

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR  
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS**

**Evaluación *in situ* de *Beauveria bassiana* encapsulada con quitosano contra plaguicidas convencionales para el manejo de *Empoasca* spp. en papaya  
(*Carica papaya* L. Var. Pococí).**

Trabajo Final de Graduación bajo la modalidad de Tesis de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en  
Ingeniería en Agronomía

**Estudiante**

Bach. Sebastián Anchía Jiménez

**Tutor**

M. Sc. Alejandro Vargas Martínez

**Asesores**

M. Sc. Allan González Herrera

Dr. Oscar Rojas Carrillo

Campus Omar Dengo  
Heredia, Costa Rica, 2026

**Evaluación *in situ* de *Beauveria bassiana* encapsulada con quitosano contra plaguicidas convencionales para el manejo de *Empoasca* spp. en papaya (*Carica papaya* L. Var. Pococí).**

**Estudiante:**

Bach. Sebastián Anchía Jiménez

Trabajo final de graduación modalidad tesis sometido a consideración del tribunal examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía.

**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 Ingeniería Agronómica.**

**MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR**

M. Sc. Mairon Madriz Martínez

Representante de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar.

M. Sc. Esteban Arboleda Julio  
Representante de la Escuela de Ciencias  
Agrarias.

Ing. Alejandro Vargas Martínez M. Sc  
Tutor.

Ing. Allan González Herrera M. Sc.  
Asesor 1.

Dr. Oscar Rojas Carrillo.  
Asesor 2.

Bach. Sebastián Anchía Jiménez.  
Postulante.

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo a mis padres José Luis Anchía Sáenz y Alexandra Jiménez Garita, por su apoyo incondicional, amor, dedicación y sacrificio a lo largo de este proceso, por haber sido mi guía constante y brindarme sabios consejos a lo largo de este recorrido.*

## AGRADECIMIENTOS

*Ante todo, doy gracias a Dios y a la Virgen por iluminarme con sabiduría y guiarme con entendimiento, permitiéndome concluir satisfactoriamente este trabajo.*

*A mi tutor M.Sc. Alejandro Vargas Martínez por todo el apoyo y ayuda brindada en este proceso, así como a mis asesores M.Sc. Allan González Herrera, al Dr. Oscar Rojas Carrillo por la guía y atención que me ofrecieron y al Lic. Juan Pablo Castillo por toda la colaboración proporcionada.*

*Agradezco al Proyecto FIDA “Desarrollar un plan de manejo agroecológico sobre problemas fitosanitarios en el cultivo de papaya (Carica papaya L.) para la zona de Guácimo, Limón” código SIA 0356-21, al Laboratorio de Control Biológico (LCB) de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional, al Laboratorio de Investigación y Tecnología de Polímeros (POLIUNA) de la Escuela de Química de la UNA y al Laboratorio, por toda la ayuda, enseñanza y guía brindada en la realización de este trabajo de investigación. También quiero agradecer al Fondo para el Fortalecimiento de las Capacidades Estudiantiles en Investigación FOCAES, por toda la ayuda económica brindada durante la realización de la investigación.*

*Agradezco a la Asociación de Productores de Papaya ASOPROPA, especialmente al productor Geiner Gómez, por el apoyo y accesibilidad que nos brindó para desarrollar la investigación en su parcela productiva.*

*Muchas Gracias.*

## RESUMEN

El uso intensivo de insecticidas sintéticos en el cultivo de papaya ha generado preocupaciones ambientales, económicas y sanitarias, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles para el manejo de plagas. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la eficiencia patogénica y la rentabilidad económica de un bioplaguicida formulado a base de *Beauveria bassiana* cepa 15 encapsulada en quitosano al 0,50% para el manejo biológico de *Empoasca* spp. en papaya (*Carica papaya* L. var. Pococí), en comparación con tratamientos convencionales. El ensayo se realizó bajo condiciones de campo en Pococí, Limón, Costa Rica, utilizando un diseño de bloques completos al azar con cinco tratamientos y cinco repeticiones. Se evaluó la dinámica poblacional de *Empoasca* spp. mediante muestreos indirectos con trampas cromáticas amarillas y muestreos directos en planta, así como la viabilidad técnica de las formulaciones a través de pruebas de pureza y unidades formadoras de colonias. Adicionalmente, se efectuó un análisis de costos para determinar la factibilidad económica de los tratamientos evaluados. Los resultados mostraron que las formulaciones de *B. bassiana*, tanto sola como encapsulada en quitosano, presentaron altos niveles de pureza y viabilidad, cumpliendo con los parámetros técnicos mínimos aceptados. Sin embargo, no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos en la reducción poblacional de *Empoasca* spp., observándose que la dinámica de la plaga estuvo influenciada principalmente por factores climáticos, especialmente la alta precipitación, la cual favoreció el lavado de los tratamientos y redujo su persistencia en campo. Desde el punto de vista económico, aunque las formulaciones encapsuladas presentaron mayores costos de producción y aplicación, estas constituyen una alternativa sostenible viable dentro de estrategias de manejo integrado de plagas en el cultivo de papaya. En conclusión, la formulación de *B. bassiana* cepa 15 encapsulada en quitosano al 0.50% demostró ser técnicamente viable y económicamente competitiva como alternativa sostenible para el manejo de *Empoasca* spp. en el cultivo de papaya; no obstante, bajo las condiciones de campo evaluadas, su eficacia biológica no presentó diferencias significativas frente a los tratamientos convencionales, debido principalmente a la influencia de factores ambientales como la alta precipitación. Estos resultados resaltan la importancia de considerar las condiciones climáticas y las estrategias de aplicación al evaluar bioplaguicidas en campo, así como el potencial de estas formulaciones dentro de esquemas de manejo agroecológico de plagas orientados a reducir el impacto ambiental y promover sistemas agrícolas más sostenibles.

## ABSTRACT

The intensive use of synthetic insecticides in papaya cultivation has raised environmental, economic, and health concerns, driving the search for sustainable pest management alternatives. In this context, the present study aimed to evaluate the pathogenic efficiency and economic feasibility of a biopesticide formulated with *Beauveria bassiana* strain 15 encapsulated in 0.50% chitosan for the biological control of *Empoasca* spp. in papaya (*Carica papaya* L. var. Pococí), compared to conventional treatments. The field trial was conducted in Pococí, Limón, Costa Rica, using a randomized complete block design with five treatments and five replications. The population dynamics of *Empoasca* spp. were assessed through indirect sampling with yellow sticky traps and direct plant sampling, while the technical viability of the formulations was evaluated through purity tests and colony-forming units. Additionally, a cost analysis was performed to determine the economic feasibility of the treatments. Results showed that *B. bassiana* formulations, both alone and encapsulated in chitosan, exhibited high levels of purity and viability, meeting the minimum technical standards. However, no significant differences were observed among treatments in reducing *Empoasca* spp. populations, with pest dynamics primarily influenced by climatic factors, particularly high rainfall, which favored treatment wash-off and reduced persistence in the field. From an economic perspective, although the encapsulated formulations had higher production and application costs, they constitute a viable sustainable alternative within integrated pest management strategies in papaya cultivation. In conclusion, the *B. bassiana* strain 15 formulation encapsulated in 0.50% chitosan proved to be technically viable and economically competitive as a sustainable alternative for managing *Empoasca* spp. in papaya; however, under the evaluated field conditions, its biological efficacy did not differ significantly from conventional treatments, mainly due to environmental factors such as high rainfall. These findings highlight the importance of considering climatic conditions and application strategies when evaluating biopesticides in the field, as well as the potential of such formulations within agroecological pest management schemes aimed at reducing environmental impact and promoting more sustainable agricultural systems.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	2
2. OBJETIVOS.....	4
<b>2.1 General</b> .....	4
<b>2.2 Específicos</b> .....	4
3. MARCO TEÓRICO.....	4
<b>3.1 Generalidades de <i>Carica papaya</i> L.</b> .....	4
<b>3.2 Fenología del cultivo de papaya</b> .....	5
<b>3.3 Híbrido de papaya Pococí</b> .....	5
<b>3.4 Principales plagas del cultivo de papaya</b> .....	5
3.4.1 <i>Empoasca</i> spp. ....	6
3.4.2 Manejo de <i>Empoasca</i> spp. ....	6
<b>3.5 Manejo agroecológico de plagas</b> .....	6
<b>3.6 Hongos entomopatógenos</b> .....	7
3.6.1 <i>Beauveria bassiana</i> .....	7
<b>3.7 Biopolímeros</b> .....	8
<b>3.8 Uso del quitosano en el manejo de plagas</b> .....	9
<b>3.9 Encapsulaciones de biopolímeros</b> .....	9
<b>3.10 Uso de bioplaguicidas</b> .....	10
4. METODOLOGÍA .....	12
<b>4.1 Ubicación del estudio</b> .....	12
<b>4.2 Mortalidad de <i>Empoasca</i> spp. causada por la formulación de <i>B. bassiana</i> encapsulada en quitosano en condiciones de campo</b> .....	12
4.2.1 Reactivación y purificación.....	12
4.2.2 Elaboración de solución madre de quitosano .....	12
4.2.3 Formulación final del plaguicida.....	13
4.2.4 Procedimientos generales en campo.....	13
<b>4.3 Variables a medir y frecuencia de medición</b> .....	14
4.3.1 Muestreo indirecto.....	14
4.3.2 Muestreo directo.....	15
<b>4.4 Diseño estadístico</b> .....	15
<b>4.5 Análisis estadístico</b> .....	16

<b>4.6 Factibilidad técnica y económica de la utilización de formulaciones de <i>B. bassiana</i> encapsuladas en quitosano</b> .....	17
4.6.1 Procedimientos generales .....	17
4.6.2 Factibilidad técnica.....	17
4.6.3 Análisis de Costo-Beneficio (ACB) .....	17
<b>5. RESULTADOS</b> .....	19
<b>5.1 Evaluación del bioplaguicida formulado a base del hongo y el quitosano</b> .....	19
5.1.1 Formulación y aplicación del bioplaguicida.....	19
5.1.2 Muestreo directo e indirecto en trampas .....	21
5.1.3 Relación entre las variables climáticas y la eficiencia de los tratamientos .....	26
<b>5.2 Factibilidad técnica económica del bioplaguicida</b> .....	28
5.2.1 Análisis de costos .....	28
<b>6. DISCUSIÓN</b> .....	33
<b>6.1 Evaluación del bioplaguicida formulado a base del hongo y el quitosano</b> .....	33
<b>6.2 Muestreo en trampa y conteo manual</b> .....	34
<b>6.3 Correlación entre fechas de aplicación y muestreos</b> .....	34
<b>6.4 Comparación entre tratamientos</b> .....	35
<b>6.5 Efecto directo de condiciones climáticas sobre los muestreos</b> .....	35
<b>6.6 Análisis económico</b> .....	37
<b>7. CONCLUSIONES</b> .....	38
<b>8. RECOMENDACIONES</b> .....	39
<b>9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Diseño de la estructura de la parcela y la aleatorización de los tratamientos</i> .....	16
Figura 2. <i>Prueba de pureza de tres tratamientos utilizados en el ensayo</i> .....	20
Figura 3. <i>Fila de tratamientos por aplicar divididos en la tercera planta por su respectiva etiqueta</i> .....	21
Figura 4. <i>Promedio de conteo de trampas amarillas para cada una de las fechas de evaluación</i> ....	22
Figura 5. <i>Gráfico de dispersión entre conteo de trampas amarillas y conteo manual para cada una de las fechas de evaluación</i> .....	23
Figura 6. <i>Promedio de conteo de trampas de cada uno de los tratamientos aplicados en campo para las respectivas fechas de evaluación</i> .....	24
Figura 7. <i>Promedio de conteo de trampas amarillas para cada una de las fechas de evaluación</i> ....	25
Figura 8. <i>Precipitación acumulada (mm) en la mañana y en la tarde durante el período de tiempo de aplicación de los tratamientos</i> .....	26
Figura 9. <i>Precipitación acumulada (mm) en rangos de 3 horas durante las fechas de aplicación de los tratamientos</i> .....	27
Figura 10. <i>Protocolo de producción de 1.0 kg de Quitosano</i> .....	28
Figura 11. <i>Protocolo de producción de B. bassiana</i> .....	30

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Taxonomía del cultivo de papaya</i> . .....	4
Tabla 2. <i>Taxonomía de B. bassiana</i> .....	7
Tabla 3. <i>Lista de tratamientos y dosis utilizadas</i> .....	14
Tabla 4. <i>Prueba de pureza de las formulaciones utilizadas en el ensayo</i> .....	19
Tabla 5. <i>Unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo y por mililitro para prueba de viabilidad de conidios del hongo (B. bassiana)</i> . .....	20
Tabla 6. <i>Valores del estadístico F y p-valor asociado al conteo promedio en trampas</i> .....	24
Tabla 7. <i>Costos de producción de 1.0 kg de quitosano</i> .....	29
Tabla 8. <i>Costos de producción de 1L de disolución de quitosano al 1.0% de concentración</i> .....	29
Tabla 9. <i>Costos de producción de 1.0 kg de B. bassiana inoculados en sustrato</i> .....	30
Tabla 10. <i>Costos de producción de 1L de cada uno de los tratamientos utilizados</i> .....	31
Tabla 11. <i>Costos de aplicación de cada tratamiento por hectárea de siembra</i> .....	31
Tabla 12. <i>Costos de aplicación de cada tratamiento por etapa del cultivo de papaya</i> .....	32

## 1. INTRODUCCIÓN

La papaya (*Carica papaya L.*) es originaria de Centroamérica, su producción y consumo la posicionan en el tercer lugar después del mango y la piña. Este fruto es de alta importancia económica global, su producción se establece en más de 60 países (Valencia et al., 2017), en Costa Rica la creación del híbrido Pococí ha revitalizado el interés por su producción debido a la creciente demanda en el mercado (Peraza, 2021). Según datos de Instituto Nacional de Estadística y Censo (2014) las principales zonas productoras en Costa Rica son la región Huetar Caribe y Huetar Norte, alcanzando una producción total de 33 459,9 toneladas métricas.

Las exportaciones de papaya para el año del 2023 generaron 3 millones de dólares, siendo Canadá, Holanda y Estados Unidos los principales compradores (Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica, 2024). La zona del Caribe es la más productiva del país, según los datos obtenidos por el censo agropecuario del 2014 registrando 397 fincas, con extensiones de 1 ha a 50 ha o más, asimismo se contabilizaron 514,8 ha sembradas (INEC, 2014). Esta región se caracteriza por sembrar el híbrido Pococí que destaca por su rendimiento, alta calidad de fruta, buen sabor y peso homogéneo en la cosecha (Barrantes et al., 2019).

Sin embargo, la papaya enfrenta diversas plagas y enfermedades que afectan su rentabilidad, entre las más importantes en Costa Rica se encuentra *Empoasca* spp., un insecto relacionado con daños directos de lesiones a las plantas, vector de fitoplasmas, rickettsias y virus (Barrantes & Sánchez, 2022). El problema en el Caribe con esta plaga es por ser posible vector del Bunchy Top que reduce el vigor de las plantas, provocando un crecimiento reducido de los pecíolos, clorosis y disminución de la producción de látex (Bibiano et al., 2021). La *Empoasca* spp. pertenece al Orden Hemiptera y a la familia Cicadellidae, es comúnmente conocida como chicharrita y su alimentación está basada en la succión de savia de las plantas lo convierte en un desafío significativo para la producción de papaya en Costa Rica, especialmente para los pequeños productores, quienes son los principales cultivadores de este fruto en el país (Abu et al., 2023).

El manejo de *Empoasca* spp. en la agricultura convencional de Costa Rica suele depender del uso de plaguicidas sintéticos. Sin embargo, los plaguicidas registrados específicamente para papaya son escasos, lo que lleva a los productores a utilizar productos no autorizados (Servicio Fitosanitario del Estado, 2024). Además, el uso repetido de los mismos ingredientes activos ha fomentado la

aparición de resistencias en las poblaciones de insectos, lo que complica aún más el manejo de plagas (Flores, 2022). Asimismo, el uso indiscriminado de plaguicidas también plantea problemas de seguridad alimentaria. Un informe de la Unión Europea reveló que el 33.5% de los alimentos analizados contenían residuos de plaguicidas que podrían afectar la salud (Díaz et al., 2021). Los problemas que produce esta plaga en el cultivo de papaya inciden negativamente sobre la calidad de los frutos, el vigor de las plantas, su vida productiva y en ocasiones causan la muerte, al considerarse a *Empoasca* spp. como un insecto vector de fitoplasmas y rickettsias, su impacto económico en la producción es considerable e irreversible a nivel mundial (Pérez et al., 2021).

El control biológico consiste en utilizar organismos vivos para manejar otro organismo vivo que afecte económicamente en el aprovechamiento de los cultivos por parte de los seres humanos (Vinchira & Moreno, 2019). Los hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* son una opción popular debido a su capacidad para infectar y manejar plagas sin efectos adversos significativos para el medio ambiente (Herrera et al., 2024). Acotando a esto, los biopolímeros como el quitosano, un polisacárido extraído de los caparazones de los crustáceos, se destacan por ser moléculas biodegradables (Guarnieri et al., 2024). En combinación con *Beauveria bassiana*, el quitosano estimula la germinación de esporas y actúa como protector de los agentes biológicos frente a condiciones adversas (Aranda et al., 2017). Según Elizondo (2024) dentro de las formulaciones realizadas de *B. bassiana* encapsuladas con quitosano para el manejo biológico del cicadélido (*Empoasca* spp.), la formulación de *B. bassiana* + quitosano al 0.50% infecta a la plaga con la probabilidad de una alta propagación de conidios. Además, los bioplaguicidas, derivados de organismos vivos, buscan cumplir funciones similares a los plaguicidas convencionales, pero con la ventaja de ofrecer un bajo riesgo tanto para la salud humana como para el ambiente, siendo esta una opción para el manejo de *Empoasca* spp. (Angulo et al., 2022).

Esta propuesta de investigación forma parte de los objetivos del proyecto del Fondo Institucional de Desarrollo Académico (FIDA): “Estrategias de manejo agroecológico sobre problemas fitosanitarios en el cultivo de papaya para la zona de Guácimo, Limón”. Por tanto, la finalidad de este estudio es determinar la eficacia de formulaciones compuestas por el hongo entomopatógeno *B. bassiana* encapsuladas en quitosano para el manejo de *Empoasca* spp. con el objetivo final de ofrecer al sector papayero un bioplaguicida con potencial de manejo de Cicadélidos asociados al cultivo.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 General

Evaluar la eficiencia patogénica y la rentabilidad económica del bioplaguicida a base de *Beauveria bassiana* y quitosano para el manejo biológico de *Empoasca* spp. en el cultivo de papaya (*Carica papaya* L. Var. Pococí) como estrategia alternativa al uso de insecticidas sintéticos.

### 2.2 Específicos

2.2.1 Determinar la mortalidad de *Empoasca* spp. causada por la formulación de *B. bassiana* encapsuladas en quitosano en condiciones de campo.

2.2.2 Comparar la factibilidad técnica y económica de la utilización de formulaciones de *B. bassiana* encapsuladas en quitosano como alternativa sostenible para el manejo de *Empoasca* spp. en la producción de papaya en Costa Rica.

## 3. MARCO TEÓRICO

### 3.1 Generalidades de *Carica papaya* L.

El árbol de papaya (*Carica papaya* L.) perteneciente a la familia Caricaceae, se caracteriza por ser perenne y herbácea. El género *Carica* es el único árbol frutal, su importancia económica lo coloca como el tercer cultivo tropical más sembrado a nivel mundial, su fruto es de alta relevancia ya que, contiene una alta importancia nutricional (Benavides, 2021).

**Tabla 1** Taxonomía del cultivo de papaya.

Taxón	Nombre
Dominio	Eukaryota
Reino	Plantae
Phylum	Spermatophyta
Clase	Dicotyledoneae
Orden	Violales
Familia	Caricácea
Género	<i>Carica</i>
Especie	<i>Carica papaya</i>

Nota. Benavides, 2021.

### **3.2 Fenología del cultivo de papaya**

El ciclo fenológico de la papaya se divide en dos fases: vegetativa y reproductiva. La fase vegetativa dura de 3 a 4 meses, dependiendo del cultivar. Luego, la planta entra en la fase reproductiva, en la que se desarrollan flores y frutos. Los primeros botones florales pueden aparecer entre 2 y 4 meses después del trasplante. Además, la papaya puede tener un ciclo de vida prolongado en condiciones de manejo silvestre, llegando a vivir hasta 10 años (Urtasun et al., 2020). La temperatura óptima para su desarrollo está entre 15 y 30 °C. Temperaturas por debajo de los 15 °C inhiben su crecimiento, mientras que temperaturas de -4 °C suelen ser letales para la planta (Aguirre, 2018).

### **3.3 Híbrido de papaya Pococí**

Conocida como papaya perfecta, es una variedad desarrollada por la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM) y el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). Es un material de gran importancia debido a que por su buena calidad se ha colocado como el híbrido predominante en Costa Rica, destacando en un 90% en la producción del país (O'Neal, 2019). Este híbrido tiene un ciclo de vida de 18 meses, comenzando la cosecha a los 8 meses después de la siembra, con un rendimiento de 150.000 kg de fruta fresca por hectárea. Además, la papaya Pococí sobresale por su pulpa de color rojo más intenso, un sabor dulce y aroma más fuerte, en cuanto al contenido de azúcar, esta variedad alcanza los 13 grados Brix, mientras que las variedades tradicionales se sitúan entre 8 y 10 grados Brix (Loría, 2018).

### **3.4 Principales plagas del cultivo de papaya**

Uno de los aspectos más críticos en el cultivo de papaya es el manejo de plagas, ya que esta planta es altamente susceptible, lo que puede afectar significativamente la producción. Entre las plagas más comunes son: *Toxotrypana curvicauda* (Tephritidae), conocida como la mosca de la fruta; *Spodoptera exigua* (Noctuidae), conocida como gusano soldado; *Bemisia tabaci* (Aleyrodidae), conocida como mosca blanca; *Tetranychus* spp. (Tetranychidae), conocidos como ácaros rojos; *Empoasca* spp. (Cicadellidae), conocidas como chicharritas o saltahojas; y *Erinnyis alope* (Sphingidae), conocida como polilla esfinge (Finch, et al., 2024).

### 3.4.1 Empoasca spp.

*Empoasca* spp., comúnmente conocido como el salta hojas o chicharrita, pertenece a la familia Cicadellidae. Son insectos que se alimentan de la savia de las plantas, extrayéndose de la xilema, floema o del tejido interno de las hojas. Este hábito alimenticio les permite actuar como vectores de virus y bacterias fitopatógenas (Xuegui, 2018). Se caracteriza por tener un tamaño pequeño 2-20 mm, son generalmente alargados y delgados con presencia de colores verdes, con antenas setáceas cortas, además de ovipositar en las ramas de las plantas (Zeng et al., 2024).

### 3.4.2 Manejo de Empoasca spp.

Para el manejo de cicadélidos se utilizan varias opciones de manejo, tales como el manejo cultural, donde recomienda evitar la presencia de especies de cucurbitáceas en la plantación. Además, se sugiere utilizar cultivos trampa y bordes de cultivo compuestos por gramíneas. Asimismo, erradicar malezas en la plantación (Marshall et al., 2024). Otra opción es la conservación de enemigos naturales, como es el caso del parasitoide *Anagrus* sp. (Mymaridae) que puede parasitar los huevos de *Empoasca* hasta en un 80%, donde, favoreciendo las condiciones ambientales adecuadas, de alimentación y refugio, se puede establecer en los sistemas de producción (Kamil, 2012).

## **3.5 Manejo agroecológico de plagas**

Los programas de manejo agroecológico de plagas (MAP) tienen como propósito fundamental utilizar información detallada sobre los ciclos de vida de las plagas y su interacción con el entorno en el que se desarrollan. Esta información, combinada con los métodos de manejo disponibles, constituye una herramienta clave para gestionar los daños ocasionados por las plagas de manera eficiente, económica y con el menor riesgo posible para las personas, los bienes y el medio ambiente (Biratu, 2022). Cuando se implementa un manejo ajustado al contexto productivo, a los objetivos y a las posibilidades económicas del agricultor, es posible cultivar frutales tropicales con altos estándares de calidad, incluso en condiciones de elevada presión de plagas (Bashyal et al., 2022). Según Das et al. (2024), las estrategias que ofrece el MAP incluyen prácticas culturales —como la rotación de cultivos—, conocer las condiciones climáticas de la zona y el tipo de suelo, el monitoreo y trampeo, el control biológico mediante hongos entomopatógenos y, únicamente como último recurso, el uso racional de productos químicos.

### 3.6 Hongos entomopatógenos

Los hongos entomopatógenos (HEP) son patógenos que pueden ser obligados o facultativos, se han conocido desde hace 4,700 años. Existen más de 700 especies de hongos asociadas a insectos, y son utilizadas como productos para el control biológico debido a su facilidad de manipulación, multiplicación y formulación. Además, de ser efectivos en el manejo de plagas agrícolas, son tema de interés por ser seguros para los seres humanos (Qasim et al., 2024). Además, los más utilizados para el manejo de plagas son: *Metarhizium*, *Beauveria*, *Aschersonia*, *Entomophthora*, *Zoophthora*, *Erynia*, *Eryniopsis*, *Fusarium*, *Hirsutella*, *Hymenostilbe*, *Paecilomyces* y *Verticillium*. que se pueden desarrollar bien en lugares frescos, húmedos y con poco sol (Universidad Nacional Agraria de Nicaragua., 2021).

La infección fúngica en insectos ocurre a través de una serie de etapas secuenciales: en primer lugar, los conidios entran en contacto con la cutícula del insecto y se adhieren a ella. Posteriormente, los conidios germinan, desarrollando un tubo germinativo o apresorio que les permite penetrar en el organismo del huésped; seguido, se forma un cuerpo hifal que se expande en el hemocele del insecto y en los tejidos cercanos, extendiendo sus hifas y llevando a la muerte del insecto; y finalmente, el hongo produce esporas y se desprende del cuerpo del insecto muerto (Zhang et al., 2024).

#### 3.6.1 Beauveria bassiana

Fue descrita por primera vez hace más de 180 años, *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Clavicipitaceae), puede vivir en diversos ambientes incluyendo suelo, plantas e insectos. Es un hongo que puede sobrevivir en el suelo ya sea como micelios que descomponen materia orgánica o como propágulos inactivos (Imoulan et al., 2017).

**Tabla 2** Taxonomía de *B. bassiana*

Taxón	Nombre
Reino	Fungi
Phylum	Ascomycota
Clase	Sordariomycetes
Orden	Hypocreales
Familia	Cordycipitaceae
Género	<i>Beauveria</i>

---

*Nota.* Dannon et al., 2020.

El hongo *Beauveria* se puede identificar fácilmente por su apariencia bajo el microscopio. Los conidióforos, crecen en grupos densos de células hialinas con paredes lisas. Estas células son cortas y de forma globosa o como un pequeño matraz, y tienen una parte superior con pequeñas protuberancias que les da un aspecto de zig zag. A partir de estas células, se forman esporas unicelulares, claras y redondeadas (Dannon et al., 2020).

### **3.7 Biopolímeros**

Los polímeros son grandes moléculas formadas por la repetición de pequeñas unidades llamadas monómeros, que se conectan mediante enlaces covalentes. Pueden ser de origen natural, como los que provienen de organismos vivos, o sintéticos (Rout et al., 2024). Los biopolímeros superan a los materiales sintéticos por ser biocompatibles, biodegradables y renovables (Sahana & Rekha, 2018). Se clasifican según su origen, función o carga superficial: aniónicos, como la goma arábiga; catiónicos, como la goma guar modificada; y no-iónicos, como la celulosa. También pueden ser lineales, como la pectina, o ramificados, como la goma guar (Mohammadinejad et al., 2020). Este tipo de técnica es una alternativa sustentable para el manejo integrado de plagas ya que, ayuda a estabilizar y brindar protección a plaguicidas, buscando una conservación de las características de la propagación microbiana, genotípicas y fenotípicas (Felizatti et al., 2021)

La quitina es el segundo biopolímero más común en la naturaleza después de la celulosa, está compuesta por unidades de poli [ $\beta$ -(1-4)-2 acetamida-2-desoxi-D-glucopiranosas]. Los caparazones de crustáceos, como el camarón, la langosta y el cangrejo, son una fuente común de quitina. Por otro lado, el quitosano es un biopolímero catiónico lineal que se obtiene mediante la desacetilación de la quitina en un medio alcalino altamente concentrado y a temperaturas superiores a 60°C (Hameed et al., 2024). Durante este proceso, se elimina el grupo acetil de la amida, reemplazándolo con un grupo amino, lo que da lugar a un quitosano que presenta propiedades significativamente diferentes a las de la quitina. De forma natural, el quitosano se encuentra en menor cantidad en las paredes celulares de hongos y algas verdes. Está formado por unidades de poli $\beta$ -(1-4)-2-amino-2-desoxi-D-glucopiranosas (Espinosa et al., 2020).

### **3.8 Uso del quitosano en el manejo de plagas**

En los últimos años, el quitosano se ha consolidado como una herramienta de gran utilidad en el manejo de plagas de insectos, con aplicaciones en la agricultura, la salud pública y la industria alimentaria. Su actividad insecticida se relaciona directamente con su efecto antimicrobiano, capaz de alterar la función del microbiota intestinal de los insectos y, en consecuencia, afectar su desarrollo y supervivencia (Ferreira et al., 2019). Además, este biopolímero puede incrementar la disponibilidad y estabilidad de diversos insecticidas o compuestos de origen botánico, potenciando su eficacia. En el ámbito regulatorio, la Unión Europea lo ha reconocido como una sustancia básica activa y no tóxica para la protección de las plantas, lo que lo posiciona como una alternativa segura y ambientalmente sostenible frente al uso de pesticidas sintéticos (Jiménez & Cecilia, 2020).

De acuerdo con Rajkumar et al. (2020), diversos ensayos han demostrado la eficacia de formulaciones de quitosano complementadas con insecticidas naturales o sintéticos como herramientas de manejo de insectos en la agricultura. Además de su aplicación en el manejo de plagas, este biopolímero también ha sido empleado para la protección de productos alimenticios, debido a sus propiedades de barrera y estabilidad. En particular, el quitosano se ha utilizado en una amplia variedad de formulaciones, entre las que destaca su aplicación directa en forma de recubrimiento simple sobre hojas, madera y papel, con efectos insecticidas comprobados e incluso con potencial para el manejo de nematodos (Paulraj et al., 2017).

### **3.9 Encapsulaciones de biopolímeros**

La encapsulación mediante biopolímeros ha adquirido creciente relevancia en los últimos años debido a sus propiedades versátiles, biocompatibles y biodegradables. Estas características favorecen la optimización de las funciones de los compuestos encapsulados y, al mismo tiempo, contribuyen a la reducción de la contaminación ambiental (Zhang et al., 2024). En términos generales, la encapsulación constituye una tecnología orientada a proteger componentes sensibles mediante su incorporación en matrices homogéneas o heterogéneas, generando películas delgadas o membranas semipermeables elaboradas con distintos materiales, entre los cuales destacan los biopolímeros (Matiacevich et al., 2023). Entre los polímeros más utilizados se encuentran la pectina, el alcohol polivinílico, el almidón y el quitosano. Este último resulta particularmente relevante por su

biocompatibilidad, biodegradabilidad y actividad antibacteriana, cualidades que han impulsado su aplicación tanto en el ámbito agrícola como en el biomédico (Mousavi et al., 2024).

El proceso de encapsulación ofrece múltiples beneficios, ya que añade valor agregado a los alimentos al proporcionar mayor estabilidad entre sus componentes y proteger el ingrediente activo frente a factores externos como la humedad, la temperatura, el daño mecánico, la permeabilidad y la reactividad, que podrían comprometer su integridad (Baishya & Kumar, 2025). Según González et al. (2024), una de las ventajas más relevantes de esta tecnología es la liberación controlada de los compuestos, la cual puede lograrse mediante diversos mecanismos, entre ellos difusión, disolución, disociación o fracturación. Esta característica permite ajustar la liberación de los agentes activos en el momento adecuado o bajo condiciones específicas, otorgando flexibilidad en su aplicación. Para llevar a cabo la encapsulación se dispone de una amplia gama de biopolímeros; sin embargo, la selección del material más apropiado requiere un conocimiento detallado de sus propiedades, de la compatibilidad con el ingrediente activo y de las posibles interacciones, aspectos fundamentales para garantizar aplicaciones exitosas (Ortiz et al., 2021).

### **3.10 Uso de bioplaguicidas**

El uso indiscriminado de plaguicidas sintéticos tiene al sector productivo en crisis, en ámbitos sociales, económicos y ambientales principalmente, este último tiene un impacto sobre la vida silvestre, polinizadores, enemigos naturales, peces, calidad del agua y del suelo, disminuyendo la capacidad productiva (Pereira et al., 2024). Ante este problema, se han creado herramientas para disminuir el impacto de los plaguicidas, los bioplaguicidas cumplen un papel importante ya que, son derivados de materiales naturales como animales, plantas, microorganismos y minerales (Wend et al., 2024). Esta opción es altamente específica contra plagas objetivo y generalmente representan poco o ningún riesgo para las personas y el medio ambiente, sin embargo, existen algunos inconvenientes al uso de los bioplaguicidas, por ejemplo, pueden dañar otros organismos que no son el objetivo y este a su vez puede ser un organismo importante en la cadena trófica de un ecosistema alterando el sistema (Areej et al., 2024).

Teniendo las precauciones para su uso, los bioplaguicidas son eficaces para el manejo de plagas agrícolas, su uso en investigaciones se enfoca en mitigar la contaminación ambiental causada por residuos de plaguicidas químicos, a pesar de que su naturaleza biológica promueve el desarrollo sustentable de la agricultura (Krismawati et al., 2024). La modernización de la actividad agrícola está

ligada al desarrollo de nuevos bioplaguicidas que gradualmente van a reemplazar a una cantidad importante de plaguicidas que actualmente están causando daños importantes en la cadena de producción (Hossain & Joshi, 2025). La ventaja del uso destaca en que estos compuestos afectan a las poblaciones de insectos disminuyendo su población sin afectar la salud humana, el medio ambiente y comprometer la producción (Ullah et al., 2025).

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1 Ubicación del estudio

Las pruebas de campo se realizaron en la Finca de la Asociación de Productores de Papaya (ASOPROPA) en la comunidad de Anita Grande de Jiménez en el cantón de Pococí de la provincia de Limón, con coordenadas geográficas latitud 10°14'39.73"N, longitud 83°44'20.81"O y a una altura de 148 m s.n.m. Para la formulación del bioplaguicida a base *B. bassiana* y encapsulado con quitosano se realizaron en el Laboratorio de Control Biológico de la Escuela de Ciencias Agrarias (ECA) y el Laboratorio de Polímeros de la Escuela de Química de la Universidad Nacional (POLIUNA).

### 4.2 Mortalidad de *Empoasca* spp. causada por la formulación de *B. bassiana* encapsulada en quitosano en condiciones de campo

#### 4.2.1 Reactivación y purificación

Para formular un bioplaguicida líquido a base de *B. bassiana* encapsulado en quitosano, se utilizó la cepa BV-ECA15 de la colección de hongos entomopatógenos del Laboratorio de Control Biológico de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional, sede Omar Dengo. Esta cepa, se conservó a 3°C en aceite mineral, el proceso de activación fue eliminando el exceso de este aceite. Con un asa bacteriológica desinfectada y flameada, se raspó el hongo e inoculó en tres platos de Petri con medio de Papa-Dextrosa-Agar (PDA), los cuales se incubaron durante 8 días en una cámara bioclimática a 27°C y 80% de humedad relativa, con un ciclo de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad. Posteriormente, se purificó el hongo extrayendo de los platos activos y transfiriendo el contenido a otros cinco platos de PDA, que también se incubaron por 8 días en condiciones similares. Luego de este periodo, se seleccionó la cepa más vigorosa de los platos purificados y se raspó con el asa bacteriológica, inoculando entre 10 a 12 nuevos platos con PDA asegurando la obtención de suficiente material para las pruebas posteriores.

#### 4.2.2 Elaboración de solución madre de quitosano

El quitosano se sintetizó a partir de quitina proporcionada por el Laboratorio de Polímeros de la Escuela de Química de la Universidad Nacional (POLIUNA). La quitina obtenida a partir de los exoesqueletos de camarón (*Pleuroncodes planipes*), se sometió a un proceso de desacetilación con hidróxido de sodio al 50% m a 100°C durante 2 horas. El quitosano obtenido fue posteriormente purificado y presentó un peso molecular viscosimétrico de 100 kDa y un grado de desacetilación entre 80-85 % (Rodríguez et al., 2021).

Para preparar la solución madre de quitosano al 1% m/v se tomó 20.0 gramos del quitosano en polvo y se disolvió hasta un volumen de 2L a una disolución de ácido acético al 0.5% v. La solución se agitó constantemente por 24 horas usando un agitador magnético a temperatura ambiente, posterior a ello se sometió a esterilización en la autoclave. La solución se utilizó para obtener la concentración de quitosano 0.5% m/v.

#### 4.2.3 Formulación final del plaguicida

Para preparar 1 litro de una suspensión, se utilizó una solución madre de *B. bassiana* a la cual se le realizó un conteo de conidios. Con base en este dato se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{litros} = \frac{50\,000 \times \text{promedio de conteo}}{1 \times 10^6 \text{ esporas/ml}} \times \text{Solución madre (ml)}$$

Que nos dio la cantidad total de bioplaguicida de *B. bassiana* a formular en base en agua. Luego, se calculó la cantidad de quitosano a agregar para mantener la concentración final de esporas del bioplaguicida, para ello se utilizó la siguiente fórmula:

$$C_i \times V_i = C_f \times V_f$$

- $C_i$  = concentración inicial de quitosano
- $V_i$  = volumen inicial
- $C_f$  = concentración final de la formulación
- $V_f$  = volumen final

#### 4.2.4 Procedimientos generales en campo

Se necesitó un área de 3 600 metros cuadrados sembrados de papaya del híbrido Pococí, su distancia de siembra fue de un metro entre plantas y por cada punto de siembra se utilizaron cuatro plantas para efectos de un sexado posterior. El manejo agronómico fue llevado a cabo por el productor, interfiriendo únicamente con el manejo de insecticidas en la zona de estudio. En la tabla 3 se muestran los tratamientos utilizados.

**Tabla 3**

*Lista de tratamientos y dosis utilizadas.*

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Concentración</b>	<b>Dosis</b>
T1	Quitosano	0.5%	1 L/ha
T2	<i>B. bassiana</i>	$1 \times 10^6$	1 L/ ha
T3	<i>B. bassiana</i> + Quitosano 0.5%	$1 \times 10^6$	1 L/ ha
T4	Tiacloprid + beta- cyfluthrin		1 L/ ha
T5	Agua		1L/ ha

La forma de aplicación de los tratamientos se realizó mediante bomba de espalda, el tipo de boquilla fue cono hueco TX-SS8 que produce mayor turbulencia, los insecticidas se aplicaron en horas de la mañana, con una frecuencia quincenal y un tiempo de 5 meses.

### **4.3 Variables a medir y frecuencia de medición**

#### 4.3.1 Muestreo indirecto

Para el muestreo de las poblaciones de cicadélidos, se empleó el método de trampas pegajosas de color amarilla. Se colocaron estructuras metálicas con alturas de uno y dos metros con respecto al suelo, sobre las cuales se fijaron láminas de 12 x 10 cm recubiertas con pegamento. Se utilizaron un total de 25 trampas, una por cada unidad experimental, y estas se recolectaron y reemplazaron cada 15 días. El sistema de trampeo se estableció días después de haberse realizado la siembra y se empezó con trampas a una altura de 1 metro, luego que las plantas superen el metro de altura, se trasladaron a una altura de 2 metros.

Para la recolección, se utilizaron bolsas de polipropileno de 7 x 11 pulgadas, las cuales se identificaron con la fecha, tratamiento y número de repetición. Posteriormente, las trampas pegajosas se analizaron en el Laboratorio de Entomología Agrícola (LEA) de la Escuela de Ciencias Agrarias

(ECA) de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA). Para procesar las trampas, se contaron ambos lados de la lámina y se apuntó el total de *Empoasca* capturadas.

#### 4.3.2 Muestreo directo

Se tomaron dos plantas por unidad experimental y se revisaron dos hojas por planta a la misma altura y se buscaron *Empoasca* spp. y se capturará por medio de un aspirador entomológico en caso de estar vivo y en el caso de aquellos insectos que estén muertos o con presencia de hongo, se tomará la hoja y se guardará en una bolsa plástica con su respectiva identificación. Estas muestras se llevarán al Laboratorio de Control Biológico de la ECA y se colocaron en cámaras húmedas, que consistirán en un plato Petri de 10 cm de diámetro, teniendo el fondo una capa de algodón con una lámina de papel toalla encima, donde se colocarán los cicadélidos, la capa de algodón se humedece con agua destilada.

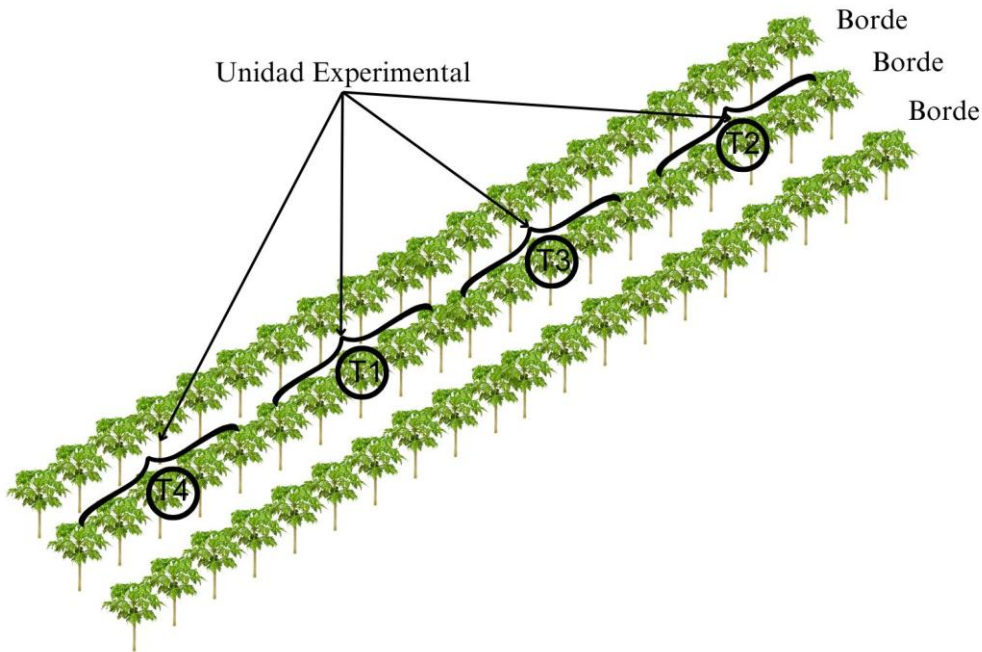
Los insectos con evidencia de parasitismo se colocarán en diferente cámara humedad con respecto a los que no mostraron signos de infección, esto para evitar su contaminación. Los insectos se mantendrán en cámara húmeda por un periodo de ocho días a una temperatura de 26°C y con una humedad relativa del 80%, en una cámara de incubación que permitirá el crecimiento de micelio y esporulación del hongo, luego se realizará el montaje y se determinará si corresponde al hongo aplicado inicialmente.

#### **4.4 Diseño estadístico**

Se implementó un diseño en bloques completos al azar (DBCA) con cinco tratamientos y cinco repeticiones, lo que totalizó 25 unidades experimentales, cada una representada por cinco plantas de papaya y la unidad observacional corresponde a las dos hojas seleccionadas por cada punto de muestreo. La selección de los árboles para el ensayo se realizó dejando una calle de borde y alternando calles para los bloques, como se muestra en la (Figura 1). La distribución de los tratamientos fue aleatorizada a lo interno del bloque. La estructura experimental fue bifactorial con interacción, donde el primer factor incluyó los cinco tratamientos y el segundo factor corresponde a las fechas de evaluación.

## Figura 1

Diseño de la estructura de la parcela y la aleatorización de los tratamientos.



Nota. Se utilizaron un total de 11 calles conformadas por 25 plantas por calle

### 4.5 Análisis estadístico

Se realizó un análisis exploratorio de la variable tomando las medidas de resumen más importantes, así como su representación gráfica utilizando el programa RStudio. Para determinar el efecto de los tratamientos sobre la variable de respuesta estudiada (Abundancia), se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con medidas repetidas en el tiempo bajo la teoría de los modelos lineales mixtos. El modelo lineal para el experimento bifactorial fue el siguiente:

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

con:  $i = 1 \dots, 5$   $j = 1 \dots 9$ ,  $k = 1 \dots 5$

Con

$Y_{ijk}$ : variable de respuesta del  $i$ -ésimo tratamiento,  $j$ -ésimo fecha de evaluación y la  $k$ -ésima repetición.

$\mu$ : media general

$\alpha_i$ : efecto de la  $i$ -ésimo tratamiento.

$\gamma_j$ : efecto de la  $j$ -ésimo fecha de evaluación

$\delta_{ij}$ : efecto adicional (interacción) para la combinación de los niveles  $i$  del tratamiento y  $j$  fecha de evaluación.

$\varepsilon_{ijk}$ : término de error que se distribuye normal independiente con media cero y varianza constante.

Se comprobaron 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 existan diferencias estadísticas entre los tratamientos, se realizaron 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.

## **4.6 Factibilidad técnica y económica de la utilización de formulaciones de *B. bassiana* encapsuladas en quitosano**

### 4.6.1 Procedimientos generales

Para evaluar la factibilidad técnica y económica de los tratamientos, se recopilaron datos sobre los costos y la eficiencia de cada tratamiento en términos de aplicación y efectividad en el campo. El análisis incluyó estimaciones de costos directos e indirectos asociados con cada tratamiento, y se calculó un índice de costo-beneficio para determinar cuál opción es más viable económicamente en el manejo de *Empoasca* spp. en papaya.

### 4.6.2 Factibilidad técnica

Para determinar la factibilidad técnica se tomaron en cuenta los métodos de aplicación, documentando si existe alguna diferencia para aplicar cada tratamiento. Además, se realizó un análisis de método de aplicación que enfatice si existen diferencias en el equipo para fumigar, si cambian las boquillas y si es necesario mezclar o preparar el producto antes de aplicarlo. Asimismo, se incluyó el tiempo de aplicación para determinar si toma más tiempo la preparación y limpieza del equipo según cada tratamiento. Por último, el número y frecuencia de aplicación requerida para contrarrestar la población de *Empoasca* spp.

### 4.6.3 Análisis de Costo-Beneficio (ACB)

Se implementó un Análisis de Costo Beneficio (ACB) como herramienta para interpretar los datos obtenidos, permitiendo determinar los costos por cada tratamiento y los beneficios que se

obtuvieron, determinando la factibilidad económica. Para desarrollar este análisis se utilizaron los siguientes criterios; el costo total de los tratamientos se realizó mediante la suma de los gastos fijos y variables necesarios para el desarrollo de cada uno donde se incluyen (insumos, mano de obra, aplicación, entre otros). Asimismo, se estimaron los beneficios donde se incluyó la reducción de pérdidas en el cultivo debido a una menor infestación de *Empoasca* spp., así como ahorros en el uso de plaguicidas o mejoras en la calidad del producto y, por último, el índice Costo-Beneficio (ICB) que se calculó dividiendo los beneficios entre los costos (Beneficios / Costos). Un índice mayor que 1 indica que el tratamiento es económicamente rentable (Jaibumrung et al., 2023). Para analizar el ICB se utilizó la siguiente fórmula:

$$ICB = \frac{\text{Beneficios Totales}}{\text{Costos Totales}}$$

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Evaluación del bioplaguicida formulado a base del hongo y el quitosano

#### 5.1.1 Formulación y aplicación del bioplaguicida

Como pasos anteriores a la formulación del bioplaguicida se hizo la reactivación de la cepa BV-15 siguiendo el protocolo establecido por el Laboratorio de Control Biológico (LCB) de la ECA. El porcentaje de pureza en todas las formulaciones para cada dilución siempre estuvo por encima del 90% siendo la formulación Quitosano al 0.50% la que obtuvo este mínimo (Tabla 4), sin embargo, el promedio de todas las formulaciones estuvo por arriba del 95%.

**Tabla 4**

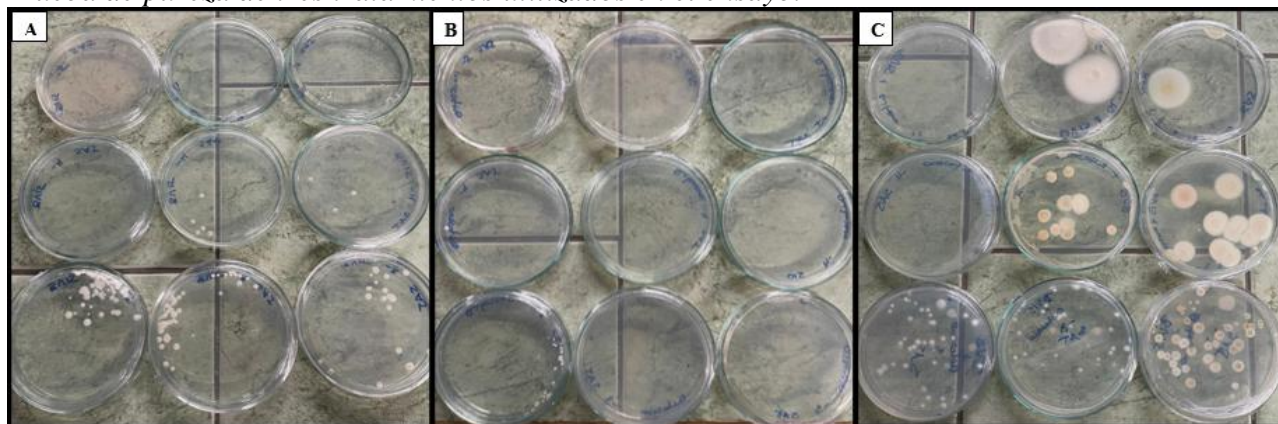
*Prueba de pureza de las formulaciones utilizadas en el ensayo.*

Formulaciones	Porcentaje de Pureza (%)			
	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	Promedio
<i>B. bassiana</i>	97.00	100.00	100.00	99.00
<i>B. bassiana</i> + Quitosano al 0.50%	100.00	98.00	100.00	99.30
Quitosano al 0.50%	90.00	100.00	100.00	96.70

En la figura 2 se puede observar la pureza del crecimiento del hongo de las formulaciones bajo distintas concentraciones. Las esporulaciones para los tratamientos *B. bassiana* cepa 15 (A) y *B. bassiana* + Quitosano al 0.50% respectivamente (C) no mostraron ninguna contaminación por algún agente patógeno. Por otra parte, para el tratamiento Quitosano al 0.50% (B), no hubo crecimiento de algún agente patógeno (bacterias principalmente), lo cual es un indicador positivo para este tratamiento.

## Figura 2

*Prueba de pureza de tres tratamientos utilizados en el ensayo.*



Nota. Las letras A, B y C corresponden a los tratamientos de *B. bassiana* cepa 15, Quitosano al 0.50% y *B. bassiana* + Quitosano al 0.50% respectivamente. La fila superior representa la dilución de  $1 \times 10^{-5}$ , la segunda fila la dilución de  $1 \times 10^{-4}$  y la última fila la dilución de  $1 \times 10^{-3}$ .

En cuanto a las unidades formadoras de colonias para las formulaciones donde se utiliza la cepa 15 de *B. bassiana* sola y en combinación con Quitosano al 0.50%, se obtuvo para cada una de las formulaciones valores mayores al mínimo aceptado (1.000.000 de esporas por gramo para la concentración  $1 \times 10^{-5}$ ) para las unidades formadoras de colonias (Tabla 5).

**Tabla 5**

*Unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo y por mililitro para prueba de viabilidad de conidios del hongo (*B. bassiana*).*

Formulación	Concentración	Promedio	UFC/mL	UFC/g
<i>B. bassiana</i>	$1 \times 10^{-3}$	56.70	226.80	226800
	$1 \times 10^{-4}$	20.30	81.20	812000
	$1 \times 10^{-5}$	6.70	26.80	2680000
<i>B. bassiana</i> + Quitosano al 0.50%	$1 \times 10^{-3}$	62.30	249.20	249200
	$1 \times 10^{-4}$	18.30	73.20	732000
	$1 \times 10^{-5}$	5.00	20.00	2000000

Las formulaciones fueron preparadas con 24 horas de antelación a su aplicación, envasadas adecuadamente y conservadas bajo condiciones de refrigeración. Durante el traslado al lugar de aplicación, se mantuvo una temperatura controlada para preservar su integridad. Las aplicaciones en

campo se realizaron entre las 9:00 y las 11:00 horas, con el objetivo de evitar temperaturas elevadas que pudieran afectar la eficacia de los tratamientos biológicos. Para la aplicación se utilizó una bomba de 8 litros equipada con una boquilla de aspersión estándar, siguiendo rigurosamente los tratamientos establecidos en la parcela experimental, como se muestra en la Figura 3.

### **Figura 3**

*Fila de tratamientos por aplicar divididos en la tercera planta por su respectiva etiqueta.*

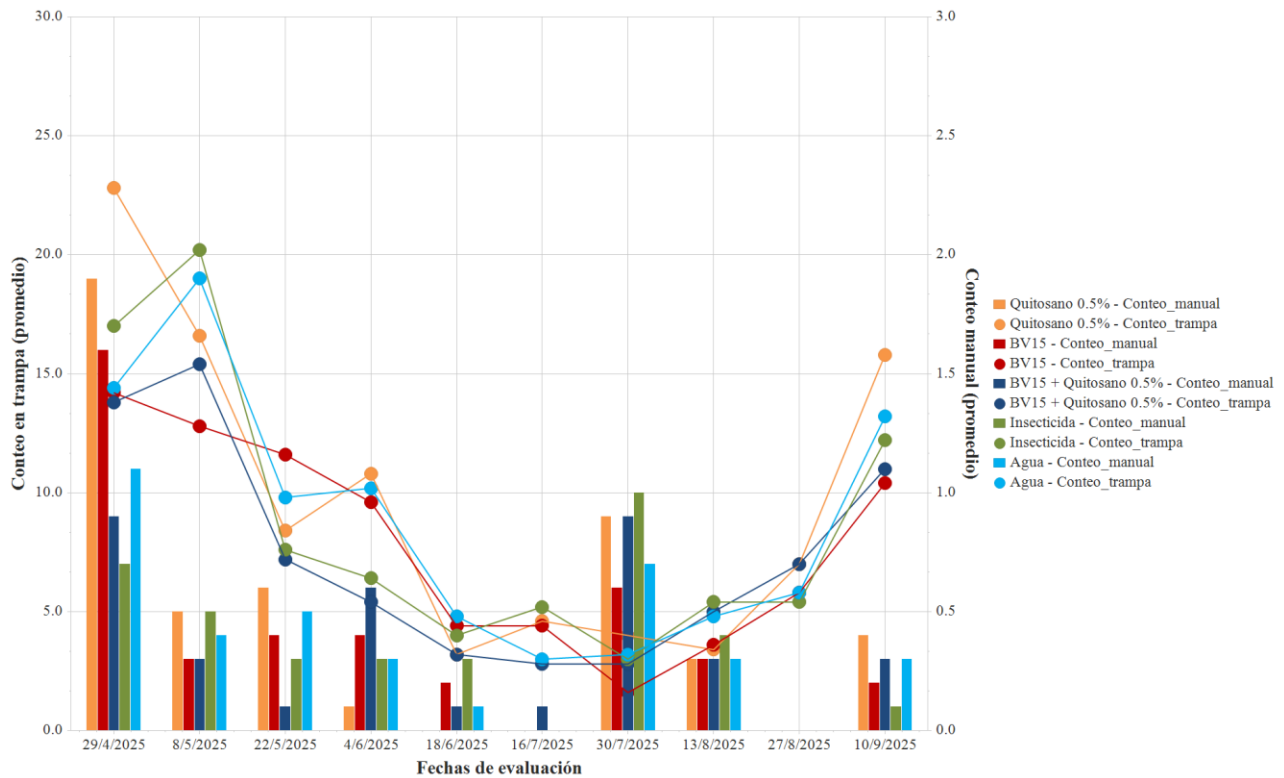


#### 5.1.2 Muestreo directo e indirecto en trampas

Para lograr determinar la dinámica y el efecto de los tratamientos, el método de conteo indirecto (trampas cromáticas) fue el que permitió tener una mejor interpretación del efecto de los tratamientos. El conteo directo (muestreo en la planta) correlaciona de manera positiva pero muy baja con respecto al conteo indirecto, observándose poca o nula población de insectos. En la Figura 4 se observa un efecto de las fechas sobre ellos.

**Figura 4**

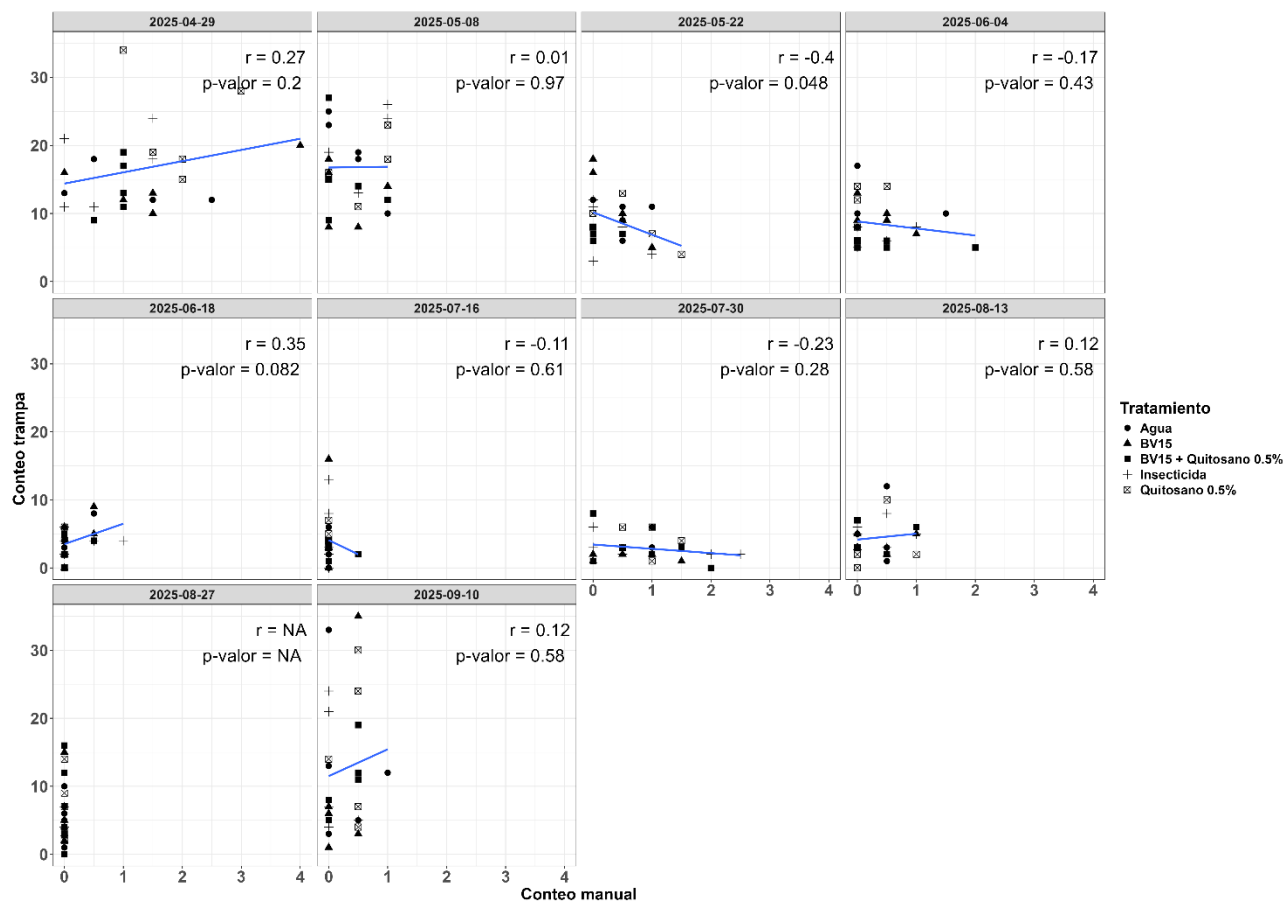
*Promedio de conteo de trampas amarillas para cada una de las fechas de evaluación.*



En cuanto a la correlación por fecha entre ambos tipos de muestreo hubo correlación, en algunos positiva y en otras negativa pero ninguna significativa ( $p > 0.05$ ) (Figura 5). Además, se observa una generalización de los tratamientos y no la conformación de grupos por valores entre variables, esto indica que no hay una relación entre los tratamientos evaluados. Por lo tanto, no existió una relación consistente entre el conteo manual y el conteo en trampa a lo largo del tiempo.

## Figura 5

Gráfico de dispersión entre conteo de trampas amarillas y conteo manual para cada una de las fechas de evaluación.

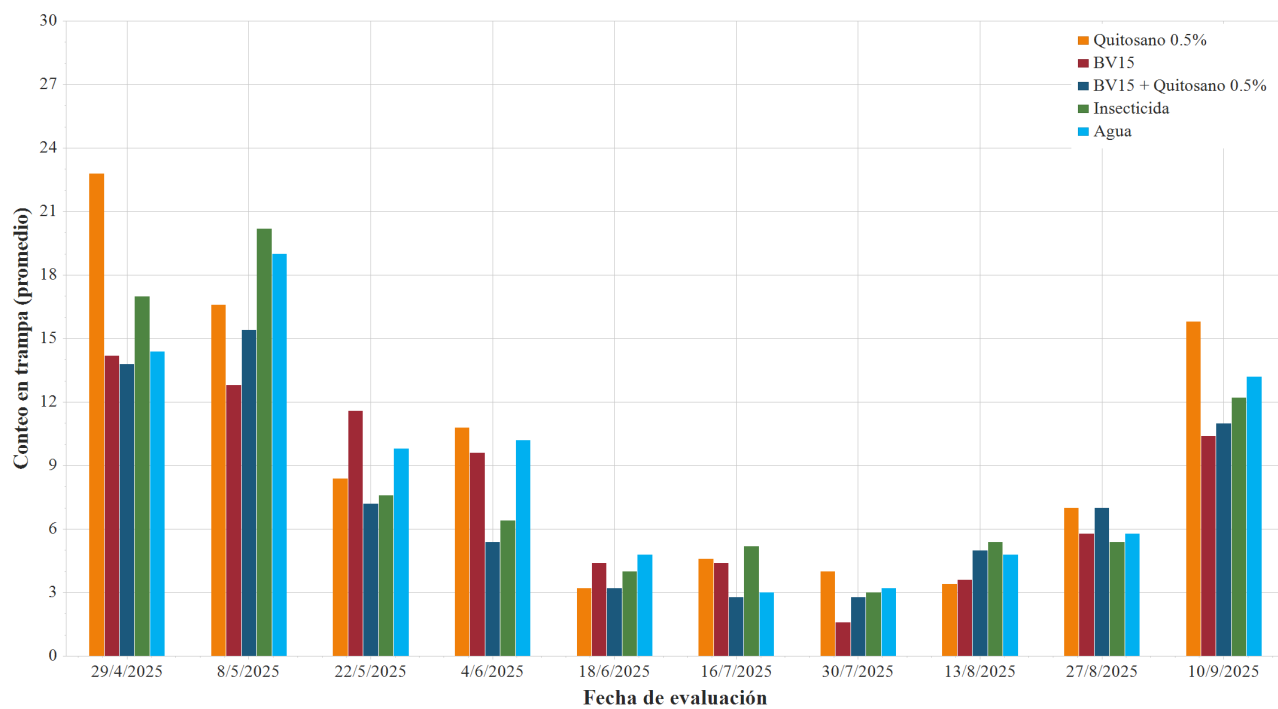


Nota. Cada fecha de evaluación muestra el coeficiente correlación de Pearson (r) y el valor de probabilidad.

Al analizar el promedio de conteo de trampas amarillas, se observa que los valores registrados para cada tratamiento en las distintas fechas de evaluación no muestran diferencias marcadas entre sí. Las mayores capturas se presentaron al inicio y final de los muestreos (abril, mayo y septiembre respectivamente) en promedio entre 12 y 15 insectos por trampa, mientras que las más bajas se dieron durante los meses de junio a agosto, 2-3 capturas promedio por trampa (Figura 6).

**Figura 6**

*Promedio de conteo de trampas de cada uno de los tratamientos aplicados en campo para las respectivas fechas de evaluación.*



Para la variable conteo promedio no hubo interacción significativa, tampoco efecto de tratamiento y solamente hubo efecto de fecha de evaluación de forma independiente, indicando que la dinámica fue efecto biológico e interacción con clima (Tabla 6).

**Tabla 6**

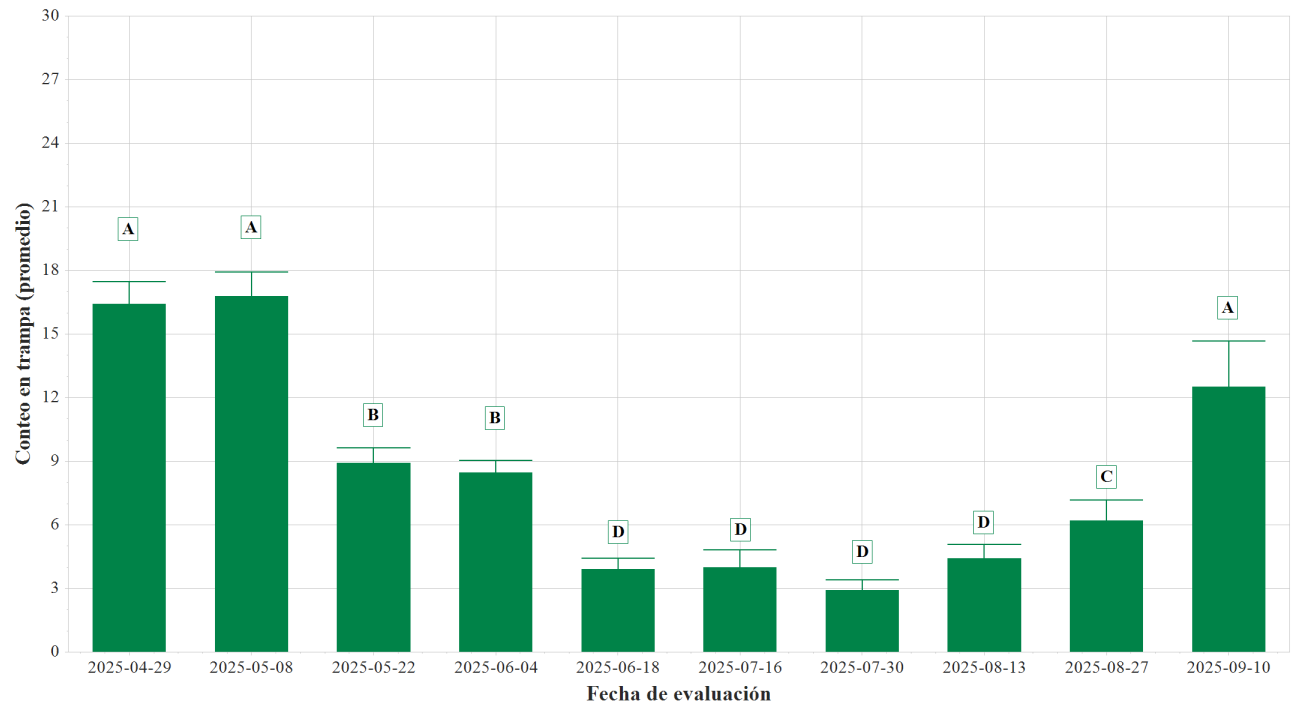
*Valores del estadístico F y p-valor asociado al conteo promedio en trampas.*

Fuente	Grados de libertad numerados	Grados de libertad del denominador	Estadístico F	p-valor
Intercepto	1	180	416.97	<0.0001
Fecha	9	180	38.62	<0.0001
Tratamiento	4	16	1.39	0.2831
Fecha:Tratamiento	36	180	1.20	0.2207

Entre evaluaciones, las primeras dos y la última no son diferentes entre ellas, pero si diferentes al resto de las evaluaciones y, además, son las que mayor promedio registraron. En cuanto a las evaluaciones con menor población fueron las de junio a agosto (Figura 7).

### Figura 7

*Promedio de conteo de trampas amarillas para cada una de las fechas de evaluación.*



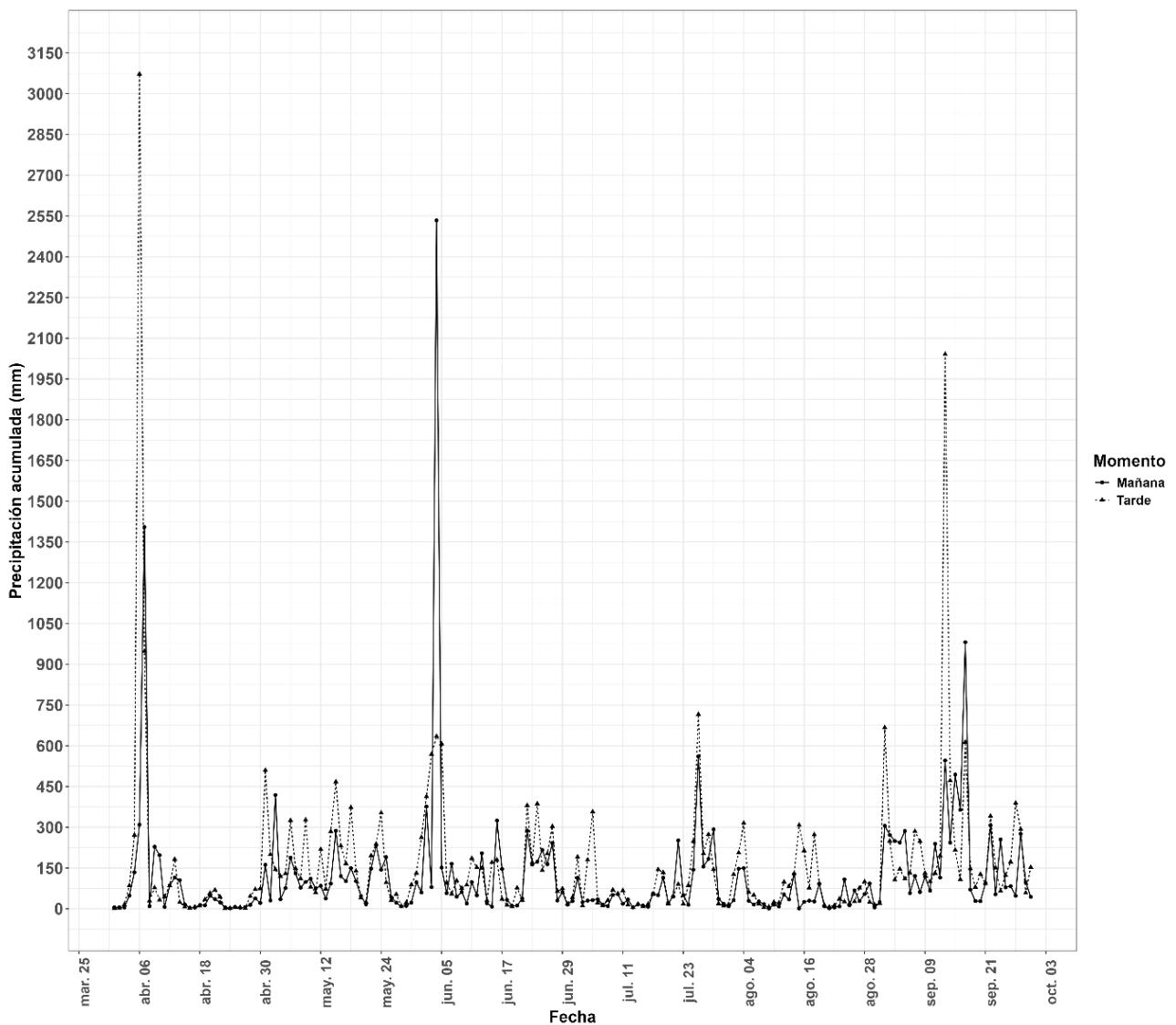
*Nota.* Letras iguales no son significativamente distintas ( $p > 0.05$ ).

### 5.1.3 Relación entre las variables climáticas y la eficiencia de los tratamientos

En la figura 8 se muestra una alta variabilidad en la precipitación acumulada en el lapso donde se llevó a cabo el ensayo, con picos pronunciados que indican eventos de lluvia intensa (inicios de abril, junio y septiembre). Las líneas representan dos momentos del día, mañana y tarde, siendo en la tarde donde ocurren las lluvias más fuertes.

**Figura 8**

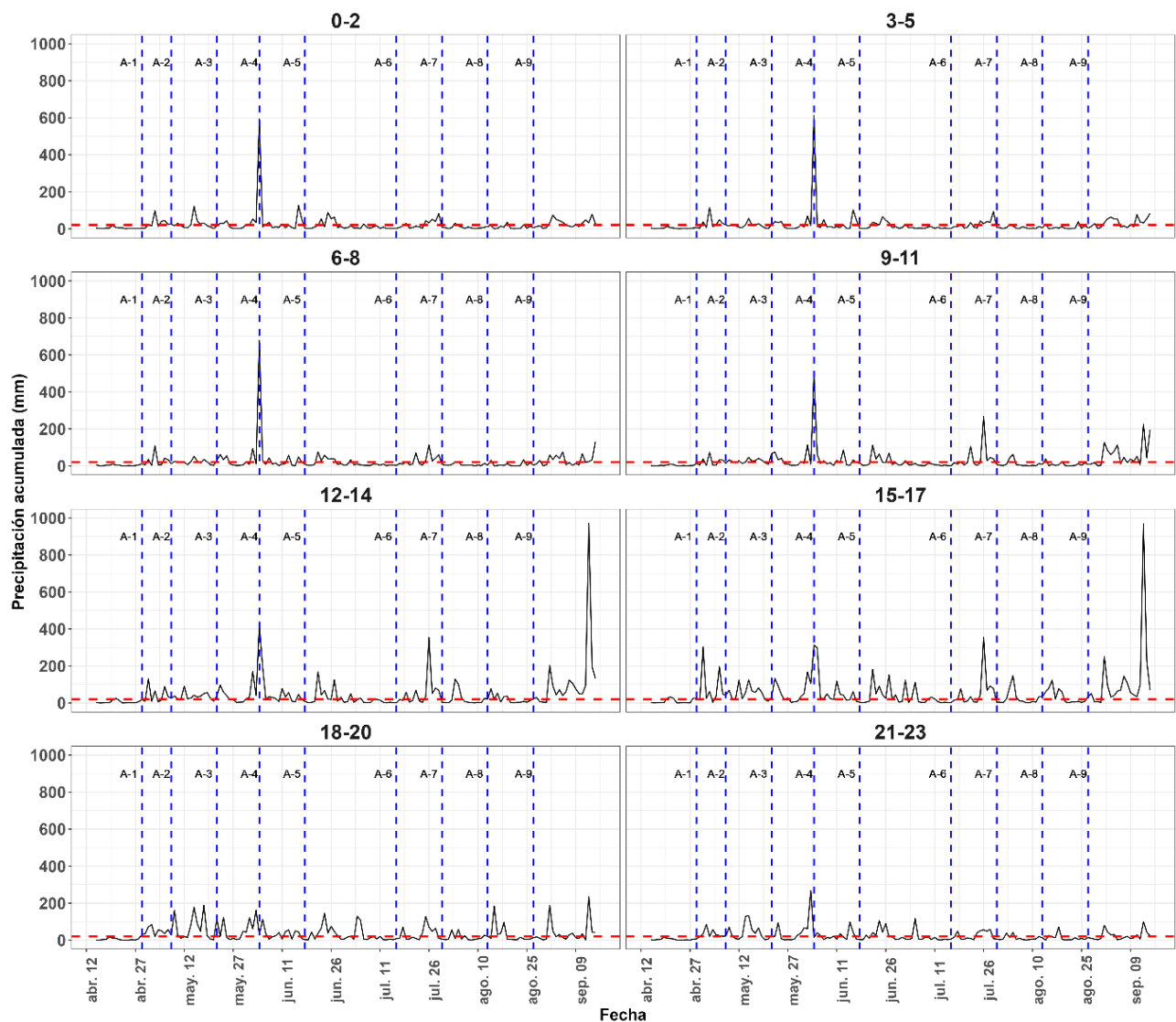
*Precipitación acumulada (mm) en la mañana y en la tarde durante el período de tiempo de aplicación de los tratamientos.*



Al descomponer la precipitación por cada tres horas acumuladas desde las 12 a.m., se observa un mayor flujo de agua llovida entre las 12-14 y 15-17 horas, indicando que es en horas de la tarde que ocurren lluvias intensas. Las líneas azules verticales indican las fechas de aplicación de los tratamientos, algunas fechas coinciden con picos de precipitación. Durante el período de evaluación, hay picos de alta magnitud de lluvia, específicamente entre abril-mayo y junio-septiembre, en contraste julio y agosto son los meses que menor intensidad y frecuencia de precipitaciones presentan (Figura 9).

### Figura 9

*Precipitación acumulada (mm) en rangos de 3 horas durante las fechas de aplicación de los tratamientos.*



## 5.2 Factibilidad técnica económica del bioplaguicida

### 5.2.1 Análisis de costos

Como primera etapa para la formulación del bioplaguicida, se procedió a obtener quitosano siguiendo los pasos que se muestran en la figura 10. Previo a este protocolo hay un paso importante, que es la producción de quitina que se extrae de la cáscara del camarón mediante métodos físicos y químicos.

**Figura 10**

*Protocolo de producción de 1.0 kg de Quitosano.*



En la tabla 7 se detalla el costo de producción de un kg de quitosano, que a su vez con esa cantidad se pueden formular 100.000 litros de disolución de quitosano al 1.0% de concentración.

**Tabla 7***Costos de producción de 1.0 kg de quitosano.*

<b>Rubro</b>	<b>Costo en colones</b>
3 kilogramos de quitina	125.419,00
2 estudiantes	27.816,00
30 kilogramos de NaOH concentrado	55.666,00
Equipo	300.000,00
Accesorios/materiales	50.000,00
Transporte compra de cáscara de camarón	20.000,00
Imprevistos	85.679,00
<b>Total</b>	<b>664.580,00</b>

*Nota.* La cáscara de camarón, de la cual se extrae el quitosano, no tiene costo alguno.

Ahora bien, para producir 1L de disolución de quitosano al 1.0% de concentración se necesitaron 10 g de quitosano producido anteriormente. En la tabla 8 se detalla el costo en colones de producción de 1L de quitosano al 1.0%.

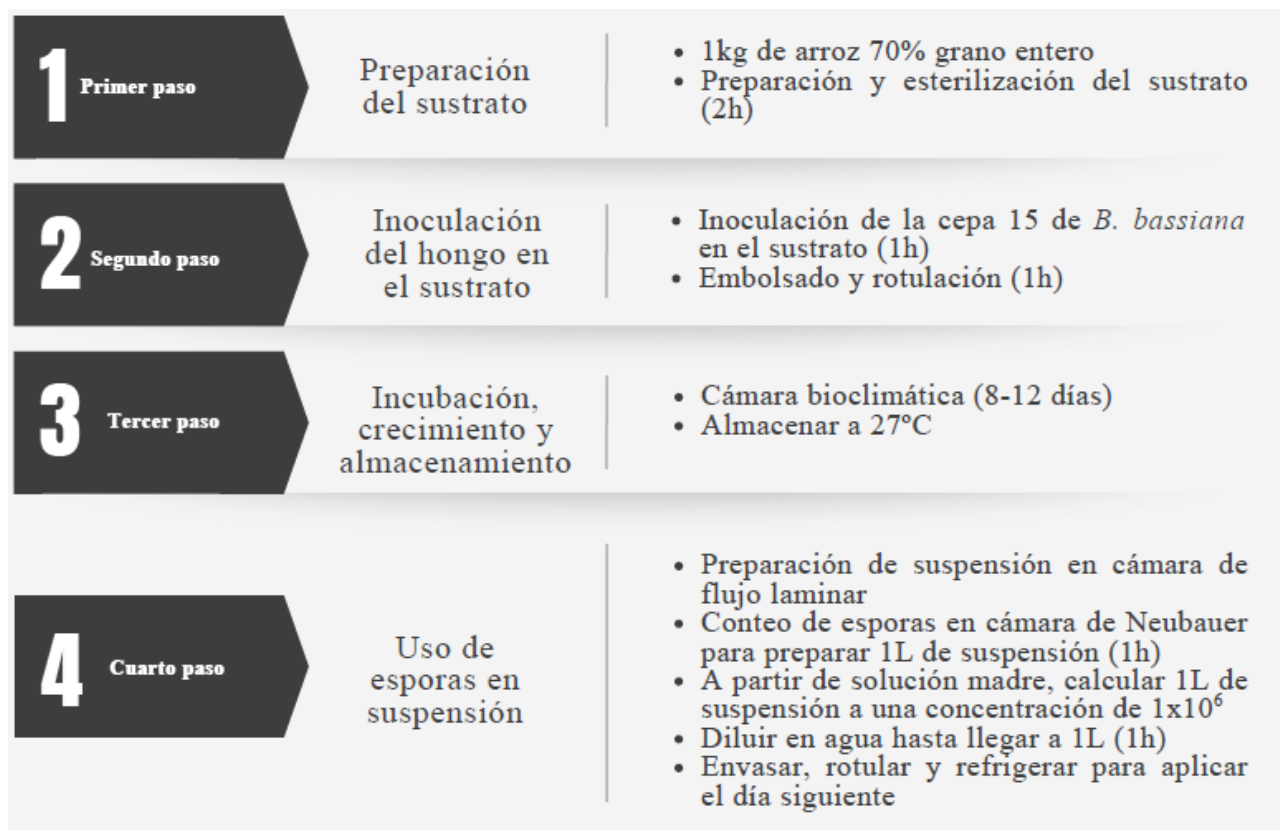
**Tabla 8***Costos de producción de 1L de disolución de quitosano al 1.0% de concentración.*

<b>Rubro</b>	<b>Costo en colones</b>
10 g Quitosano	6.645,80
1 estudiante	10.500,00
1 L ácido acético glacial	3.968,00
Uso de equipo de laboratorio	941,76
<b>Total</b>	<b>22.055,56</b>

Por otra parte, también se detalla el protocolo de producción de *B. bassiana* (Figura X). En este caso se explicó el paso a paso para producir 1kg de sustrato (arroz 70% grano entero) en donde se inocula el hongo utilizado.

## Figura 11

Protocolo de producción de *B. bassiana*.



Una vez detallado el protocolo de producción de *B. bassiana*, en la tabla 9 se detalla el costo de producción de 1.0 kg del hongo.

**Tabla 9**

Costos de producción de 1.0 kg de *B. bassiana* inoculados en sustrato.

Rubro	Costo en colones
1kg de arroz 70% grano entero	617,60
Preparación del sustrato	565,56
Inoculación del hongo en sustrato	376,70
Crecimiento y almacenamiento	5.085,50
Uso de esporas en suspensión	376,70
1 estudiante	10.500,00
Bolsas	250,00

<b>Total</b>	<b>17.772,10</b>
--------------	------------------

Para producir 1L de suspensión de *B. bassiana* se necesitan aproximadamente 10g del sustrato inoculado para una concentración de  $1 \times 10^6$ . Por lo tanto, en la tabla 10 se observa el costo de producción de 1L de cada uno de los tratamientos evaluados en el ensayo. El costo del insecticida fue obtenido de la sucursal del agroservicio Colono Agropecuario de Guácimo, Limón.

**Tabla 10**

*Costos de producción de 1L de cada uno de los tratamientos utilizados.*

<b>Rubro</b>	<b>Costo en colones</b>
<i>B. bassiana</i> + Quitosano 0.50%	11.205,50
Quitosano 0.50%	11.027,78
<i>B. bassiana</i> cepa ECA-15 (en suspensión)	177,72
Insecticida (Tiacloprid + beta-cyfluthrin)	25 500,00
Testigo (Agua)	0,00

La Tabla 11 muestra el análisis comparativo del costo de aplicación correspondiente a los cinco tratamientos evaluados en el ensayo, tomando en cuenta la dosis utilizada por hectárea y el costo asociado a la mano de obra (M.O.). Para efectos del cálculo, se consideró un valor de 1.600,00 colones por hora de jornal, conforme a la tarifa vigente en la zona donde se llevó a cabo el estudio.

**Tabla 11**

*Costos de aplicación de cada tratamiento por hectárea de siembra.*

<b>Tratamiento</b>	<b>Costo/L</b>	<b>Dosis/ha</b>	<b>M.O. aplicación</b>	<b>Costo/ha</b>
BV15 + Quitosano 0.50%	11.205,50	2 L	4 800,00	27.211,00
Quitosano 0.50%	11.027,78	2 L	4 800,00	26.855,56
<i>B. bassiana</i> cepa ECA-15	177,72	2 L	4 800,00	5.155,44
Insecticida (Tiacloprid + beta-cyfluthrin)	25.500,00	0,250 L	4 800,00	11 175,00
Testigo (Agua)	0,00	2 L	4 800,00	4 800,00

*Nota.* M.O. es la mano de obra.

Dado que el cultivo de papaya fue evaluado durante un período de cinco meses, las aplicaciones se realizaron en distintas etapas de su desarrollo fenológico. La Tabla 12 presenta el costo estimado, expresado en colones, correspondiente a la aplicación de cada uno de los tratamientos considerados en el estudio.

**Tabla 12**

*Costos de aplicación de cada tratamiento por etapa del cultivo de papaya.*

<b>DDS</b>	<b>Dosis (L/ha)</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Costo estimado (colones)</b>
22	0.5	BV15 + Quitosano 0,50%	6.802,75
		Quitosano 0,50%	6.713,89
		<i>B. bassiana</i> cepa ECA-15	1.288,86
		Insecticida (Tiacloprid + beta-cyfluthrin)	2.793,75
		Testigo (Agua)	1.200,00
37	1.0	BV15 + Quitosano 0,50%	13.605,50
		Quitosano 0,50%	13.427,78
		<i>B. bassiana</i> cepa ECA-15	2.577,72
		Insecticida (Tiacloprid y beta-cyfluthrin)	5.587,50
		Testigo (Agua)	2.400,00
67	1.5	BV15 + Quitosano 0,50%	20.408,25
		Quitosano 0,50%	20.141,67
		<i>B. bassiana</i> cepa ECA-15	3.866,58
		Insecticida (Tiacloprid y beta-cyfluthrin)	8.381,25
		Testigo (Agua)	3.600,00
82	1.8	BV15 + Quitosano 0,50%	24.489,90
		Quitosano 0,50%	24.168,99
		<i>B. bassiana</i> cepa ECA-15	4.639,90
		Insecticida (Tiacloprid y beta-cyfluthrin)	10.057,50
		Testigo (Agua)	4.320,00
97	2.0	BV15 + Quitosano 0,50%	45.161,84
		Quitosano 0,50%	22.481,00
		<i>B. bassiana</i> cepa ECA-15	27.480,84
		Insecticida (Tiacloprid y beta-cyfluthrin)	11.175,00
		Testigo (Agua)	4.800,00

*Nota.* DDS significan días después de siembra.

## 6. DISCUSIÓN

### 6.1 Evaluación del bioplaguicida formulado a base del hongo y el quitosano

Una vez realizada la reactivación de la cepa 15 del hongo *B. bassiana*, se almacenó en condiciones favorables para una correcta germinación de esporas. Estas condiciones fueron dadas por la cámara bioclimática, con temperaturas entre 26 y 27°C, una humedad mayor al 85%, también se destaca el uso de medio de crecimiento PDA (Papa Dextrosa Agar) adecuado para este hongo. Según Agudelo et al. (2024), al realizar encapsulaciones de *B. bassiana* con biopolímeros la temperatura es el principal factor que afecta la germinación y la formulación de esporas. La temperatura ideal para que ambos procesos se den es de 27°C, así como también se destaca la importancia de utilizar PDA como medio de cultivo y una humedad mayor a un 90% (Felizatti et al., 2021).

Los porcentajes de pureza obtenidos en las pruebas realizadas a cada una de las formulaciones sobrepasó el 90% en las diluciones evaluadas, resultando promedios por encima del 96%. Según Cardona et al. (2025), la prueba de pureza tiene como objetivo establecer la proporción del agente biológico (*B. bassiana*) en la formulación e identificar si existen microorganismos contaminantes. El porcentaje mínimo aceptado para este hongo es del 90%, por lo que según lo obtenido está dentro del rango aceptado (Narváez et al., 2022), ya que, la formulación que tuvo el menor porcentaje fue de quitosano al 0.50% solo.

En cuanto al conteo de unidades formadoras de colonias (UFC), los tratamientos de *B. bassiana* en suspensión para las diluciones  $1 \times 10^{-3}$ ,  $1 \times 10^{-4}$  y  $1 \times 10^{-5}$ ; obtuvieron 57, 21 y 7 UFC por plato respectivamente. En las mismas diluciones, pero ahora el hongo mezclado con quitosano al 0.50% obtuvieron 63, 19 y 5 UFC por plato. Con su incubación (7 días a 27°C) se promueve el desarrollo de UFC para luego identificar los organismos presentes, los cuales pueden ser el hongo entomopatógeno, otros hongos, bacterias y levaduras (Ayala et al., 2017). Según Liu et al. (2022), para la dilución  $1 \times 10^{-3}$  las colonias esperadas por plato van de 50 a 300 UFC, para la dilución  $1 \times 10^{-4}$  el rango va de 10 a 100 UFC y para la dilución  $1 \times 10^{-5}$  va de 1 a 20 UFC. De esta manera, los tratamientos evaluados fueron viables para su uso, sin perder cantidad de conidios al formular a una concentración de  $1 \times 10^6$  para llevar a campo.

## **6.2 Muestreo en trampa y conteo manual**

La mayor sensibilidad del método indirecto mediante trampas cromáticas evidencia que este sistema es más adecuado para evaluar la dinámica poblacional de los insectos. La baja correlación con el muestreo directo en planta coincide con lo reportado en estudios previos, donde se señala que la observación visual tiende a subestimar poblaciones reducidas debido a la movilidad y dispersión de los individuos (Hannigan et al., 2023). En el contexto del ensayo, esta diferencia metodológica implica que los resultados de eficacia del bioinsecticida deben interpretarse principalmente a partir del conteo indirecto, ya que el conteo directo no refleja con precisión la presión real de la plaga.

La ausencia de correlaciones significativas entre el conteo manual y el conteo indirecto sugiere que ambos métodos responden de manera distinta a la dinámica poblacional del insecto en el cultivo de papaya. La generalización de los tratamientos y la falta de agrupación clara entre variables refuerzan la idea que el muestreo visual no refleja con precisión la presión real de la plaga, lo que limita su utilidad como único indicador en ensayos de eficacia (Franzén et al., 2025). En términos prácticos, esto implica que la evaluación de bioinsecticidas en condiciones de alta variabilidad climática, como las del Caribe costarricense, debe apoyarse principalmente en métodos indirectos más sensibles, complementados con registros ambientales que permitan explicar la falta de consistencia en los datos (Halsch et al., 2021).

## **6.3 Correlación entre fechas de aplicación y muestreos**

La ausencia de diferencias marcadas entre los tratamientos en el promedio de capturas sugiere que las variaciones observadas responden principalmente a factores ambientales y estacionales más que al efecto de los tratamientos evaluados. La disminución de insectos en ambos muestreos durante períodos de lluvias refleja la vulnerabilidad de los tratamientos al lavado por precipitación, como lo señala Wise et al. (2016) dando importancia al período libre de precipitación. El comportamiento refleja que la eficiencia de las aplicaciones químicas y biológicas no pueden evaluarse de manera aislada, se deben tener en cuenta estrategias de aplicación que reduzcan el impacto de la lluvia sobre la persistencia del producto en la plantación (Van Dijk et al., 2025).

De la misma manera, la falta de interacción entre tratamientos y fechas reafirma que la dinámica poblacional existente responde principalmente a factores ambientales y biológicos más que al efecto directo de los tratamientos aplicados. El efecto de exceso de lluvias en la zona de estudio

durante los meses de estudio demuestra dos escenarios, la disminución natural de la actividad de las plagas bajo estas condiciones (Chen et al., 2019) y la vulnerabilidad de los tratamientos al lavado por este factor. Estudios realizados resaltan que la variabilidad climática de una zona puede enmascarar o modificar la eficiencia aparente de los tratamientos en campo (Pokovai et al., 2025; Liu & Basso, 2020).

#### **6.4 Comparación entre tratamientos**

Los tratamientos evaluados mostraron una respuesta homogénea durante todas las aplicaciones realizadas en el tiempo, sin diferencias estadísticamente significativas. El tratamiento con insecticida no presentó un desempeño superior al control con agua, lo que sugiere una baja eficacia del producto bajo las condiciones del ensayo. De igual manera, los tratamientos biológicos no lograron generar un nivel de control distinto al observado en el resto de los tratamientos. Estos resultados indican que ninguno de los agentes evaluados produjo un efecto diferencial medible sobre la variable de respuesta, evidenciando un comportamiento comparable entre alternativas químicas, biológicas y de control (Prazaru et al., 2023).

La falta de efectividad de los tratamientos podría explicarse por diversos factores asociados al diseño experimental y a las condiciones climáticas, principalmente. El hongo se ve afectado por condiciones de temperatura y humedad relativa, el quitosano disminuye su eficiencia por la concentración utilizada y el modo de aplicación sobre el organismo objetivo (Fatu et al., 2020). Asimismo, la ausencia de un efecto sinérgico en el tratamiento combinado sugiere que la interacción entre quitosano y *B. bassiana* no se manifestó en las condiciones evaluadas (Yasin et al., 2025). La baja respuesta al insecticida podría deberse a fenómenos de tolerancia o resistencia, o hasta una aplicación que no coincidió con el estadio más susceptible del organismo (Umina et al., 2023), lo que en conjunto explicaría la similitud observada entre los tratamientos.

#### **6.5 Efecto directo de condiciones climáticas sobre los muestreos**

Durante el transcurso del ensayo se presentó una alta variabilidad en la precipitación acumulada, con picos pronunciados que indican eventos de lluvia intensa (inicios de abril, junio y septiembre). Los resultados fueron estudiados en dos momentos del día, mañana y tarde, siendo en la tarde donde ocurren las lluvias más fuertes. El ciclo anual de la zona atlántica de Costa Rica presenta acumulaciones anuales medias entre 2570 y 4760 mm día (Alfaro et al., 2024). Esto define a una

estación seca variable debido a que todos los meses la precipitación supera el umbral de 5 mm día, este valor es el característico de evapotranspiración en los trópicos (Díaz et al., 2017). Según Orozco (2023), la climatología del Caribe costarricense muestra dos máximos en cuanto a precipitación, el primario en noviembre y el secundario en julio. El mes de noviembre y julio representan poco más de 14 y 12 mm día, respectivamente, lo cual concuerda con el máximo de convergencia en el mar Caribe, bajo la misma línea en el mes de septiembre se registran valores de 9.4 mm día (Pérez et al., 2017).

Las fechas cuando se realizaron las aplicaciones presentaron precipitaciones acumuladas mayores a 30 mm, para Gómez et al. (2019), un aguacero fuerte suele considerarse cuando la precipitación supera los 25 mm entre 1 y 3 horas, causando problemas a nivel agrícola. Bajo esta situación, los tratamientos quedaron expuestos a un lavado y una rápida disipación, debido a que la lluvia disminuye la concentración del ingrediente activo utilizado en la superficie foliar y, por lo tanto, también se reduce la eficacia biológica del bioinsecticida (Thumar et al., 2024). La precipitación intensa fue el principal factor que ayudó a que se presentara esta situación, debido a que en un rango menor a 3 horas de haberse aplicado los tratamientos lloviera (Yang et al., 2025), donde lo ideal es que exista un período libre de precipitación de entre 4-6 horas, con el objetivo de potenciar las características de cada una de las moléculas aplicadas y haya un menor porcentaje de lavado (Li et al., 2024).

También se observa un mayor flujo de agua llovida entre las 12-14 y 15-17 horas, indicando que es en horas de la tarde que ocurren lluvias intensas. Esta zona del país tiene un ciclo diurno definido con máximos de precipitación en las tardes, este fenómeno se da debido a que los vientos alisios avanzan sin obstáculos y pueden medirse en superficie mediante la capa límite homogénea generada por el calentamiento diurno (Sáenz y Amador, 2016), según Ugalde et al. (2024), al chocar con las montañas, parte del flujo se canaliza y otra fracción de humedad favorece la convección a barlovento por efecto radiativo y orográfico. Durante el período de evaluación, hay picos de alta magnitud de lluvia, específicamente entre abril-mayo y junio-septiembre, en contraste julio y agosto son los meses que menor intensidad y frecuencia de precipitaciones presentan. El ciclo anual de la zona presenta dos temporadas más lluviosas, de noviembre a febrero y de junio a agosto, este movimiento presenta poca variabilidad en cuanto a su comportamiento estacional (Vargas et al., 2025).

## 6.6 Análisis económico

El análisis de costo de producción por litro de los tratamientos utilizados revela diferencias marcadas en la viabilidad económica. El insecticida químico presentó el costo de producción más elevado entre los tratamientos, dentro de las opciones biológicas el hongo en suspensión fue el más barato y el hongo mezclado con el quitosano si tuvo un mayor costo de producción, pero aun así es más accesible que la opción química. Esto se vincula con los estudios realizados que demuestran el potencial de los biocontroladores como alternativas sostenibles y económicamente accesibles desde el punto de vista de producción (Tyagi et al., 2024). Según Lee et al. (2024), la selección de un bioplaguicida debe considerarse cuando la eficacia biológica es evidente y que la relación costo-beneficio trabajan simultáneamente en sistemas productivos.

Por otra parte, los análisis de los costos de aplicación por hectárea y en diferentes etapas del cultivo de papaya, mostraron diferencias sustanciales entre los tratamientos evaluados. Las formulaciones con quitosano fueron las más elevadas, pero esto se vincula a la dosis por hectárea que es 8 veces mayor a la necesaria para el insecticida. La diferencia de dosis de aplicación se debe a la naturaleza biológica y al modo de acción del bioinsecticida que depende de procesos de infección, colonización o inducción de defensas, así como de una menor persistencia ambiental (Malinga & Laing, 2023). A pesar de que los bioinsecticidas utilizados pueden presentar un mayor costo inicial y requerir dosis más elevadas, hay estudios que resaltan un uso económicamente más eficiente en el mediano y largo plazo, debido a la reducción de costos externos, menor resistencia de plagas, preservación de servicios ecosistémicos y mayor estabilidad productiva en el sistema agrícola (Soni et al., 2024; Fenibo & Matambo, 2025).

## 7. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones de campo evaluadas, la formulación de *B. bassiana* cepa 15 encapsulada en quitosano al 0.50% no mostró diferencias significativas en la reducción de la población de *Empoasca* spp. en comparación con los demás tratamientos, lo que indica que no se evidenció una mortalidad diferencial atribuible al uso de esta formulación durante el período de estudio.

La ausencia de un efecto significativo en la mortalidad de *Empoasca* spp. estuvo fuertemente influenciada por factores ambientales, principalmente la alta precipitación registrada posterior a las aplicaciones, la cual favoreció el lavado de los tratamientos y limitó la persistencia y acción biológica del hongo en condiciones de campo.

Desde el punto de vista técnico, las formulaciones de *B. bassiana* encapsuladas en quitosano presentaron altos niveles de pureza y viabilidad, cumpliendo con los parámetros mínimos aceptados, lo que demuestra que el bioinsecticida es factible para su producción y aplicación en sistemas agrícolas.

En términos económicos, aunque las formulaciones biológicas encapsuladas en quitosano implican un mayor costo de producción y aplicación en comparación con *B. bassiana* en suspensión y el insecticida químico, estas representan una alternativa sostenible viable para el manejo de *Empoasca* spp., especialmente cuando se consideran los beneficios potenciales a mediano y largo plazo asociados a la reducción del impacto ambiental y al manejo integrado de plagas en la producción de papaya en Costa Rica.

## 8. RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones, evaluar la formulación de *B. bassiana* encapsulada en quitosano bajo condiciones de menor precipitación o incorporando estrategias de aplicación que garanticen un mayor período libre de lluvia posterior a la aplicación, con el fin de reducir el lavado del producto, mejorar su persistencia y eficacia biológica en campo.

Para la evaluación de la dinámica poblacional de *Empoasca* spp. en el cultivo de papaya, se recomienda priorizar el uso de métodos indirectos, como trampas cromáticas, complementados con registros climáticos detallados, debido a su mayor sensibilidad y confiabilidad en comparación con el conteo manual bajo condiciones de alta variabilidad ambiental.

Desde el punto de vista productivo, se recomienda considerar las formulaciones biológicas a base de *B. bassiana* como parte de un programa de manejo integrado de plagas, valorando no solo el costo inmediato de aplicación, sino también los beneficios a mediano y largo plazo asociados a la sostenibilidad del sistema, la reducción del impacto ambiental y la disminución del riesgo de resistencia de las plagas.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abu, A., Bianco, P., Busato, E., AlMahasneh, A., Alma, A., Tedeschi, R., & Quaglino, F. (2023). Association of seven *Candidatus* phytoplasma species to an almond disease complex in Jordan, and preliminary information on their putative insect vectors. *Crop Protection*, 164. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2022.106147>
- Agudelo, J., Yáñez, C., & Moreno, L. (2024). Aplicación y evaluación de métodos de conservación a corto y mediano plazo para hongos filamentosos y levaduras de interés industrial, agroindustrial y biotecnológico. *Cuaderno Activa*, 15(1). <https://doi.org/10.53995/20278101.1064>
- Aguirre, R. (2018). Crecimiento, morfología floral y expresión sexual de genotipos no comerciales y comerciales de papayo (*Carica papaya* L.). (Tesis de Maestría). <http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/2996>
- Alfaro, E., Alvarado, L., Fallas, B., Mora, N., & Hidalgo, H. (2024). Caracterización climática y análisis de mecanismos moduladores del descenso de las lluvias en la vertiente Caribe de América Central durante septiembre-octubre. *Revista de Ciencias Ambientales*, 58(1), 1-24. <https://doi.org/10.15359/rca.58-1.4>
- Angulo, L., Iannacone, J., & Romero, L. (2022). Efectos tóxicos de bioplaguicidas botánicos sobre especies del Orden Himenóptera. *Revista Campus*, 27(34), 293-334. <http://dx.doi.org/10.24265/campus.2022.v27n34.09>
- Aranda, A., Naranjo, M., Abihssira, I., Zavala, E., & Lopez, L. (2017). Ethanol production from chitosan by the nematophagous fungus *Pochonia chlamydosporia* and the entomopathogenic fungi *Metarhizium anisoplae* and *Beauveria bassiana*. *Microbiological Research*, 204, 30-39. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.07.009>
- Areej, A., Usama, M., Zulfiqar, U., Sarwar, F., & Ashiq, A. (2024). Biopesticides in sustainable agriculture: enhancing targeted pest control and ecosystem health. *Applied Agriculture Sciences*, 2(1), 1-8. <https://doi.org/10.25163/agriculture.2110006>
- Ayala, M., Gallou, A., Berlanga, A., Andrade, G., Rodríguez, J., Arredondo, H., & Montesinos, R. (2017). Viability, purity, and genetic stability of entomopathogenic fungi species using different preservation methods. *Fungal Biology*, 121(11), 920-928. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2017.07.007>

- Barrantes, W., & Sánchez, E. (2022). Análisis de curvas de fusión de alta resolución para identificar el sexo en papaya (*Carica papaya* L.). *Agronomía Mesoamericana*, 33(3). doi:10.15517/am.v33i2.48750
- Barrantes, W., Loría, C. & Gómez, L. (2019). Evaluación de dos sistemas de sexado en plantas de papaya (*Carica papaya* L.) híbrido Pococí. *Agronomía Mesoamericana*, 30(2), 437–446. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v30i1.34916>.
- Baishya, H., & Kumar, S. (2025). Natural functional agents reinforced biopolymer composites for active food packaging applications: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 161. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.105042>
- Bashyal, S., Poudel, D., & Gautam, B. (2022). A review on cultural practice as an effective pest management approach under integrated pest management. *Tropical Agroecosystems (TAEC)*, 3(1), 34-40. DOI: <http://doi.org/10.26480/taec.01.2022.34.40>
- Benavides, M. (2021). Caracterización genética, genómica e histológica de una mutación sexual en *Carica papaya* (CARICACEAE). (Tesis de Maestría). Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica.
- Bibiano, O., Hernández, E., Ariza, R., Maldonado, M., Sarabia, G., & Valenzuela, J. (2021). Calidad en frutos de variedades de *Carica papaya* L. bajo manejo orgánico. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(2). <https://doi.org/10.19136/era.a8nII.2965>
- Biratu, W. (2022). Papaya fruit pests and development of integrated pest management: critical review. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 12(15). DOI: 10.7176/JBAH/12-15-01
- Cardona, Y., Suárez, R., & Pérez, A. (2025). Propuesta de procedimientos operativos estándar para el funcionamiento eficiente de un cepario de hongos. *AgroScience Research*, 3(1), 7-18. <https://doi.org/10.17268/agrosci.2025.001>
- Chen, C., Harvey, J., Biere, A., & Gols, R. (2019). Rain downpours affect survival and development of insect herbivores: the specter of climate change?. *Ecology*, 100(11). doi: 10.1002/ecy.2819
- Dannon, H., Dannon, A., Douro, O., Zinsou, A., Houndete, A., Toffa, J., Elegbede, I., Olou, B., & Tamò, M. (2020). Toward the efficient use of *Beauveria bassiana* in integrated cotton insect pest management. *Journal of Cotton Research*, 3(1), 1–21. <https://doi.org/10.1186/S42397-020-00061-5/TABLES/2>

- Das, N., Sujatha, S., Sai, K., Hazarika, S., Madhuri, V., Rupali, J., Sarnabati, L., & Bala, B. (2024). Integrated pest management: Success stories and key takeaways. *Uttar Pradesh Journal of Zoology*, 45(16), 229-244. <https://doi.org/10.56557/upjoz/2024/v45i164304>
- Díaz, J., Barraza, A., Yáñez, L., & Hernández, L. (2021). Plaguicidas en alimentos: riesgo a la salud y marco regulatorio en Veracruz, México. *Salud Pública de México*, 63(4), 486-497. <https://doi.org/10.21149/12297>
- Díaz, R., Solano, F., & Amador, J. (2017). Observaciones meteorológicas en la región Caribe de Costa Rica (1833-1949). *InterSedes*, 18(37). <https://doi.org/10.15517/isucr.v18i37.28654>
- Elizondo, A. (2024). Evaluación de la eficacia de formulaciones de *Beauveria bassiana* encapsuladas con quitosano para el manejo biológico del cicadélido *Empoasca papayae* en el cultivo de papaya (*Carica papaya* L. Var. Pococí). (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Espinosa, K., Sáenz, A., & Castañeda, A. (2020). Películas de quitosano propiedades y aplicaciones. *Afinidad*, 77(591). <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/377418/470720>
- Fatu, A., Luminare, C., Cojocar, D., & Monica, D. (2020). Influence of environmental factor on entomopathogenic microorganisms with potential as biological control agents. *Romanian Journal for Plant Protection*, 13, 96-104. <https://doi.org/10.54574/RJPP.13.15>
- Felizatti, A., Manzano, R., Rodrigues, I., da Silva, M., Fernandes, J., & Forim, M. (2021). Encapsulation of *B. bassiana* in biopolymers: Improving Microbiology of Insect Pest Control. *Frontiers in Microbiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2021.704812/BIBTEX>
- Fenibo, E., & Matambo, T. (2025). Biopesticides for sustainable agriculture: feasible options for adopting cost-effective strategies. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9. doi: 10.3389/fsufs.2025.1657000
- Ferreira, T., Haddi, K., Correa, R., Zapata, V., Piau, T., Souza, L., Santos, S., Oliveira, E., Jumbo, L., Ribeiro, B., Grisolia, C., Fideliz, R., Maia, A., & Aguilar, R. (2019). Prolonged mosquitocidal activity of *Siparuna guianensis* essential oil encapsulated in chitosan nanoparticles. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 13(8). doi: 10.1371/journal.pntd.0007624.
- Finch, E., Wyckhuys, K., & Rwomushana, I. (2024). Potencial distribution of *Acerophagus papayae*, a parasitoid of the papaya mealybug (*Paracoccus marginatus*), across Africa. *Biological Control*, 198. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2024.105628>

- Flores, C. (2022). Estado del arte en relación con la resistencia a plaguicidas en plagas agrícolas de importancia económica en Chile. (Tesis de bachillerato). Universidad de Chile, Chile.
- Franzén, M., Forsman, A., & Persson, O. (2025). Evaluation of sampling methods for characterization of post-fire beetle assemblages. *Journal of Insect Conservation*, 29. <https://doi.org/10.1007/s10841-025-00728-x>
- Gómez, A., Madrigal, H., Núñez, C., Calderón, H., & Jiménez, P. (2019). Vulnerabilidad hidrogeológica en la zona costera de Jacó, Pacífico Central, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 63(2), 123-145. <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.63-2.5>
- González, K., González, G., Catari E., & Sabino, M. (2024). Diseño y evaluación de partículas poliméricas como vehículos para el encapsulamiento y liberación de fármacos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 25(4), 147-183.
- Guarnieri, A., Triunfo, M., Ianniciello, D., Tedesco, F., Salvia, R., Scieuzo, C., Schmitt, E., Capece, A., & Falabella, P. (2024). Insect-derived chitosan, a biopolymer for the increased shelf life of White and red grapes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 275(2). <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133149>
- Halsch, C., Shapiro, A., Fordyce, J., Nice, C., Thorne, J., Waetjen, D., & Forister, M. (2021). Insects and recent climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(2). doi: 10.1073/pnas.2002543117
- Hameed, H., Ahmad, M., Paiva, A., Ereej, N., & Faheem, S. (2024). Chitin: a versatile biopolymer-based functional therapy for cartilage regeneration. *International Journal of Biological Macromolecules*, 265(2). <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131120>
- Hannigan, S., Nendel, C., & Krull, M. (2023). Effect of temperature on the movement and feeding behavior of the large lupine beetle, *Sitona gressorius*. *Journal of Pest Science*, 96, 389-402. [doi.org/10.1007/s10340-022-01510-7](https://doi.org/10.1007/s10340-022-01510-7)
- Herrera, L., Romero, A., Gómez, G., Navarrete, M., & Hidalgo, D. (2024). Control de garrapatas mediante *Beauveria bassiana* cepa INIAP L3B3 en combinación con moléculas orgánicas y químicas. *Emergentes Revista Multidisciplinaria*, 4(2). <https://doi.org/10.60112/erc.v4i2.166>
- Hossain, K., & Joshi, N. (2025). Impacts of using biopesticides on tomato yield and self-consumption: evidence from saline-prone areas in Bangladesh. *Environmental and Sustainability Indicators*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100756>

- Imoulan, A., Hussain, M., Kirk, P., El Meziane, A., & Yao, Y. (2017). Entomopathogenic fungus *Beauveria*: host specificity, ecology and significance of morpho-molecular characterization in accurate taxonomic classification. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 20(4), 1204-1212. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aspen.2017.08.015>
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). (2014). VI Censo Nacional Agropecuario, Costa Rica.
- Jaibumrung, K., Nilsalab, P., Gheewala, S., & Musikavong, C. (2023). Ecological footprint, water scarcity footprint, and benefit to cost ratio analysis towards sustainable rice production in Thailand. *Sustainable Production and Consumption*, 39, 79-92. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.04.019>
- Jiménez, C., & Cecilia, J. (2020). Chitosan: a natural biopolymer with a wide and varied range of applications. *Molecules*, 25(17). <https://doi.org/10.3390/molecules25173981>
- Kamil, M. (2012). Biological investigations on some species of *Anagrus* (Hymenoptera, Mymaridae), egg parasitoids of leafhoppers (Hemiptera). *APCBEE Procedia*, 4, 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2012.11.001>
- Krismawati, A., Yustisia, Y., Arifin, Z., Purbiati, T., Rachmawati, D., Latifah, E., Putra, N., Irianto, I., & Qomariyah, L. (2024). A bibliometric analysis of biopesticide in corn pest management: current trends and future prospects. *Heliyon*, 10(22). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40196>
- Lee, K., McDermott, S., Fernandez, L. (2024). Using economics to inform and evaluate biological control programs: opportunities, challenges, and recommendations for future research. *BioControl*, 69, 237–252. [doi.org/10.1007/s10526-024-10244-7](https://doi.org/10.1007/s10526-024-10244-7)
- Li, D., Jiang, K., Wang, X., & Liu, D. (2024). Insecticide activity under changing environmental conditions: a meta-analysis. *Journal of Pest Science*, 97, 1711-1723. <https://doi.org/10.1007/s10340-024-01766-1>
- Liu, L., & Basso, B. (2020). Impacts of climate variability and adaptation strategies on crop yields and soil organic carbon in the US Midwest. *PLOS ONE*, 15(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225433>
- Liu, Y., Yang, Y., & Wang, B. (2022). Entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* play roles of maize (*Zea mays*) growth promoter. *Scientific Reports*, 12. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19899-7>

- Loría, D. (2018). Estudio de prefactibilidad para la exportación papaya híbrida Pococí al mercado canadiense, producida en tanque de San Carlos, Alajuela, Costa Rica. *E-Agronegocios*, 2(1). <https://doi.org/10.18845/rea.v2i1.3658>
- Malinga, L., & Laing, M. (2023). Cost analysis of biopesticides and chemical insecticides: implications for cotton farmers in South Africa. *Entomology and Applied Science Letters*, 10(4), 44-55. <https://doi.org/10.51847/YA2wqC4r3i>
- Marshall, A., Melton, T., Bishop, G., Clarke, A., Reyes, C., Catron, K., Nottingham, L., & Northfield, T. (2024). Cultural control methods improve management of leafhopper vector of X-disease. *Crop Protection*, 175. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106445>
- Matiacevich, S., Soto, D., & Gutiérrez, M. (2023). Economía circular: obtención y encapsulación de compuestos polifenólicos provenientes de residuos agroindustriales. *Revista Iberoamericana de Viticultura, Agroindustria y Ruralidad*, 10(28), 77-100. <http://dx.doi.org/10.35588/rivar.v10i28.5343>
- Mohammadinejad, R., Kumar, A., Ranjbar-Mohammadi, M., Ashrafizadeh, M., Han, S., Khang, G., & Roveimiab, Z. (2020). Recent advances in natural gum-based biomaterials for tissue engineering and regenerative medicine: a review. *Polymers*, 12(1), 176. <https://doi.org/10.3390/polym12010176>
- Mousavi, S., Shirazi, H., Ranta, R., Asghar, M., Kasurinen, S., Halme, J., & Vapaavouri, J. (2024). Addressing the efficiency loss and degradation of triple cation perovskite solar cells via integrated light managing encapsulation. *Materials Today Energy*, 46. <https://doi.org/10.1016/j.mtener.2024.101707>
- Narváez, A., Vásquez, H., Zapata, P., & Caicedo, A. (2022). Evaluación de hongos entomopatógenos y antagonistas para el manejo de *Eurhizococcus colombianus* en el Valle del Cauca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 113-124. <https://doi.org/10.22490/21456453.5398>
- O'Neal, K. (29-abril-2019). Papaya Pococí: un fruto perfecto de la innovación científica UCR-INTA. *UCR Presente*. <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2019/04/29/papaya-pococi-un-fruto-perfecto-de-la-innovacion-cientifica-ucr-inta.html>
- Ortiz, N., Ochoa, L., González, S., Rutiaga, O., & Gallegos, J. (2021). Avances en las investigaciones sobre la encapsulación mediante gelación iónica: una revisión sistemática. *Tecnológicas*, 24(52). <https://doi.org/10.22430/22565337.1962>

- Paulraj, M., Ignacimuthu, S., Gandhi, M., Shajahan, A., Ganesan, P., Packiam, S., & Al-Dhabi, N. (2017). Comparative studies of tripolyphosphate and glutaraldehyde cross-linked chitosan-botanical pesticide nanoparticles and their agricultural applications. *International Journal of Biologically Macromolecules*, *104*, 1813-1819. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.06.043>
- Peraza, Walter. (2021). Identificación morfológica y molecular de *Meloidogyne javanica* en una plantación de papaya (*Carica papaya* L.) en Pococí, Limón, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, *45*(2), 41-55. <https://dx.doi.org/10.15517/rac.v45i2.47766>
- Pereira, M., Bernardes, R., Negrini, L., Catania, R., & Mazzeo, G. (2024). Non-target effects of biopesticides on stingless bees (Apidae, Meliponini): recent trend an insight. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, *42*. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2024.100580>
- Pérez, K., Loera, G., Granados, C., & Loera, E. (2021). Effectiveness of biorational insecticides against *Empoasca papayae* Oman leafhopper in *Carica papaya* L. *Southwestern Entomologist*, *46*(4), 843-852. <https://doi.org/10.3958/059.046.0405>
- Pérez, P., Amador, J., & Alfaro, E. (2017). Dos propuestas de clasificación climática para la vertiente Caribe costarricense según el sistema Thornthwaite. *Revista de Climatología*, *17*, 1-16.
- Pokovai, K., Piepho, H., Hartung, J., Árendás, T., Bónis, P., Sugár, E., Hollós, R., & Fodor, N. (2025). Climate change-related lessons learned from a long-term field experiment with maize. *Agronomy for Sustainable Development*, *45*(19). <https://doi.org/10.1007/s13593-025-01013-6>
- Prazaru, S., D'Ambrogio, L., Dal Cero, M., Rasera, M., Cenedese, G., Guerrieri, E., Pavasini, M., Mori, N., Pavan, F., & Duso, C. (2023). Efficacy of conventional and organic insecticides against *Scaphoideus titanus*: field and semi-field trails. *Insects*, *14*(2). <https://doi.org/10.3390/insects14020101>
- PROCOMER (Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica). (1-marzo-2024). Papaya costarricense protagoniza segmento de popular programa infantil “Plaza Sésamo”. *PROCOMER*. <https://www.procomer.com/noticia/papaya-costarricense-protagoniza-segmento-de-popular-programa-infantil-plaza-sesamo/>
- Qasim, M., Su, J., Noman, A., Ma, T., Islam, W., Hussain, D., Rizwan, M., Hameed, M., Khan, K., Ghram, H., Wang, L., & Han, X. (2024). Citrus psyllid management by collective involvement of plant resistance, natural enemies and entomopathogenic fungi. *Microbial Pathogenesis*, *197*. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2024.107047>

- Rajkumar, V., Gunasekaran, C., Paul, C., & Dharmaraj, J. (2020). Development of encapsulated peppermint essential oil in chitosan nanoparticles: characterization and biological efficacy against stored-grain pest control. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104679>
- Rodríguez, A., Bautista, S., Ramírez, M., Plascencia, M. & Hernández, L. (2021). Quitosano y sus derivados, polímeros naturales con potencial para controlar a *Pyricularia oryzae* (Cav.). *Cultivos Tropicales*, 42(4). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S025859362021000400015&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025859362021000400015&lng=es&tlng=es)
- Rout, S., Kenguva, G., Mansuri, S., Manu, K., Dandela, R., & Pramanik, N. (2024). Bottlebrush polymers via ring-opening metathesis polymerization (ROMP): synthesis, properties and applications. *European Polymer Journal*, 221. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2024.113546>
- Sahana, T., & Rekha, P. (2018). Biopolymers: applications in wound healing and skin tissue engineering. *Molecular Biology Reports*, 45(6), 2857–2867. <https://doi.org/10.1007/s11033-018-4296-3>
- Sáenz, F., & Amador, J. (2016). Características del ciclo diario de precipitación en el Caribe de Costa Rica. *Revista de Climatología*, 16.
- SFE (Servicio Fitosanitario del Estado). (2024). Sistema de Insumos y Fiscalización. Servicio Fitosanitario del Estado de Costa Rica. <https://app.sfe.go.cr/SFEInsumos/aspx/Seguridad/Home.aspx>
- Soni, S., Jaiswal, N., & Nayak, S. (2024). An economic analysis of pattern of investment for biopesticides production unit establishment in Chhattisgarh. *International Journal of Research Agronomy*, 7(6), 9-16. <https://doi.org/10.33545/2618060X.2024.v7.i6Sa.802>
- Thumar, R., Hadiya, G., & Chauhan, R. (2024). Rainfastness, an effective approach for insect pest management: a review. *International Journal of Advanced Biochemistry Research*, 8(1), 342-344. <https://doi.org/10.33545/26174693.2024.v8.i1e.375>
- Tyagi, A., Lama Tamang, T., Kashtoh, H., Mir, RA, Mir, ZA, Manzoor, S., Manzar, N., Gani, G., Vishwakarma, SK, Almalki, MA y Ali, S. (2024). Una revisión sobre agentes de biocontrol como enfoque sostenible para el manejo de enfermedades en cultivos: Aplicaciones,

- producción y perspectivas futuras. *Horticulturae*, 10(8), 805. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10080805>
- Ugalde, K., Alfaro, J., Hidalgo, J., & Maldonado, T. (2024). Caracterización climática de la precipitación en el Pacífico Norte de Costa Rica mediante análogos construidos. *Revista Tecnología en Marcha*, 37(4). <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v37i4.6842>
- Ullah, Q., Haider, W., Waqar, M., Athiqah, N., Maysaroh, U., Sajjad, N., Khomphet, T., & Ageru, T. (2025). Innovative biotechnological approaches in agriculture: from biopesticides against insect pest to flavor enhancement in crops. *Journal of Agriculture and Food Research*, 24. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102369>
- Umina, P., McGrane, L., Thia, J., Chirgwin, E., & Hoffmann, A. (2023). From laboratory to field: laboratory-measured pesticide resistance reflects outcomes of field-based control in the redlegged earth mite, *Halotydeus destructor*. *Experimental and Applied Acarology*, 89, 379-392. <https://doi.org/10.1007/s10493-023-00787-2>
- Universidad Nacional Agraria de Nicaragua (2021). *Producción y uso de hongos entomopatógenos*. Fundación para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario y Forestal de Nicaragua. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/10698>
- Urtasun, M., Giamminola, E., Baskin, C., de Viana, M., Morandini, M., Lamas, C., & Rojas, M. (2020). Dormancy release, germination and *ex situ* conservation of the southern highland papaya (*Vasconcellea quercifolia*, Caricaceae), a wild crop relative. *Scientia Horticulture*, 263. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109134>
- Valencia, K., Ávila, D., & Hernández, T. (2017). Estudio del mercado de papaya mexicana: un análisis de su competitividad (2001-2015). *Suma de Negocios*, 8(18), 131-139. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sumneg.2017.10.002>
- Van Dijk, L., Fischer, B., Miraldo, A., Goodsell, R., Iwazskiewicz, E., Raharinjanahary, D., Tsiriniaina, E., Lukasik, P., Andersson, A., Ronquist, F., Roslin, T., & Tack, A. (2025). Temperature and water availability drive insect seasonality across a temperate and a tropical region. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 291. doi: 10.1098/rspb.2024.0090

- Vargas, J., Uribe, L., Romero, R., & Leiva, J. (2025). Calidad del suelo en la región Huetar Atlántica de Costa Rica: una comparación entre dos condiciones de producción de banano y un bosque secundario. *Agronomía Costarricense*, 49(1). <https://doi.org/10.15517/9wx1ph53>
- Vinchira, D., & Moreno, N. (2019). Control biológico: camino a la agricultura moderna. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 21(1), 2-5. <http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v21n1.80860>
- Wise, J., Hulbert, D., & Vandervoort, C. (2016). Rainfall influences performance of insecticides on the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in apples. *The Canadian Entomologist*, 149(1), 118-128. <https://doi.org/10.4039/tce.2016.40>
- Wend, K., Zorrilla, L., Freimoser, F., & Gallet, A. (2024). Microbial pesticides-challenges and future perspectives for testing and safety assessment with respect to human health. *Environ Health*, 23(49). <https://doi.org/10.1186/s12940-024-01090-2>
- Xuegui, Y. (2018). Review of leafhopper (*Empoasca flavescens*): a major pest in castor (*Ricinus communis*). *Genetics & Genomic Sciences*, 3(1), 1–7. <https://doi.org/10.24966/GGS-2485/100009>
- Yang, X., Silva, V., & Tang, D. (2025). Pesticide transport under runoff-erosion potentially dominated by small sediments: a glyphosate and AMPA experiment. *Journal of Hydrology*, 661. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.133633>
- Yasin, M., Wakil, W., Kavallieratos, N., Eleftheriadou, N., Naeem, A., Qayyum, N., Asrar, M., Alhewairini, S., & Shapiro, D. (2025). Dual-strategy approach for *Rhynchosporus ferrugineus* control: endophytic *Beauveria bassiana* and *Bacillus thuringiensis* topical application. *Crop Protection*, 187. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106954>
- Zeng, Y., Hu, H., Chen, W., Hu, D., Xia, H., Ma, C., & Qiao, X. (2024). Changes in volatile compounds in withering tea leaves after infestation with tea green leafhopper (*Empoasca onukii* Matsuda). *European Journal of Agronomy*, 156. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127163>
- Zhang, W., Chen, X., Eleftherianos, I., Mohamed, A., Bastin, A., & Keyhani, N. (2024). Cross-talk between immunity and behavior: insights from entomopathogenic fungi and their insect hosts. *FEMS Microbiology Reviews*, 48(1), 3. <https://doi.org/10.1093/FEMSRE/FUAE003>
- Zhang, Y., Leng, K., Wang, X., Zhang, Z., Su, D., Zhao, L., Liu, X., Yu, Y., Miao, J., & Yu, Y. (2024). Gelatin-crosslinked millard reaction products of sodium caseinate/maltodextrin

enhances the encapsulation efficiency and stability of krill oil microcapsules. *Food and Bioproducts Processing*, 148. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2024.10.001>