,03	0,00	0,20	0,04	0,00	0,20	0,00	168,00

La desviación estándar se logra observar que los datos presentan un poco de variabilidad por estar un poco alejado de la media, lo cual se debe a focos de infestación de larvas localizados

en cierta parte del lote.

5.2.2 Análisis descriptivo por tratamiento

La Tabla 7 presenta las medidas resumen de larvas en plantas y en suelo para cada tratamiento evaluado. En forma general, se observa que los valores promedios de larvas fueron bajos en todos los tratamientos, lo cual indica una presencia reducida de la plaga en el sitio de estudio. En plantas, el tratamiento T-P registró la media más baja (0,03 larvas), mientras que los tratamientos T-BP y T-T alcanzaron los valores más altos (0,09 larvas). Sin embargo, el coeficiente de variación (C.V.) fue elevado en todos los tratamientos, especialmente en T-P (682,79 %) y T-T (355,49 %), lo cual refleja una alta variabilidad y una distribución poco uniforme de la plaga entre las repeticiones.

En cuanto a larvas en suelo, se evidencia un comportamiento similar: los tratamientos T-BP y T-T registraron la media más alta (0,07 y 0,08), mientras que T-BPP y T-P mostraron los valores más bajos (0,04). Al igual que en muestras en plantas, los coeficientes de variación fueron altos (341,95 % a 493,90 %), lo que indica que la presencia de larvas en suelo también fue muy variable entre las unidades evaluadas. En todos los tratamientos el valor mínimo fue 0, confirmando ausencia de larvas en varias repeticiones, mientras que el valor máximo fue 1 o 2, lo que evidencia la poca población de la plaga de jobotos en la zona de estudio.

Tabla 7. Medidas resumen de larvas en plantas y larvas en suelo por tratamiento

Tratamiento	Larvas en Plantas					Tratamiento	Larvas en Suelo				
	Media	D.E.	C.V	Mín	Max		Media	D.E.	C.V	Mín.	Max
T-BP	0,09	0,28	324,63	0	1	T-BP	0,07	0,27	341,95	0	1
T-BPP	0,05	0,21	449,00	0	1	T-BPP	0,04	0,20	493,90	0	1
T-P	0,03	0,22	682,79	0	2	T-P	0,04	0,20	493,90	0	1
T-T	0,09	0,31	355,49	0	2	T-T	0,08	0,27	341,95	0	1

Figura 11. Lote de Atrás con 100% de pérdidas de Lechugas.



5.2.3 Ausencia de infección por *B. popilliae*

En el lote frontal los valores de la media de presencia de larvas fueron considerablemente más bajos, los tratamientos T-BPP y T-P presentaron medias de 0, lo que presenta una baja efectividad del producto aplicado. Porque la proporción de infestación en este lote las larvas que salieron fue 0% de infestación no se lograron observar la coloración lechosa en los jobotos encontrados. Solamente los tratamientos T-BP y T-T presentaron una leve presencia de larvas en el lote, pero de igual manera con 0% de proporción de infestación.

En el lote Superior de igual manera las medias de presencia de larvas se mantuvieron bajas entre 0,0 y 0,05 indicando una baja incidencias de larvas en el lote. De igual manera en proporción de infestación fue 0%. La desviación estándar fue más baja en el lote superior, que en el lote de Atrás lo que demuestra una mayor uniformidad de la plaga en el lote. En todos los muestreos realizados de suelo y plantas las larvas de jobotos que se lograron capturar se les realizó la prueba de positivo para bacteria *B. popilliae*. Esta consiste en quebrar una de sus patas, y observar si sale una leche blanca es positivo para *B. popilliae* como se observa en la (Figura 4).

Como se observa en la Tabla 6, la proporción de infección de larvas encontradas fue de 0% por lo que el producto Milky Spore a base de colonias de *B. popilliae* no obtuvo el resultado esperado. Según Serrano (2007), (Klein, 2023), (Pedraza et al., 2020)). La efectividad de los

productos biológicos se puede ver influenciada por donde se probaron y se logra determinar el porcentaje de infestación, debido a que la mayoría de los productos biológicos se prueban en laboratorio, pero a la hora de probarlos en campos no funcionan según lo esperado (Henao, 2016).

Figura 12. Pruebas en campo de Infección de *B. popilliae*



Los tratamientos realizados en Finca Orgánica Guadalupe Natural para el manejo de la plaga de jobotos con el producto Milky Spore fabricado por St. Gabriel Organics tuvo 0% de infestación por la bacteria en todas las larvas que se muestrearon en campo como se observa en la Figura 11, uno de los lotes presento 100% de perdidas en la producción por lo que el efecto de infestación de las bacterias no se presentó.

5.2.4 Factores que explican la ausencia de infección

Según Mcguire & Northfield (2020, como se cita en Gómez, 2018) existe una gran cantidad de factores que pueden haber interferido en el efecto del producto, como biología del efecto plaga, eficiencia del producto en campo, condiciones climáticas de la zona y las condiciones de la finca donde interfieren variables como edafología, rotación de la finca, y el manejo que se le da a la finca. A continuación, se discuten estos factores que puede haber afectado la eficiencia y eficacia del producto Milky Spore a base de esporas de *B. popilliae*.

Es importante conocer el ciclo biológico y comportamiento del insecto plaga, porque permite realizar un mejor manejo de esta. En esta investigación no se logró evidenciar la infestación del Producto Milky spore con esporas de *B. popilliae*. Primeramente, las poblaciones larvales muestreadas como muestra la Tabla 8, las medias fueron cercanas a 0, y las larvas muestreadas no presentaron infestación como se observa en la figura 12. Según Calberto (2004) y Wellington (2022), el estado larval de jobotos (Coleóptera: Scarabaeidae) puede ayudar a la infestación de la plaga debido a que estados larvales de plaga juveniles tiene la cutícula más delgada y están más expuestos a la infestación por bacterias como *B. popilliae*.

Se debe considerar que la efectividad de los productos biológicos depende principalmente de las unidades formadoras de colonias que se mantengan activas y en gran cantidad (Ruiz-Lao et al., 2022). Las unidades formadoras de colonias del producto Milke Spore tenía 0,0006 UFC. Según Acuña (2019), todo tipo de microorganismo, incluyendo *B. popilliae* es indispensable una dosis alta de UFC para lograr el establecimiento o colonización de suelo, para poder competir con otros microorganismos entomopatógenos que se encuentran en el suelo por alimento y espacio. Una vez establecidos en el suelo es donde las larvas de jobotos (Coleóptera: Scarabaeidae) van a ser infestadas por la acción del esporangio de *B. popilliae* que produce en las larvas la infección lechosa, ocasionando la muerte (Acuña et al., 2020). Por lo que el producto no presentó infestación en larvas. Según Henao (2016) las fincas orgánicas tienen un consorcio microbiana mucho más elevado que las fincas con manejo tradicional, por lo que el establecimiento de otros microorganismos entomopatógenos en el suelo es muy difícil. La Finca Orgánica Guadalupe Natural tiene un manejo orgánico de más de 20 años por lo que quizá, por tal motivo, la baja cantidad de UFC que presenta el producto Milke Spore podría ser la causa por la que no funciona.

Las condiciones climáticas pueden influir directamente con el desarrollo de la plaga, como se sabe el inicio de la plaga inicia en mayo con las primeras lluvias donde los adultos emergen del suelo para reproducirse y ovipositar los huevos (Solís, 2020). Las lluvias por la tarde noche cuando salen a reproducirse afecta su vuelo, por lo que altas precipitaciones afecta la cantidad de adultos que se puedan reproducir (Solís, 2020).

Por otra parte, los huevos necesitan de un rango de temperatura entre 20 °C y 30°C para eclosionar, por lo que condiciones climáticas secas, no favorecen la eclosión de los huevos,

reduciendo las poblaciones de jobotos en el suelo (Pérez-Agis et al., 2014). Según Calberto (2004) los niveles de humedad en el suelo alto también favorecen la movilización de los estados larvales por el suelo, afectando más áreas de los cultivos sembrados. Por lo que podría ser una de las razones por la que no se encontró una alta población de jobotos (Coleóptera: Scarabaeidae) por la alta movilización que tiene en el suelo.

Los suelos de Guadalupe Natural se consideran del orden Andisol y se caracterizan por su coloración negra, debido a su origen volcánico, constituido por cenizas, piedra pómez y lavas; además suelen contener altos valores en contenido de materia orgánica (Alvarado y Forsythe, 2005).

Estos suelos se caracterizan por un manejo donde se aportan grandes cantidades de abonos orgánicos descompuestos por microorganismos, además de la gran cantidad de consorcios microbianos que se aplican al suelo. Por lo que la plaga de jobotos está en contacto en el suelo con una gran abundancia y diversidad de microorganismo entomopatógenos que crean resistencia en esta plaga, por lo que encontrar cepas que los parasiten cada vez es más difícil. Esta podría ser la razón por la cual en Finca Orgánica Guadalupe Natural no presentó infestación con el producto Milke Spore con esporas de *B. popilliae* por la resistencia que ha creado la plaga (Acuña et al., 2020).

Un punto importante es que en la Finca Orgánica Guadalupe Natural se establece un plan anual de rotación de cultivos, según las demandas del mercado, la fenología de cada cultivo y la aptitud agrícola de cada lote, cultivándose en su mayoría cultivos hortícolas de ciclo anual, por ejemplo, lechuga (*Lactuca sativa*), repollo (*Brassica oleracea* var. *capitata*), brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), rábano (*Raphanus sativus*), culantro (*Coriandrum sativum*), Kale (*Brassica oleracea* var. *sabellica*), acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla*), remolacha (*Beta vulgaris*), chile dulce (*Capsicum annum*), cebollino (*Allium schoenoprasum*), puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*), tomate (*Solanum lycopersicum*), calabacín (*Cucurbita pepo*), pepino (*Cucumis sativus*), cebolla (*Allium cepa*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y ajo (*Allium sativum*).

Así mismo se cultivan plantas de cobertura como sorgo forrajero (*Sorghum* sp.) y avena forrajera (*Avena sativa*) entre ciclos de los cultivos hortícolas como una herramienta dentro de la estrategia de manejo y prevención del programa integral de plagas y enfermedades, así mismo para incorporar abono verde a los suelos desgastados.

Según Pérez (2023), la rotación de cultivos ayuda al manejo de la plaga de jobotos (Coleóptera: Scarabaeidae), porque rompe el ciclo biológico de la plaga con la preparación del suelo

nuevamente para otro cultivo, existe un periodo de descanso del suelo donde la plaga no va a tener alimento, por lo que van a migrar, la distribución de las raíces por rotación de cultivo va a cambiar realizando que la plaga tenga que movilizarse más en suelo (Fuentes, 2020).

En cuanto al manejo general de la finca Guadalupe Natural, desde hace más de 30 años se desarrollan prácticas agrícolas bajo la normativa nacional de Agricultura Orgánica, y sus prácticas han sido certificadas por KIWA y el Programa Bandera Azul Ecológica, donde para cada uno de los ciclos de productivos de los diversos cultivos se utilizan métodos de control biológico y botánico para manejo de plagas y enfermedades, basados en la fenología del cultivo, la biología de los insectos plaga y el comportamiento de las variables climatológicas, a partir del monitoreo de las poblaciones de insectos mediante trampas de luz y muestreos en campo.

Además, las prácticas de conservación de suelo como las siembras a contorno, la incorporación de materia orgánica composteada, los cultivos de cobertura y el riego por aspersión y goteo son otras herramientas para el desarrollo sostenible y responsable de los cultivos, donde la tecnificación, la producción de alimentos responsable y los más altos estándares de calidad e inocuidad han permitido que Guadalupe Natural se haya establecido como uno de los productores y comercializadores de hortalizas orgánicas con mayor posicionamiento en el mercado costarricense.

Por tal motivo, todo este manejo diferenciado que recibe la Finca Orgánica Guadalupe natural lo convierte en un ecosistema muy diverso donde la plaga de jobotos se ha logrado establecer y todos estos factores de manejo dificultan aún más su manejo agronómico.

Con todo lo analizado en esta investigación se pretende aportar información valiosa para el manejo de jobotos en fincas orgánicas, los principales puntos que se deben de tener en cuenta para realizar un manejo integrado de esta plaga. Aún quedan áreas donde se puede profundizar y es indispensable para realizar un manejo integrado de la plaga. Como lo es la identificación taxonómica de los diferentes especímenes de insectos que se encuentran en la finca.

Lo ideal, es lograr llegar a la identificación de género y especie. Según Morón (1998), (Pérez (2014), (Zamora (2015), citado por Cifuentes (2024) la identificación a nivel de género y especie permite comprender los hábitos de vuelo, alimentación y reproducción de los diferentes especímenes. Debido a que las especies tienen comportamientos diferentes durante el año, esto garantiza tener un criterio más fuerte para realizar un manejo integrado de la plaga principalmente

en Finca Orgánica Guadalupe Natural.

5.2.5 Rendimientos productivos de los tratamientos

En este apartado, se observa el rendimiento productivo de los tratamientos aplicados en campo por lote. Donde se observar que el rendimiento productivo más bajo se presentó en el lote Atrás donde todos los tratamientos tuvieron 0% de rendimiento productivo debido a que la población por Jobotos afecto bastante al lote y el *B. popilliae* no logro infectar la población de jobotos.

En el lote Frontal el tratamiento que tuvo mejor rendimiento productivo fue el T-BP con un rendimiento productivo del 52,91% y el tratamiento con menor rendimiento productivo fue el T-T con tan solo un 35,47% de rendimiento

Para el lote Superior el tratamiento que tuvo mejor rendimiento productivo fue el T-T con un 61,6% de rendimiento productivo y el tratamiento que presentó menor rendimiento productivo en el lote Superior fue el tratamiento T-BPP con solo un 18,02% de la producción cosechada.

Tabla 8. Rendimientos productivos de los lotes donde se realizaron los tratamientos.

Rendimiento de tratamientos				
Lote	Tratamiento	Total	Cosechadas	Rendimiento
Frontal	T-P	172	85,00	49,42%
Frontal	T-BPP	172	78,00	45,35%
Frontal	T-BP	172	91,00	52,91%
Frontal	T-T	172	61,00	35,47%
Superior	T-T	172	106,00	61,63%
Superior	T-BP	172	79,00	45,93%
Superior	T-P	172	55,00	31,98%
Superior	T-BPP	172	31,00	18,02%
Atrás	T-BP	172	3,00	1,74%
Atrás	T-P	172	1,00	0,58%
Atrás	T-BPP	172	1,00	0,58%
Atrás	T-T	172	1,00	0,58%

Los daños causados por la plaga de jobotos en cultivo de lechuga son devastadores por la disminución en el rendimiento productivos de los lotes. Según Perez (2024) existen 5 factores que pueden aumentar la distribución de larvas de jobotos en el suelo, estos son físicos, biológicos, fertilidad del suelo, temperatura y precipitación de la zona.

Conocer los factores que pueden aumentarla distribución de larvas en el suelo, permite realizar un manejo integrado de la plaga de jobotos (Coleóptera: Scarabaeidae) , permitiendo a la Finca Orgánica Guadalupe Natural manejar indicadores productivos estables para disminuir las pérdidas anuales (Moreno (2018) y (Cifuentes, (2024).

5.3 Propuesta del plan de Manejo Agroecológico de Plagas (MAP) para la Finca Orgánica Guadalupe Natural, Zarcero.

Con los resultados obtenidos con la aplicación del Producto Milke Spore con esporas de *B. Popillae* y el análisis de los datos, se realizó la elaboración de un Plan de Manejo Agroecológico de Plagas (MAP), cuyo objetivo es proporcionar un conjunto de estrategias y alternativas para el manejo de la plaga de jobotos (Coleóptera: Scarabaeidae) en finca Orgánica Guadalupe Natural. Priorizando el monitoreo y seguimiento de la plaga como base para la toma de decisiones. Dado que algunas herramientas de control biológico no fueron evaluadas directamente en esta investigación, se optó por integrar únicamente prácticas acordes con los resultados obtenidos, la disponibilidad en finca y las condiciones agroecológicas locales.

Este plan está compuesto por diversas prácticas agroecológicas las cuales se desarrollan a continuación

5.3.1 Monitoreo y seguimiento:

El monitoreo y seguimiento de la plaga de jobotos en finca tiene que ser diario, como se observa en la figura 7 los aumentos en la dinámica poblacional se dan en los meses de mayo a julio por lo que en este periodo es donde la finca debe estar más atento e implementar el plan de monitoreo y seguimiento para reducir las pérdidas productivas lo máximo posible (Acuña et al., 2020).

Se recomienda establecer un monitoreo sistemático y estandarizado de larvas en suelo, especialmente en lotes con historial de daño.

Metodología propuesta se detalla a continuación:

- Muestreos diarios en época crítica (mayo- junio)
- Muestreos semanales el resto el año
- Realizar 5 submuestras por eras del cultivo
- Muestrear a una profundidad de 30 a 50 cm y en lotes con alta incidencia de daños realizar muestreos destructivos para conocer la cantidad de larvas reales en suelo, por la alta movilidad que tiene la plaga.
- Llevar registro por estadio larval (L1, L2, y L3) para conocer el estadio larval que se encuentra la plaga.
- Los indicadores de registro del seguimiento y monitoreo de la plaga se deben llevar como la presencia de larvas con síntomas de enfermedad, humedad del suelo y cultivo presente.
- Utilizar los registros climáticos de la finca y los registros de las poblaciones para buscar tendencias de la plaga que permita a la finca tomar decisiones oportunas de cuando realizar aplicaciones en campo para el manejo de la plaga

5.3.2 Prácticas culturales

5.3.2.1 Rotación de cultivos

La rotación de cultivos constituye una de las prácticas culturales más efectivas dentro del manejo agroecológico de plagas, ya que permite reducir de forma natural la presión de insectos y enfermedades en el sistema productivo. Al alterar especies vegetales en el tiempo, se interrumpe la disponibilidad continua de alimento para la plaga, lo que dificulta su establecimiento y reproducción (Alvarado et al., 2024).

En la plaga de jobotos, la rotación de cultivos resulta especialmente beneficiosa debido a que implica una nueva preparación del terreno de siembra entre ciclos productivos. Esta labor provoca la exposición de las larvas presentes en el suelo a condiciones adversas como la radiación solar y la acción de depredadores naturales como aves y anfibios, lo que ayuda a disminuir las

poblaciones (Houben, 2020; Loewy, 2017)

Para realizar un esquema de rotación de cultivos en Finca Orgánica Guadalupe Natural es indispensable analizar cuales cultivos tienen tolerancia radicular a la plaga y efecto sobre la plaga. Según Bran (2016) es de suma importancia que la época de umbral económico de la plaga más alto que se centra de junio a setiembre cuando los estadios larvales se encuentran L2 y L3 que son los más voraces (Cifuentes et al., 2024). En este momento es recomendable utilizar cultivos como la cebolla (*Allium cepa*) que presenta raíces fibrosas y son poco atractivas para alimentación de las larvas. El Ajo (*Allium sativum*) tiene compuestos azufrados que funcionan como repelentes en el suelo y el Apio (*Apium graveolens*) es otro cultivo que también posee raíces aromáticas y fibrosas poco apetecibles para la alimentación de las larvas de jobotos (Sánchez, et al., 2015). En los periodos de mayor infestación de la plaga se recomienda mejor no utilizar cultivo de lechugas debido a que como se observa en la Figura 6 es muy susceptible a la plaga (*Lactuca sativa*).

Como se observa en la Figura 13 se realizó una rotación de cultivo donde se sembró trigo, al cambiar de un cultivo de periodo de cosecha más largo, se rompió el ciclo biológico del insecto plaga, permitió que las nuevas siembras no presentaran altas incidencia de jobotos.

Por lo que la práctica de rotación de cultivos es una herramienta valiosa para disminuir la presión de la plaga en temporada alta de infestación

Figura 13. Rotación de cultivos en Finca Orgánica Guadalupe Natural



5.3.2.2 Manejo del suelo (barbecho)

La implementación de áreas de finca que se dejen durante un periodo de tiempo si utilizar para la agricultura, permite romper con el ciclo biológico de la plaga, por ejemplo, en época seca cuando se deja un suelo en descanso, los niveles de humedad de ese suelo disminuyen hasta punto de marchitez permanente (Novillo et al., 2018). Lo que hace que el desarrollo de una plaga como los jobotos no se pueda desarrollar por falta de humedad para eclosión de los huevos. Además de que no cuentan con alimento para su desarrollo larval. Como se muestra en la Figura 14, se observa como un terreno en periodo de Barbecho de 6 meses época seca, se encuentra completamente seco por lo que no se puede desarrollar la plaga de jobotos (Novillo et al., 2018).

Para el establecimiento de períodos de barbecho en la Finca Orgánica Guadalupe Natural, se recomienda programarlos al final de la época lluviosa, de manera que el cultivo complete su ciclo productivo y sea cosechado en el verano. Posteriormente, el terreno debe mantenerse en descanso durante toda la estación seca.

Durante este período, las bajas condiciones de humedad del suelo limitan significativamente la supervivencia y el establecimiento de los jobotos, ya que sus estadios larvales requieren ambientes húmedos para su desarrollo. Cuando se reanudan las lluvias, el suelo se prepara nuevamente para la siembra; sin embargo, la reducción previa de la población de la plaga permite que los cultivos establecidos presenten una menor incidencia de daño radicular, contribuyendo a un manejo preventivo y sostenible de los jobotos (Novillo et al., 2018).

Figura 14. *Periodo de barbecho Finca Orgánica Guadalupe Natural*



5.3.2.3 Labranza y exposición del suelo

La preparación de suelos es una actividad clave para el buen desarrollo del cultivo. Pero es clave para exponer los estados larvales de la plaga del jobotos a depredadores naturales. En la Figura 15 se observa la buena preparación de un suelo para la siembra de cultivo de lechuga y como el suelo queda expuesto a depredadores naturales (Vignola, 2018). No se recomienda realizar 2 periodos de siembra de cultivo de lechuga en el mismo lote sin haber preparado nuevamente el suelo. Porque no se estaría rompiendo el ciclo de la plaga.

A lo largo de esta investigación se logró observar que al inicio del ciclo de cultivo no se presentaba grandes cantidades de jobotos como se observa en la Tabla 4. Pero después aumentan las cantidades, por lo que la preparación del terreno por medio de la labranza es clave para bajar las poblaciones de la plaga por lo que se recomienda realizar cada inicio de ciclo de cultivo.

Se recomienda utilizar una labranza más profunda, por ejemplo, utilizar un minitractor que realice una labranza más profunda alrededor de los 50 cm para exponer la plaga lo máximo posible a condiciones adversas para reducir las poblaciones (Vignola, 2018). Ayudan a que el inicio del ciclo productivo las poblaciones sean lo más bajas posibles y no se presenten afectaciones al cultivo.

Figura 15. *Labranza y exposición de suelo.*



5.3.3 Manejo mecánico y físico

5.3.3.1 Captura de adultos con trampas luz

Según Cifuentes (2024) la utilización de trampas luz es una práctica importante para la captura de adultos de abejones del Orden Coleóptera. En su experimento de evaluación de tres tipos de fuentes lumínicas en trampas para captura de ronrón de la orden coleóptera en el cultivo de aguacate se logró determinar que la fuente de luz que más adultos capturo fue trampa lumínica de Luz Ultravioleta menor a 0,4 micrómetros o menor a 4000 ángstrom, por lo que es la más recomendada para utilizar (Aragón, 2007). En finca Orgánica Guadalupe Natural utilizan varios tipos de luz atrayente como leds, luz visible roja y luz ultravioleta, por lo que se recomienda solamente utilizar luz ultravioleta en todas las trampas de la finca.

Por otra parte, la finca debería valorar la posibilidad de no utilizar trampas luminosas para la captura de adultos, ya que la finca se encuentra rodeado en todo su perímetro por lecherías, condiciones que favorecen el desarrollo del complejo de gallina ciega por la gran cantidad de materia orgánica que se presentan en estos sistemas productivos (Solís, 2020). En este contexto, aunque las trampas de luz pueden capturar una cantidad significativa de adultos de escarabajos, también podrían estar actuando como un factor de atracción, incrementando el ingreso de adultos provenientes de áreas aledañas y, por ende, la presión de la plaga dentro de la finca. (Aragón, 2007).

Figura 16. *Trampas luz utilizadas en Finca Orgánica Guadalupe Natural*



5.3.3.2 Barreras físicas

Según Romero (2016), la utilización de parcelas agrícolas con barreras físicas ayuda a prevenir la erosión de los suelos, ayudan a que no se distribuyan las enfermedades y para el manejo de la plaga de escarabajos de mayo, ayudan para capturarlos durante la noche cuando salen a reproducirse para continuar con su ciclo productivo. A continuación, se presenta las barreras físicas que se utilizan en finca Orgánica Guadalupe Natural. Donde se logra observar cómo se alimentan del follaje de estas barreras vivas y sirven para la captura manual, durante las noches. Por lo que se recomienda seguir utilizándolas y sobre todo en época de mayor población de adultos de jobotos tratar de que se encuentren con un follaje frondoso para recolectar adultos de forma manual evitando que los adultos después de la copulación no ovipositen sus huevos en el suelo y así lograr reducir las poblaciones (Solís, 2020).

Figura 17. Barreras físicas, para la captura de adultos de Finca Orgánica Guadalupe Natural.



5.3.1 Control biológico:

Según Pedraza (2018) la utilización de microorganismos de género *Bacillus* spp son microorganismo que son utilizados en la agricultura como agentes de control biológico para el manejo de plagas en la agricultura. Según Arrivillaga (2019), *B. popilliae* es la bacteria causante de la enfermedad lechosa en las de escarabajos y es la más utilizada para el manejo de plaga de jobotos en cultivos agrícolas de importancia económica, como caña de azúcar, cereales, papa entre otros (Klein, 2023). No se recomienda utilizar esta bacteria en Finca Orgánica Guadalupe Natural debido a que no presentó la efectividad en el manejo de la plaga de jobotos (Mcguire., 2020).

El suelo puede funcionar como un reservorio natural donde pueden convivir inóculos de bacterias y hongos que son beneficiosos para el manejo de plagas que se presentan en los cultivos

McGuire (2020). Según (Kassa et al., 2004; Castrillo et al., 2010; Migiro et al., 2010; Singha et al., 2010; Skinner et al., 2012; Akmal et al., 2013; Wraight et al., 2016), citado por McGuire (2020) los microorganismos entomopatógenos *B. bassiana* y *M. anisopliae* son capaces de manejar diversos tipos de plagas agrícolas. Por esta razón, la Finca Orgánica Guadalupe Natural podría implementar la utilización de diferentes sepas o cocteles para realizar un manejo de la plaga más integral (McGuire & Northfield, 2020).

Un proceso que se puede implementar en la Finca Orgánica Guadalupe Natural es la bioprospección la cual consiste en identificar áreas de la finca donde la plaga de jobotos presenten mayor infestadas por microorganismos entomopatógenos. Con esto, se iniciaría con el aislamiento de los microorganismos presentes en el suelo de estas áreas para reproducirlo y posteriormente inocularlo en áreas que la plaga está afectando. Permitiendo manejar la población jobotos en parámetros aceptables (Cotes, 2019).

En la agricultura moderna la utilización de nematodos entomopatógenos es cada vez más fuerte, debido a su alta efectividad contra una alta variedad de insectos que afectan los cultivos, los mecanismos de acción incluyen la infección del insecto plaga por medio de la liberación de bacterias simbióticas, causando la muerte del insecto en un periodo corto de tiempo. Estos nematodos pueden alcanzar hasta una disminución del 50% de la plaga (Zambrano, 2024).

Según Arrivillaga (2019) los géneros de nematodos entomopatógenos *Heterorhabditis* spp y *Steinernema* spp son los más utilizados para el manejo de estadios larvales de escarabajos del orden coleóptero, pero no se recomienda utilizar en Finca Orgánica Guadalupe Natural debido a la gran competencia que se enfrentan este microorganismo en el suelo. Y la baja efectividad que se ha observado en experimentos en finca.

5.3.2 Implementación de fábrica de biofermentos

La implementación de biofábricas para la reproducción de Microorganismo benéficos en finca para el manejo de Jobotos es una alternativa eficiente y eficaz que puede implementar la Finca Orgánica Guadalupe Natural (Charco, 2021). La clave del éxito en este proceso es reproducir los microorganismos entomopatógenos que se encuentren en finca que realmente parasiten a los huevos y diferentes estadios larvales de la plaga de jobotos.

Una vez que la Finca Orgánica Guadalupe Natural identifique cuales son los

microorganismos entomopatógenos que parasitan la plaga, implementar un proceso de multiplicación microbiológica, donde se logre llegar a las máximas cantidad de unidades formadoras de colonias para después aplicar en campo (Manfrino et al., 2020).

Con respecto a las aplicaciones en campo, realizar cada 15 días para mantener gran cantidad de UFC. Esta frecuencia de aplicación responde a la necesidad de mantener una presión biológica constante en el suelo, favoreciendo la persistencia y actividad de los microorganismos benéficos frente a un insecto plaga con un ciclo biológico prolongado y hábitos edáficos (Charco, 2021).

Figura 18. *Fábrica de biofermentos biológicos como ejemplo para Finca Orgánica Guadalupe Natural*



5.3.3 Feromonas

La empresa costarricense ChemTica tiene en su línea de producción para el manejo biológico el trampeo de adultos de escarabajos por medio de trampas con atrayentes de feromonas, pero para la finca no se recomienda la utilización de feromonas, debido a que no se cuenta con una identificación precisa del complejo de gallina ciega (Chemtica,2025).

Por tal motivo, la colocación de feromonas no funcionaría correctamente porque no se tendría claridad sobre que especies se estarían muestreando. En este sentido lo ideal sería identificar las 3 principales especies en mayor abundancia en Finca Orgánica Guadalupe Natural con el fin de desarrollar y seleccionar feromonas para la captura dirigida de los adultos.

6. Conclusiones

El producto Milke Spore con esporas de *B. popillae* con una concentración de 0,0006% no presentó efectividad como alternativa de manejo biológico de la plaga de jobotos (Coleóptera: Scarabaeidae) a través de las aplicaciones en drench en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), para el manejo de la plaga en Finca Orgánica Guadalupe, Zarcero.

Durante los tratamientos realizados las poblaciones de jobotos fueron bajas, lo cual se reflejó en una ausente infestación de larvas por bacterias. En consecuencia, el producto Milke Spore no mostró el nivel de efectividad esperado bajo las condiciones evaluadas.

Los niveles nulos de infestación registrados en los tratamientos con Milke Spore no pueden explicarse de forma concluyente por un solo factor, sino que probablemente responden a la interacción de múltiples variables como baja población de jobotos, baja viabilidad del inóculo, degradación por almacenamiento, condiciones de aplicación, factores ambientales, factores edáficos e interacciones biológicas.

En los trabajos revisados para esta investigación no se encontraron estudios que relacionen larvas-organismo entomopatógenos donde se observa una infestación real sobre la plaga en condiciones naturales. Los estudios se realizaron bajo condiciones de laboratorio lo cual, limita la obtención de datos representativos para trabajar en campo. En este sentido el producto Milke Spore no mostro el funcionamiento esperado en condiciones reales, posiblemente relacionado a la gran cantidad de factores bióticos y abióticos que interfieren en la eficiencia del producto en el ambiente.

7. Recomendaciones

Implementar el plan de Manejo Agroecológico de Plagas (MAP), a partir del monitoreo de las poblaciones de la plaga de jobotos (Coleóptera: Scarabaeidae) para manejar de forma integral la plaga.

Realizar un análisis exhaustivo y profundo sobre la microbiología del suelo de la Finca Orgánica Guadalupe Natural, para lograr encontrar algún microorganismo entomopatógeno que tenga patogenicidad sobre la plaga de que se encuentra en finca. Se recomienda realizar pruebas en laboratorio con la metodología de Acuña & Brenes (2020) para ver que el producto funciones

contra los estados larvales y seguidamente probarlos en campo.

Realizar una identificación taxonómica a nivel de género y especie de los adultos (Coleóptera: Scarabaeidae) en conjunto con la colección del Museo Nacional de Costa Rica y del Museo de Insectos de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA).

Buscar casas comerciales que garanticen productos para el manejo de la plaga, con gran cantidad de unidades formadoras de colonia para que pueda adaptarse y competir por espacio en el suelo, para posteriormente afecta a las larvas de jobotos.

Se recomienda que las políticas públicas y gubernamentales orientaras al sector agropecuario, contemplen mayor apoyo técnico, financiera e investigación para el manejo integrado del jobotos. Esto implica fortalecer los programas de monitoreo de plagas, fomentar el uso de bioinsumos certificados y promover la capacitación de productores sobre prácticas sostenibles y manejo biológico.

Buscar programas de capacitación técnica por parte de entidades del gobierno como INTA, MAG y SFE para que orienten y capaciten a los productores sobre el manejo de esta plaga. Además de definir fondos a la investigación de soluciones al problema.

Se recomienda implementar y evaluar nuevas metodologías de muestreo que consideren diferentes profundidades y escalas espaciales del suelo, así como muestrear a diferentes horas del día para obtener más muestras de larvas de jobotos.

8. Bibliografía

- Abarca, G., & Quesada, M. (1997). Especies Complejo jobotos Valle Central CR 1997. *Agronomía Mesoamericana*, 1–10.
- Acuña-Segura, R., & Brenes-Madriz, J. (2020). Evaluación en casa malla del efecto de cuatro productos biológicos para el combate de jobotos (*Phyllophaga* sp). *Revista Tecnología En Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v33i4.4376>
- Aguilar, L. A. (2020). Producción masiva de *Azospirillum* spp., formulación, control de calidad y su uso en la agricultura: Revisión de literatura. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6789/1/CPA-2020-T003.pdf>

- Alvarado Gastesi, J., Cobos Mora, F., Gómez Villalva, J., & Medina Litardo, R. (2024). Manejo integrado de cultivos y desarrollo sostenible. *Magazine de las Ciencias: Revista de Investigación e Innovación*, 9(1), 22–35. <https://doi.org/10.33262/rmc.v9i1.3049>
- Aragón, A. (2007). Uso de trampas de luz fluorescentes para el manejo de la gallina ciega (Coleoptera: Melolonthidae) en Maíz (*Zea mays* L.). *Scielo*, 1. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952008000200009
- Arrivillaga Cano, E. (2019). Bacterias entomopatógenas como agentes de control biológico de larvas de escarabajos del género *Phyllophaga* de importancia económica en Guatemala. Universidad del Valle de Guatemala. Disponible en: <https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/3456>
- Beltrán, M., & Cuevas, D. (2019). Aislamiento y selección de bacterias entomopatógenas como Alternativa de Control Biológico sobre larvas de la familia Scarabaeidae: Orden Coleóptera [Trabajo de Grado, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca] <https://repositorio.unicolmayor.edu.co/handle/unicolmayor/4757>
- Calberto, G. (2004). Estudio del ciclo de vida de *Phyllophaga menetriesi* (Blanchard) en condiciones controladas de Temperatura, humedad e intensidad lumínica [Tesis]. Universidad Autónoma de Occidente.
- Castro-Granados, J.R; Brenes-Peralta, L; Jiménez-Morales, M.F; Campos-Rodríguez, R. Análisis de ciclo de vida de lechuga (*lactuca sativa*) cultivada bajo un sistema orgánico y convencional, como insumo para toma de decisiones en dos fincas agrícolas costarricenses. *Tecnología en Marcha*. Vol. 34-3 Julio-Setiembre 2021. Pág 108-119.
- Cifuentes Santiz, L. E. (2024). Evaluación de tres tipos de fuentes lumínicas en trampas para captura de ronrón del Orden Coleóptera en el cultivo de aguacate *Persea americana* Mill. Lauraceae, En finca agrícola Chitalón Sa Mazatenango, Suchitepéquez (Doctoral Dissertation, Usac). Obtenido <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/20586>
- Chandel, R. S., Soni, S., Vashisth, S., Pathania, M., Mehta, P. K., Rana, A., Bhatnagar, A., & Agrawal, V. K. (2019). The potential of entomopathogens in biological control of white grubs. *International Journal of Pest Management*, 65(4), 348–362. <https://doi.org/10.1080/09670874.2018.1524183>
- Charco, N. (2021). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad de Recursos Naturales [Proyecto de Investigación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/items/55dd410d-3948-4ccb-aac6-02aab96fb705>
- Chemtica.com. (2025.). <https://www.chemtica.com/>
- Cotes, A. M. (2019). La bioprospección microbiana en la alimentación y en la producción agrícola sostenible. *Memorias Institucionales UIS*, Vol.1, 1–8. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/memoriasuis/article/view/10070>
- Cubero, N. M. (2017). Monitoreo y recolección de larvas Ministerio de Agricultura y Ganadería Dirección Regional Central Occidental Fundación para el fomento y promoción de la

investigación y transferencia de tecnología agropecuaria de Costa Rica.

- Dara, S. (2017). Microorganismos entomopatógenos: modos de acción y papel en el MIP. *E-JOURNAL OF ENTOMOLOGY AND BIOLOGICALS*, 1–6. <https://ucanr.edu/blogs/blogcore/postdetail.cfm?postnum=24119>
- Deans, C., & Krischik, V. (2023a). The current State and Future Potential of microbial control of scarab pests. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/app13020766>
- Deans, C., & Krischik, V. (2023b). The Current State and Future Potential of Microbial Control of Scarab Pests. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 13, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/app13020766>
- Escobar, A. (2023). Actividad Insecticida de diversas especies vegetales sobre gallina ciega *Phyllophaga spp.* (COLEOPTERA: MELOLONTHIDAE) en Laboratorio [Universidad Autónoma del Estado de Morelos]. <https://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/3462/EOPADM06.pdf?sequence=1>
- Escobar Padilla, A. (2020). Actividad Insecticida De Diversas Especies Vegetales Sobre GallinaCiega *Phyllophaga Spp.* (Coleoptera: Melolonthidae) En Laboratorio [Licenciatura En Biología, Universidad Autónoma Del Estado De Morelos]. <http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/3520/OAVHLG09.pdf?sequence>
- Frew, A., Barnett, K., Nielsen, U. N., Riegler, M., & Johnson, S. N. (2016). Belowground Ecology of Scarabs Feeding on Grass Roots: Current Knowledge and Future Directions for Management in Australasia. *Frontiers In Plant Science*, 7, 321. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00321>
- Fuentes, J. (2020). Manejo Integrado del Orozco (*Phyllophaga spp.*) en el cultivo de café (*Coffea arabica*)” en la Hacienda Chojampe, Cantón Ventanas [Ingeniero Agrónomo, Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/7950/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000211.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Glare, T. R., Jurat-Fuentes, J. L., & O’Callaghan, M. (2017). Basic and Applied Research: entomopathogenic Bacteria. In *Microbial Control of Insect and Mite Pests: From Theory to Practice* (pp. 47–67). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803527-6.00004-4>
- Gómez, M. I. A. A. L. M. O. C. S. L. (2018). *Commercialization of biological control agents*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/34081>
- Gyawaly, S., Koppenhöfer, A. M., Wu, S., & Kuhar, T. P. (2016). Biology, ecology, and management of masked chafer (Coleoptera: Scarabaeidae) grubs in turfgrass. *Journal of Integrated Pest Management*, 7(1). <https://doi.org/10.1093/jipm/pmw002>
- Henao Cadavid, Y., & Ballesteros Guzmán, A. (2016). Aislamiento de un consorcio microbiano útil que facilite la obtención de un mejorador de suelos.

<https://repositorio.utp.edu.co/entities/publication/f295e4ca-4f50-4e5b-8cb5-6071d693a794>

- Hilje, L., & Cubillo, D. (2017, September). Seasonality of Melolonthidae (Coleoptera) Adults in the Irazú Volcano Hillsides, in Costa Rica. *SOUTHWESTERN ENTOMOLOGIST*, 1–11.
- Houben, S. (2020). *Rotación de Cultivos*. www.best4soil.eu/database/es
- Huerta, A. G., López, D. de J. P., Ávila, J. H., Ramón Pascual Franco Martínez, J., Arriaga, M. R., & Melgarejo, A. B. (2024). Treatments nested within a balanced complete block group arrangement. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(2). <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i2.3634>
- Jia, Z. C., Fang, H., & Jiang, L. (2021). Morphological description of the white grub *Melolontha incana* (Coleoptera: Scarabaeidae: Melolonthinae: Melolonthini). *Microscopy Research and Technique*, 84(5), 921–928. <https://doi.org/10.1002/jemt.23653>
- Jiménez Garcia, A. (2019). Bacterias Entomopatógenas como Alternativa para el biocontrol De Plagas [Grado de Biología, Universidad de la Laguna]. <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/15760/Bacterias%20entomopatogenas%20como%20alternativa%20para%20el%20biocontrol%20de%20plagas.pdf?sequence=1>
- Klein, M. (2023). *Paenibacillus popilliae*. *Biological Control*, 1–3. <https://biocontrol.entomology.cornell.edu/pathogens/paenibacillus.php>
- Kumar, S., & Pandey, A. K. (2022). Bio-efficacy of various insecticides against white grubs (Coleoptera: Scarabaeidae) infesting sugarcane. *International Journal of Tropical Insect Science*, 42(5), 3319–3325. <https://doi.org/10.1007/s42690-022-00820-8>
- Legrand, A. 2015. Uso de peonías para la conservación de parasitoides primaverales del género *Tiphia* contra larvas de escarabajos: un estudio de tres años. Informe Anual de Investigación de Césped de la Universidad de Connecticut, 2014. Departamento de Ciencias Vegetales y Arquitectura del Paisaje, Universidad de Connecticut.
- Loewy, T. (2017, February 23). *Rotación de cultivos en la Región Pampeana: Volviendo a las fuentes*. 1–7. <https://revistas.uns.edu.ar/ee/article/view/714/393>
- Manfrino, R. G., D'alessandro, C. P., Lecuona, R. E., & López Lastra, C. C. (2020). Uso de los hongos entomopatógenos para el control microbiano de artrópodos en cultivos hortícolas. Obtenido de <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/143703>
- Mansfield, S., Wilson, M. J., Gerard, P. J., Wilson, D. J., Swaminathan, J., Wright, D. A., van Koten, C., & Hurst, M. R. H. (2020). Potential for a biopesticide bait to control black beetle, *Heteronychus arator* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Pest Management Science*, 76(12), 4150–4158. <https://doi.org/10.1002/ps.5973>
- Martins de Oliveira, C., & Regina Frizzas, M. (2021). Root consumption and damage estimates caused by *Phyllophaga capillata* and *Aegopsis bolboceridus* (Coleoptera, Melolonthidae) larvae in soybean and maize in central Brazil. *Crop Protection*, 146, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105651>

- McGuire, A. V., & Northfield, T. D. (2020). Tropical Occurrence and Agricultural Importance of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*. In *Frontiers in Sustainable Food Systems* (Vol. 4). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00006>
- Mehrotra, S., Kumar, S., Zahid, M., & Garg, M. (2017). Biopesticides. In *Principles and Applications of Environmental Biotechnology for a Sustainable Future* (pp. 273–292). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-1866-4_8
- Miguel, S., de Manantlán, S., & Hernández, M. (1992). Enemigos naturales de *Macroductylus murinus* Bates (Coleopter ; Scarabaeidae) en Natural enemy of *Macroductylus murinus* Bates (Coleoptera; Scarabaeidae) in San Miguel, Sierra de. *Red de Revistas Científicas de America Latina, El Caribe, España y Portugal*. <https://www.redalyc.org/pdf/837/83780105.pdf>
- Moreno, A. (2018). *Biological control of soil-borne phytopathogens*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/34059>
- Morocho, N., Mazón Marina, & Ruiz, J. (2020). *Presencia de Phyllophaga spp. (Coleoptera: Scarabaeidae) y hongos entomopatógenos potenciales para su control biológico en sistemas agrícolas de Saraguro (Loja, Ecuador)*. 1–6. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/896/762>
- Morón, M. A. (2000). Biogeography of Costa Rica View Project Conocimiento de la “gallina ciega” (Coleóptera) como plaga agrícola y alternativas agroecológicas para su manejo View project. In *Article in Proceedings of the Entomological Society of Washington*. <https://www.researchgate.net/publication/236025210>
- Novillo, Bárbara V ;, Voisin, A. ;, Pellegrini, A. E. ;, Chamorro, A. M. ;, Bezus, R. ;, Machetti, N. Y., & Golik, S. I. (2018). *C4P93. Diferentes estrategias de barbecho en cultivos extensivos: Efecto sobre propiedades químicas del suelo*. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/166340>
- Ocampo Vilechis, H. (2020). *Control de gallina ciega Phyllophaga spp. (Coleoptera: Melolonthidae) con Infusiones botánicas en amaranto bajo Invernadero* [Licenciatura en Biología, Universidad Autónoma Del Estado De Morelos]. <http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/3520/OAVHLG09.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pedraza, L. A., López, C. E., & Uribe-Vélez, D. (2020a). Mechanisms of action of bacillus spp. (Bacillaceae) against phytopathogenic microorganisms during their interaction with plants. In *Acta Biologica Colombiana* (Vol. 25, Issue 1, pp. 112–125). Universidad Nacional de Colombia. <https://doi.org/10.15446/abc.v25n1.75045>
- Pedraza, L. A., López, C. E., & Uribe-Vélez, D. (2020b). Mechanisms of action of bacillus spp. (bacillaceae) against phytopathogenic microorganisms during their interaction with plants. In *Acta Biologica Colombiana* (Vol. 25, Issue 1, pp. 112–125). Universidad Nacional de Colombia. <https://doi.org/10.15446/abc.v25n1.75045>
- Pérez Quiñonero, J. (2023). Diseño de rotaciones, asociaciones de cultivos y setos perimetrales en cultivos al aire libre en una parcela de la EPSO-UMH. <http://dspace.umh.es/handle/11000/30405>

- Pérez-Agis, E., Morón, M. A., Nájera-Rincón, M. B., & Castro-Ramírez, A. E. (2014). Factores que influyen en la abundancia de larvas de Coleoptera: Melolonthidae con importancia agrícola en la región Purhépecha, Michoacán México Influence of management factors on the abundance of larvae of Coleoptera: Melolonthidae with agricultural. *Acta Zool. Mex. (n.s.)*, 30(1), 161–173.
- Ramanujam, B., Hosamani, A. C., Poornesha, & B., & Sowmya, E. (2021). Biological control of white grubs, *Holotrichia serrata* (Fabricius) in sugarcane by two species of entomopathogenic fungi, *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana*. *Tropical Insect Science*, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s42690-020-00256-y/Published>
- Ramoutar, D. y A. Legrand. 2007. Estudio de *Tiphia vernalis* (Hymenoptera: Tiphidae), una avispa parasitoide de *Popillia japonica* (Coleoptera: Scarabaeidae) en Connecticut. *Entomólogo de Florida* 90(4): 780-2.
- Rogers, M. E., & Potter, D. A. (2004). Potential for sugar sprays and flowering plants to increase parasitism of white grubs (Coleoptera: Scarabaeidae) by Tiphid wasps (Hymenoptera: Tiphidae). *Environmental Entomology*, 33(3), 619-626. <https://doi.org/10.1603/0046-225x-33.3.619>
- Romero, A. (2012). Uso feromonas sexuales para el conocimiento y manejo de los ensamblajes gallina ciega en México. *Redalyc*, 1. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33925376011.pdf>
- Romero, A. (2016, June 30). Comunicación química de coleópteros Melolonthidae distribuidos en México: a una década de distancia. *Universidad de Guadalajara*, 2–16. <https://dugesiana.cucba.udg.mx/index.php/DUG/article/view/5748>
- Ruiz-Lao, D., Nápoles-Vinen, S., & Caridad Mustelier-Ocle, M. (2022, September). PRODUCTIVE RESPONSE OF PASSIFLORA INCARNATA L. WITH COMBINED APPLICATIONS OF BIOLOGICAL PRODUCTS. *Revista Transdisciplinaria de Estudios Sociales y Tecnológicos*, 32–41. <https://revista.excedinter.com/index.php/rtest/article/view/53/50>
- Saavedra Del R., G., Corradini S., Antúnez B., Felmer E., Estay P., & Sepúlveda R. (2017). Manual de producción de lechuga (Boletín INIA N.º 374). Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) / Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/e96ddc42-19df-4be3-85cc-ae0f6b0c3dcc/content>
- Sánchez, M. d. (2015). *Identificación de compuestos de interés en residuos de las especies Allium cepa, Allium fistulosum y Spinacia oleracea*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11349/2189>
- Sarwar, M., & Mukhtar, Z. (2021). Management of Insect Pests by means of entomopathogenic nematodes. In *Biopesticides in Organic Farming* (pp. 225–232). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003027690-50>
- Serrano, L. S., & Fentanes, E. G. (2007). Control biológico de organismos fitopatógenos: un reto multidisciplinario. *Rev. la Acad. Ciencias*, 77-88. Obtenido de https://amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/58_1/PDF/controlBiologico.pdf
- Solís, A. 2020. Abejones de mayo. <https://identomologica.com/familia-scarabaeidae/abejones-de-mayo>

- Vignola, R. (2018). *Prácticas Efectivas para la Reducción de impacto por eventos Climáticos*. Obtenido de <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-8327.pdf>
- Wellington, D. (2022). “*EVALUACIÓN DE Beauveria bassiana A PARTIR DE UN CULTIVO MONOSPÓRICO PARA EL CONTROL DE GALLINA CIEGA (Phyllophaga spp.)*, EN CONDICIONES DE LABORATORIO CAMPUS SALACHE, LATACUNGA, COTOPAXI 2022.” [Bachiller en Agronomía, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI]. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/9609/1/PC-002383.pdf>
- Xochilt Zelaya-Molina, L., Fernando Chávez-Díaz, I., de los Santos-Villalobos, S., Iván Cruz-Cárdenas, C., Ruíz-Ramírez, S., & Rojas-Anaya, E. (2022). *Biological pest control in Mexican Agriculture*. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v13nspe27/2007-0934-remexca-13-spe27-69-en.pdf>
- Yineth, M., Plaza, B., Paola, D., & Moreno, C. (2019). *AISLAMIENTO Y SELECCIÓN DE BACTERIAS ENTOMOPATÓGENAS COMO ALTERNATIVA DE CONTROL BIOLÓGICO SOBRE LARVAS DE LA FAMILIA SCARABAEIDAE: ORDEN COLEÓPTERA*.
- Zambrano, A. (2024). *Uso de Nematodos entomopatógenos para el control de insectos en cultivos de Hortalizas* [Universidad técnica de Babahoyo]. <https://dspace.utb.edu.ec/items/854fca57-3bd8-4afe-aa42-24295a20668f>