

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, NATURALES Y
AMBIENTALES

CARRERA DE MICROBIOLOGÍA

***Beauveria bassiana*: Estrategias de control biológico para la
mosca blanca *Bemisia tabaci* y *Trialeurodes vaporariorum* en
cultivos de invernadero**

**Monografía previa a la obtención del título de Licenciada en
Microbiología**

Meruin Reginalda Balbuena Rene

Quito, 2026

I. CERTIFICADO

Certifico que la Monografía de la carrera de Microbiología de la Srta Meruin Balbuena, ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.



Firma del tutor de la monografía

Mtr. JENIFFER MARCELA YANEZ ALTUNA

Quito, 9 de enero de 2026

II. TABLA DE CONTENIDOS

I.	CERTIFICADO	2
II.	TABLA DE CONTENIDOS.....	3
III.	LISTA DE FIGURAS.....	5
IV.	LISTA DE TABLAS.....	6
1.	RESUMEN	7
2.	ABSTRACT	8
3.	INTRODUCCIÓN	9
4.	OBJETIVOS	13
5.	MARCO TEÓRICO	14
1.	AGRICULTURA MODERNA Y EL RETO DE LOS CULTIVOS BAJO INVERNADERO.....	14
1.1.	Evolución hacia la agricultura intensiva y protegida.....	14
1.2.	Manejo de cultivos en invernadero: Especies cultivadas y prácticas de manejo.....	16
2.	PLAGAS COMUNES EN INVERNADEROS	18
2.1.	Plagas de importancia económica en invernaderos.....	18
2.2.	Las moscas blancas, generalidades y clasificación	19
3.	ESTRATEGIAS DE CONTROL BIOLÓGICO PARA PLAGAS EN INVERNADEROS	23
3.1.	Métodos tradicionales de control y sus limitaciones	23
3.2.	Prácticas culturales complementarias en invernaderos	23
3.3.	El control biológico como pilar del Manejo Integrado de Plagas (MIP) en los invernaderos	24
4.	Beauveria bassiana EN EL CONTROL DE LA MOSCA BLANCA.....	26
4.1.	Taxonomía y características generales del género Beauveria	26
4.2.	Caracterización morfológica, citológica y molecular.....	27
4.3.	Mecanismos de acción patogénica	28
4.4.	Factores bióticos y abióticos que influyen en su efectividad	29
5.	PRODUCCIÓN, FORMULACIÓN Y APLICACIÓN DE Beauveria bassiana	31
5.1.	Métodos de producción masiva: Técnicas de fermentación.....	31
5.2.	Formulaciones comerciales y criterios de calidad (Viabilidad y Patogenicidad)	32
5.3.	Evaluación de la eficacia contra diferentes estadios de la mosca blanca	34
5.4.	Resultados de eficacia en condiciones de invernadero	34
6.	INTEGRACIÓN DE Beauveria bassiana EN PROGRAMAS DE MIP Y SOSTENIBILIDAD	37
6.1.	Interacción con otros agentes de control biológico	37
6.2.	Efectos sinérgicos y antagónicos en estrategias combinadas	38

6.3. Estrategias para optimizar la aplicación: Momento y Método	39
6.4. Beauveria bassiana como alternativa sostenible	39
6.5. Viabilidad económica: Análisis costo-beneficio para su aplicación comercial	41
6. CONCLUSIONES	43
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

III. LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Moscas blancas en invernaderos	18
Figura 2 Ciclo de vida <i>Bemisia tabaci</i>	20
Figura 3 Estadios ninfales de la mosca blanca de los invernaderos, <i>Trialeurodes vaporariorum</i> : (A) huevo, (B) primer estadio ninfal, (C) segundo estadio ninfal, (D) tercer estadio ninfal, (E) cuarto estadio ninfal o pupa, y (F) adulto.	21
Figura 4 Síntomas de la mosca blanca de los invernaderos a campo abierto, <i>Trialeurodes vaporariorum</i> . (A) adultos en hojas de judías, (B) crecimiento de hongos en la melaza de las hojas y (C) vainas de judías, (D) campo de patatas muy afectado por el virus de la vena amarilla de la patata, (E) amarilleamiento de las venas con espacios interveinales verdes y (F) reducciones del rendimiento de hasta el 50%.	22
Figura 5 Amplia gama de artrópodos infectados por <i>Beauveria bassiana</i> a. Ninfa de mosca blanca <i>Bemisia tabaci</i> biotipo B (Crédito: Gabriel M. Mascarín); b. Picudo del plátano <i>Metamasius hemipterus</i> (Crédito: Rogério B. Lopes); c. Broca del café <i>Hyphotenemus hampei</i> (Crédito: Gabriel M. Mascarín); d. Mosca de la fruta <i>Anastrepha</i> sp..	27
Figura 6 Fotografías macroscópicas y microscópicas de cepas de <i>B. bassiana</i> . Fotografías de colonias en medio PDA (Barra = 1 cm). Microfotografías teñidas con algodón azul de lactofenol. La flecha indica la disposición en zigzag de la célula conidiógena (8µm).	28
Figura 7 Mecanismo de acción de <i>Beauveria bassiana</i> según Botanigard®.	29
Figura 8 Resumen gráfico de FML para la formulación de hongos entomopatógenos.	32
Figura 9 Tasa de micosis de ninfas de <i>Bemisia tabaci</i> y <i>Trialeurodes vaporariorum</i> tras la exposición a las cepas fúngicas ARP14 y GHA a lo largo del tiempo.	35

IV. LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Especies cultivadas y sus requerimientos

16

1. RESUMEN

El control de la mosca blanca (*Bemisia tabaci* y *Trialeurodes vaporariorum*) en cultivos bajo condiciones de invernadero constituye un problema fitosanitario de gran relevancia debido a su alta capacidad reproductiva, su papel como vector de enfermedades virales y el desarrollo de resistencia a insecticidas químicos, lo que ha incrementado los costos de producción y los riesgos ambientales. Las condiciones propias de los sistemas de producción protegida favorecen la rápida proliferación de esta plaga, intensificando su impacto sobre el rendimiento y la calidad de los cultivos. Ante esta problemática, el control biológico se presenta como una alternativa dentro del Manejo Integrado de Plagas, destacándose el uso de *Beauveria bassiana* como hongo entomopatógeno por su capacidad de infectar diferentes estadios del insecto y actuar mediante la penetración de la cutícula y colonización interna del hospedero. En este trabajo se analizan aspectos relacionados con la mosca blanca como plaga de importancia agrícola, así como la taxonomía, caracterización, mecanismos de acción, producción, formulación y factores ambientales que influyen en la efectividad de *B. bassiana* en invernaderos. Además, se examinan investigaciones sobre su aplicación y su compatibilidad con otros métodos de manejo biológico. El análisis de estos elementos permite comprender el papel que desempeña *B. bassiana* dentro de los programas de manejo fitosanitario en sistemas de producción protegida.

Palabras clave: *Beauveria bassiana*, control biológico, invernaderos, manejo integrado de plagas (MIP), mosca blanca

2. ABSTRACT

The control of whiteflies (*Bemisia tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum*) in greenhouse crops represents a highly relevant phytosanitary problem due to their high reproductive capacity, their role as vectors of viral diseases, and the development of resistance to chemical insecticides, which has increased production costs and environmental risks. The specific conditions of protected production systems favor the rapid proliferation of this pest, intensifying its impact on crop yield and quality. In response to this problem, biological control is presented as an alternative within Integrated Pest Management, highlighting the use of *Beauveria bassiana* as an entomopathogenic fungus due to its ability to infect different insect stages through cuticle penetration and internal colonization of the host. This work analyzes aspects related to whiteflies as pests of agricultural importance, as well as the taxonomy, characterization, mechanisms of action, production, formulation, and environmental factors that influence the effectiveness of *B. bassiana* under greenhouse conditions. In addition, studies on its application and compatibility with other biological management methods are examined. The analysis of these elements allows an understanding of the role played by *B. bassiana* within plant health management programs in protected production systems.

Keywords: *Beauveria bassiana*, biological control, greenhouses, integrated pest management (IPM), whiteflies.

3. INTRODUCCIÓN

La agricultura moderna se encuentra en un proceso de transformación constante como respuesta a los crecientes desafíos que enfrenta a escala global, entre los que se destacan la limitación progresiva de los recursos naturales, la reducción de la superficie cultivable, el impacto del cambio climático y el aumento sostenido de la demanda mundial de alimentos. A este panorama se suma la presión que ejercen las plagas agrícolas sobre los sistemas de producción, las cuales constituyen uno de los factores más determinantes de pérdidas económicas, reducción de rendimientos y deterioro de la calidad de los productos agrícolas. Entre las plagas de mayor importancia económica a nivel mundial se encuentran las moscas blancas, particularmente las especies *Bemisia tabaci* y *Trialeurodes vaporariorum*, consideradas altamente destructivas por su elevada tasa reproductiva, su capacidad para transmitir virus fitopatógenos y su facilidad para desarrollar resistencia a diversos insecticidas. Estas especies afectan principalmente cultivos hortícolas y ornamentales, tanto en campo abierto como en sistemas protegidos, generando impactos severos sobre la producción y la rentabilidad agrícola (Malumphy et al., 2017).

En las últimas décadas, la agricultura ha adoptado tecnologías de producción intensiva como los invernaderos, los cuales permiten crear un ambiente controlado en el que se regulan variables como temperatura, humedad, radiación solar, ventilación y nutrición vegetal. Este tipo de estructuras ofrece ventajas significativas, ya que posibilita la producción durante todo el año, optimiza el uso del agua y los fertilizantes, mejora la calidad de los cultivos y aumenta la estabilidad del rendimiento. No obstante, estas mismas condiciones favorables para el desarrollo de las plantas también resultan altamente propicias para la proliferación acelerada de insectos plaga, como la mosca blanca, debido a la ausencia de factores climáticos restrictivos y a la disponibilidad

continúa de hospedantes. En consecuencia, una infestación de *B. tabaci* o *T. vaporariorum* dentro de un invernadero puede desarrollarse rápidamente y ocasionar pérdidas económicas significativas en períodos cortos de tiempo (Zonagreen, 2023; Raymond, 2022; Abubakar et al., 2022).

Históricamente, el control de la mosca blanca en cultivos protegidos se ha basado principalmente en el uso intensivo de insecticidas químicos de síntesis. Si bien estos productos han mostrado una efectividad inmediata en la reducción de las poblaciones de la plaga, su uso repetido ha generado consecuencias negativas de gran importancia. Entre ellas se destacan el desarrollo acelerado de resistencia en *B. tabaci*, la eliminación de enemigos naturales, la alteración de la microbiota benéfica del suelo, la contaminación ambiental y la presencia de residuos tóxicos en los productos agrícolas, con implicaciones directas para la salud humana y la inocuidad alimentaria. Estos efectos adversos han sido ampliamente documentados y evidencian que el control químico, cuando se utiliza como estrategia única, resulta insostenible a mediano y largo plazo (Lacey et al., 2015; Murillo-Cuevas et al., 2019).

Ante este escenario, el Manejo Integrado de Plagas (MIP) surge como un enfoque indispensable para lograr sistemas agrícolas más sostenibles, al combinar de manera armónica prácticas culturales, métodos físicos, control biológico y un uso racional de productos químicos. Dentro de este enfoque, el control biológico ha adquirido una importancia creciente por su capacidad de reducir las poblaciones de plagas sin generar los efectos negativos asociados a los insecticidas sintéticos. En este contexto, los hongos entomopatógenos se destacan como una de las herramientas más prometedoras, siendo *Beauveria bassiana* uno de los agentes biológicos más estudiados y utilizados a nivel mundial.

Beauveria bassiana es un hongo filamentoso que actúa como patógeno de numerosos insectos, infectándolos por contacto directo a través de la cutícula. Una vez adheridas las esporas, estas germinan, penetran los tejidos del insecto y colonizan su

interior, provocando la muerte del hospedero mediante la acción conjunta de daño mecánico, consumo de nutrientes y la producción de enzimas y metabolitos secundarios con efectos insecticidas. Entre estos metabolitos se incluyen proteasas, quitinasas, lipasas y toxinas que desempeñan un papel fundamental en la patogenicidad del hongo (Amobonye et al., 2020).

Diversos estudios realizados en la última década han demostrado la eficacia de *B. bassiana* contra *Bemisia tabaci* y *Trialeurodes vaporariorum* en condiciones de invernadero. Por ejemplo, investigaciones desarrolladas en cultivos de tomate bajo ambiente protegido han evidenciado reducciones significativas de ninfas y adultos de mosca blanca mediante aplicaciones periódicas de formulaciones comerciales basadas en este hongo (Araúz, 2020). De igual forma, estudios realizados en Ecuador han reportado que concentraciones de 1×10^7 a 1×10^8 conidias/mL pueden generar mortalidades superiores al 80 % en distintos estadios de *B. tabaci* en condiciones controladas de invernadero (Gualsaqui, 2022).

Además de su acción directa sobre la plaga, investigaciones recientes han demostrado que ciertas cepas de *Beauveria bassiana* pueden establecerse como endófitos en los tejidos de las plantas, induciendo respuestas de defensa y alterando la biología del insecto, lo cual se traduce en una disminución de la fecundidad y de la capacidad de daño de la mosca blanca. Este doble efecto, directo e indirecto, incrementa el valor estratégico de este hongo dentro de los esquemas de manejo integrado en sistemas protegidos.

El uso de *B. bassiana* ofrece, además, importantes ventajas desde el punto de vista ambiental y sanitario, ya que no deja residuos tóxicos en los productos agrícolas, no afecta significativamente a los organismos benéficos cuando se aplica de forma adecuada y presenta un bajo riesgo para los seres humanos. Estas características lo convierten en una herramienta clave para la agricultura sostenible, especialmente en

invernaderos destinados a mercados que exigen altos estándares de inocuidad y producción ecológica (Vázquez et al., 2019).

No obstante, la eficacia de *Beauveria bassiana* depende de múltiples factores, entre ellos la cepa empleada, la formulación, la dosis, la frecuencia de aplicación y las condiciones ambientales del invernadero, especialmente la humedad relativa y la temperatura. Asimismo, su integración exitosa dentro del MIP requiere un monitoreo constante de las poblaciones de mosca blanca, la aplicación oportuna del tratamiento y la combinación con otras estrategias de manejo como el saneamiento, la rotación de cultivos, el uso de mallas anti-insectos y la conservación de enemigos naturales.

Por tanto, el presente documento de revisión bibliográfica pretende demostrar la capacidad de *B. bassiana* para actuar como una estrategia de control biológico para la mosca blanca en cultivos de invernadero, siendo esta una solución prometedora y sostenible.

4. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Investigar la efectividad de *Beauveria bassiana* como estrategia de control biológico de la mosca blanca en cultivos de invernaderos, tomando en cuenta su patogenicidad, mecanismos de acción y su impacto en la sostenibilidad agrícola.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Describir la taxonomía, caracterización morfológica y molecular, y formas de producción de *Beauveria bassiana*.

Revisar el potencial biotecnológico del hongo *Beauveria bassiana* como una alternativa sostenible en el control de la mosca blanca en los invernaderos.

Analizar la interacción de *Beauveria bassiana* con otros agentes de control biológico y el efecto sinérgico en el manejo de la mosca blanca, a fin de optimizar las estrategias del control integrado de plagas.

5. MARCO TEÓRICO

1. AGRICULTURA MODERNA Y EL RETO DE LOS CULTIVOS BAJO INVERNADERO

1.1. Evolución hacia la agricultura intensiva y protegida

La agricultura a nivel global ha pasado por una transformación significativa, impulsada por la necesidad de alimentar a una población en constante crecimiento, misma que se espera que llegue a 9,700 millones de personas para el año 2050 (Reyes, 2025). Esta presión demográfica, junto a la escasez de recursos como tierra y agua, sumado a los efectos del cambio climático, ha acelerado el cambio de los sistemas agrícolas tradicionales hacia modelos más intensivos. La agricultura intensiva que ha evolucionado considerablemente desde la Revolución Verde de los años 60 y 70 se enfoca en obtener mayor cantidad de producción en el menor espacio posible, utilizando de manera eficiente insumos como fertilizantes, pesticidas y maquinarias avanzadas (Communications, 2024; Palomino y Ccoa, 2022).

Sin embargo, aunque este enfoque satisface la demanda del mercado, el modelo intensivo tradicional enfrenta serios problemas ambientales. Entre estos destacan la deforestación (responsable del 80% de la pérdida de bosques a nivel mundial), degradación de suelos por agotamiento y erosión, y la aparición de plagas y malezas debido al uso excesivo de agroquímicos (Cherlinka, 2025; Palomino y Ccoa, 2022). Ante estos retos, ha surgido el desarrollo de la agricultura protegida, siendo los invernaderos su máximo exponente.

La agricultura sostenible se presenta como una solución tanto tecnológica como conceptual, para maximizar la producción por unidad de superficie, optimizar el uso de insumos y tener mayor control sobre factores ambientales (Orsini et al., 2020). Este avance presenta un cambio de paradigma, pues se pasa de un modelo que depende de

las condiciones climáticas a uno de agricultura de ambiente controlado (CEA por sus siglas en inglés), donde se manipulan variables como la temperatura, humedad y concentración de CO₂ favoreciendo el crecimiento de cultivos, lo que se traduce en una mayor seguridad alimentaria (Benke y Tomkins, 2017).

El desarrollo de los invernaderos ha estado marcado por la incorporación de materiales de cubierta más eficientes, sistemas de climatización automatizados, fertirrigación de presión y el uso de energías renovables. En la última década, la intensificación tecnológica ha sido impulsada debido a la integración de herramientas digitales como sensores, sistemas de monitoreo de tiempo real automatización y el Internet de las Cosas (IoT), permitiendo un control preciso del ambiente interior. Además, la biotecnología y la edición genética han facilitado el desarrollo de variedades vegetales resistentes a plagas rindiendo aún más bajo condiciones de estrés abiótico (Gamage et al., 2024; Gómez et al., 2019).

Producto de esto, los agricultores han comenzado a adoptar técnicas más sostenibles y eficientes. De las que destacan el uso de productos de origen biológico, como biopesticidas y biofertilizantes, que respaldan estrategias de Manejo Integrado de Plagas (MIP) y ayudan a reducir la dependencia de agroquímicos (Chimi et al., 2025). Esta transición hacia sistemas de producción más controlados y eficientes posiciona a los invernaderos como una de las soluciones más prometedoras para enfrentar los desafíos actuales.

Entre las ventajas más destacadas del uso de invernaderos está el control preciso de factores como la temperatura, la humedad, la luz y la concentración de CO₂. Este manejo de microclima permite al agricultor obtener una producción constante y de alta calidad durante todo el año, incluso en regiones donde las condiciones extremas son desfavorables. Sistemas avanzados de riego, como el goteo y la hidroponía, junto con la fertirrigación de precisión, pueden reducir el consumo de agua en hasta un 50% en comparación a los cultivos tradicionales (Farvardin et al., 2024; Jiménez, 2025; Bastida, 2017). Estas condiciones controladas no solo protegen la calidad del producto,

sino que también fomentan rendimientos más altos y uniformes minorando pérdidas postcosecha.

Irónicamente este ambiente controlado presenta una paradoja pues las condiciones de temperatura constante y la alta humedad, junto con la falta de diversidad biológica y los ciclos de cultivos interrumpidos, crean un entorno perfecto para que las plagas y enfermedades se desarrollen eventualmente. Insectos como las moscas blancas (*Bemisia tabaci* y *Trialeurodes vaporariorum*), áfidos y ácaros, así como enfermedades fúngicas, bacterianas y virales (Bielza et al., 2020), encuentran en el invernadero un lugar ideal para proliferar.

Frente a este reto fitosanitario, el uso repetido de plaguicidas químicos se hace presente como una solución a corto plazo, pero con el riesgo de que las plagas desarrollen resistencia, volviéndose cada vez menos efectivas. Esta situación hace que sea crucial y emergente adoptar estrategias de MIP (Zhou et al., 2024). Curiosamente, la barrera física del invernadero se convierte en una ventaja operativa para facilitar la implementación de controles biológicos. Al disminuir la migración de plagas desde el exterior, se optimizan prácticas como la liberación de enemigos naturales y la aplicación de bioplaguicidas, haciendo del MIP una estrategia efectiva y sostenible.

1.2. Manejo de cultivos en invernadero: Especies cultivadas y prácticas de manejo

El manejo agronómico en los invernaderos implementa prácticas culturales y tecnológicas avanzadas, pensadas para maximizar tanto el rendimiento como la calidad de los cultivos en un microclima controlado. Esto permite una producción muy eficiente, enfocándose principalmente en hortalizas de alto valor e incluye también flores, fresas y plantas aromáticas (

):

Tabla 1. Especies cultivadas y sus requerimientos (Aguilar-Rodríguez et al., 2020; Monge-Pérez y Loría-Coto, 2023)

Espece	Familia botánica	Principales amenazas sanitarias
Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)	Solanácea	Mosca blanca, tuta, botritis, oídio
Pimiento (<i>Capsicum</i> spp.)	Solanácea	Trips, áfidos, oídio
Pepino (<i>Cucumis sativus</i>)	Cucurbitácea	Oídio, ácaros, mosca blanca
Fresa (<i>Fragaria</i> × <i>ananassa</i>)	Rosácea	Araña roja, oídio, pudrición radicular
Hortalizas de hoja (Lechuga, espinaca)	Asteráceas	Enfermedades fúngicas (mildiu)

La productividad de estos cultivos se basa en un conjunto integral de prácticas que optimizan los recursos y aseguran la salud de las plantas, estas incluyen:

- **Control ambiental automatizado:** Garantiza que las condiciones se mantengan dentro de los rangos óptimos para el crecimiento de la planta.
- **Riego y fertirrigación de precisión:** Suministra agua y nutrientes de manera predominante a través del riego por goteo o hidroponía, permitiendo una nutrición eficiente minimizando el desperdicio de insumos. La estrategia de sanidad vegetal se centra en el control ecológico a fin de disminuir la dependencia de plaguicidas químicos. Estos son:
 - **Control biológico:** Introducción y conservación de enemigos naturales (insectos benéficos) y aplicación de bioplaguicidas.
 - **Prácticas culturales:** Poda de hojas y frutos, raleo y eliminación de restos vegetales y biofumigación para el manejo de patógenos del suelo.
 - **Manejo de humedad:** Ventilación adecuada para evitar la alta humedad en el follaje, pues este favorece al crecimiento de enfermedades fúngicas (Abraham et al., 2021).

2. PLAGAS COMUNES EN INVERNADEROS

2.1. Plagas de importancia económica en invernaderos

Los sistemas de cultivo en invernadero, con su microclima estable y alta densidad de plantas, crean un entorno muy favorable para el desarrollo de plagas de importancia económica. Entre ellas se encuentran los áfidos, trips, minadores de hojas, ácaros y, sobre todo, moscas blancas (*Bemisia tabaci* y *Trialeurodes vaporariorum*) (Figura 1). Además de causar daños directos al alimentarse de la savia, estos insectos actúan como vectores de virus y promueven la aparición de fumagina, lo que disminuye el rendimiento y la calidad comercial de los cultivos, generando pérdidas que pueden superar el 50 % (Sani et al., 2020).

El control de estas plagas constituye un problema fitosanitario complejo. El manejo químico convencional se ha visto limitado por el rápido desarrollo de resistencia a los insecticidas, la acumulación de residuos en ambientes cerrados y las restricciones regulatorias. Esta situación incrementa exponencialmente los costos de producción y evidencia la urgente necesidad de implementar estrategias de Manejo Integrado que permitan mantener las poblaciones de plagas por debajo del Umbral de Daño Económico mediante métodos sostenibles y eficaces (Ruiz, 2023; Viera-Arroyo et al., 2020).



Figura 1. Moscas blancas en invernaderos (Tecnología, 2020).

2.2. Las moscas blancas, generalidades y clasificación

Las moscas blancas adultas son insectos muy pequeños, fácilmente identificables por una capa cerosa blanca en sus cuerpos y alas (EPPO global database, 2023). Esta cera hidrófoba no solo es una característica distintiva, sino que también dificulta la acción de insecticidas y agentes de control biológico (Wang et al., 2023). En invernaderos, su alta adaptabilidad y prolificidad (junto con la superposición de generaciones) les permite formar densas colonias en el envés de las hojas, donde se alimentan de la savia (Albornoz et al., 2023).

De las más de 1500 especies que componen esta familia, dos son de vital importancia en la agricultura protegida: *Bemisia tabaci* y *Trialeurodes vaporariorum* (mosca blanca de invernadero). Su correcta identificación es fundamental, debido a las diferencias en su biología, el daño potencial y la susceptibilidad a los métodos de control. La clasificación taxonómica se basa en características morfológicas y, cada vez más, en análisis moleculares, lo que permite identificar a *B. tabaci* como un complejo de especies crípticas (biotipos o haplotipos). La complejidad genética dificulta enormemente su manejo, ya que la respuesta al control químico o biológico puede variar significativamente entre los biotipos (MacLeod et al., 2021; Yao et al., 2017).

2.2.1. *Bemisia tabaci*: Biología, ciclo de vida y comportamiento

Bemisia tabaci no es una sola especie, sino un complejo de especies crípticas, siendo los biotipos MEAM1 (antes B) y MED (antes Q) los más invasores y dañinos (Naalden et al., 2021) a nivel mundial. Su ciclo de vida, dependiente de la temperatura, se completa en 18 a 30 días, con un óptimo de entre 25 y 30 °C, lo que permite hasta 15 generaciones al año en invernadero. Morfológicamente, presentan un ciclo de vida metamórfico simple (Figura 2): huevo, cuatro estadios ninfales (el primero móvil y los

siguientes sésiles) y adulto. Las hembras son extremadamente fecundas y depositan entre 100 y 300 huevos en el envés de las hojas (Revista Cultivar, 2025). Las larvas, al eclosionar, se fijan al tejido vegetal y se alimentan del floema, extrayendo la savia y produciendo melaza, que favorece el crecimiento de fumagina.



Figura 2. Ciclo de vida de *Bemisia tabaci* (Urbina, 2024).

El impacto de *B. tabaci* va más allá del daño directo, ya que es un vector muy eficiente de más de 300 virus de plantas, especialmente geminivirus, como el virus del rizado amarillo de la hoja del tomate (TYLCV) (Davis y Thompson, 2024). Esto se complica enormemente por su notable polimorfismo genético y su potencial para desarrollar rápidamente resistencia a los insecticidas, siendo el biotipo MED o Q particularmente problemático debido a su mayor capacidad de detoxificación de neonicotinoides y piretroides (Wang et al., 2023). Esta resiliencia convierte a *B. tabaci* en una de las plagas más destructivas y complejas de controlar a nivel mundial.

2.2.2. *Trialeurodes vaporariorum*: Biología, ciclo de vida y comportamiento

Trialeurodes vaporariorum, más conocida como mosca blanca de los invernaderos, se diferencia de *B. tabaci* por preferir climas ligeramente más fríos, con

un óptimo térmico de 20-27 °C. Los adultos son morfológicamente un poco más grandes y mantienen sus alas más planas y alejadas del cuerpo en reposo (Figura 3). Su ciclo de vida, que dura de 22 a 28 días, incluye huevos depositados en círculos característicos en el envés de las hojas y ninfas de forma ovalada. Una diferencia clave con *B. tabaci* es que la pseudopupa es más convexa y presenta pelos dorsales (Gamarra et al., 2020).

Si bien es vector de virus como el de la mancha amarilla del tomate, su principal daño radica en la producción masiva de melaza. Este sustrato azucarado favorece el desarrollo de *Capnodium* spp., que puede reducir la tasa fotosintética hasta en un 50 % y disminuir el valor estético de los frutos. Esto provoca pérdidas significativas en los cultivos de tomate, pepino y plantas ornamentales. Aunque tiene menor variabilidad genética y rango de hospedantes que *B. tabaci*, su capacidad para formar poblaciones densas (más de 50 individuos por hoja) (Karaca et al., 2025) lo convierte en una plaga importante para el manejo integrado.

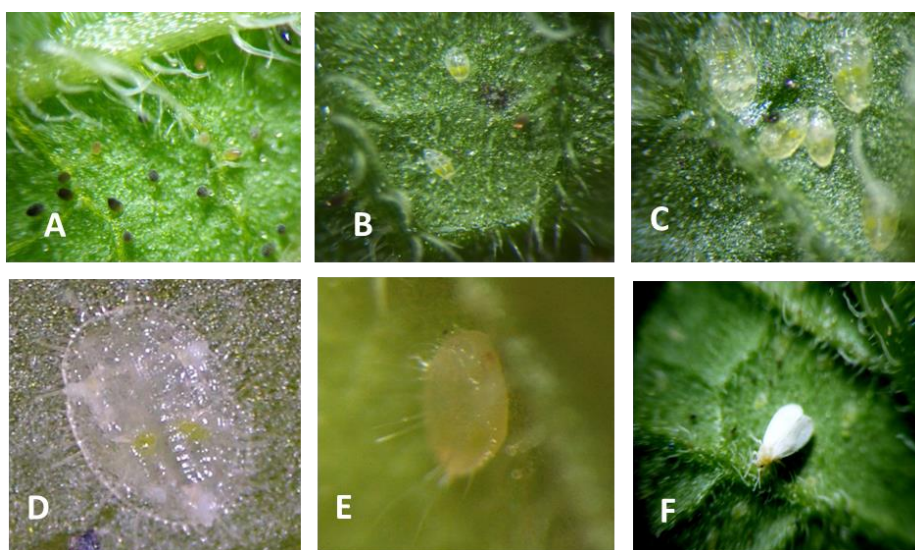


Figura 3. Estadios ninfales de la mosca blanca de los invernaderos, *Trialeurodes vaporariorum*: (A) huevo, (B) primer estadio ninfal, (C) segundo estadio ninfal, (D) tercer estadio ninfal, (E) cuarto estadio ninfal o pupa, y (F) adulto. (CIP, 2014).

2.2.3. Impacto económico y fitosanitario de las moscas blancas

Bemisia tabaci y *Trialeurodes vaporariorum* generan pérdidas económicas globales que alcanzan miles de millones de dólares anuales. Estas pérdidas se originan

por múltiples vías: los costos recurrentes de control químico que pueden representar hasta el 30% de los costos variables de producción, la merma en el rendimiento por el debilitamiento de las plantas y la severa depreciación comercial de los frutos. El daño se potencia significativamente por su capacidad de transmitir patógenos virales, pudiendo causar la pérdida total de cultivos como el tomate, papas etc. (Figura 4), y por la producción de melaza, que deriva en el cubrimiento de las hojas con fumagina, afectando gravemente el desarrollo vegetal. Por esto, el manejo de estas plagas exige estrategias integradas y sostenibles para ser económicamente viable (Abubakar et al., 2022; Sani et al., 2020).

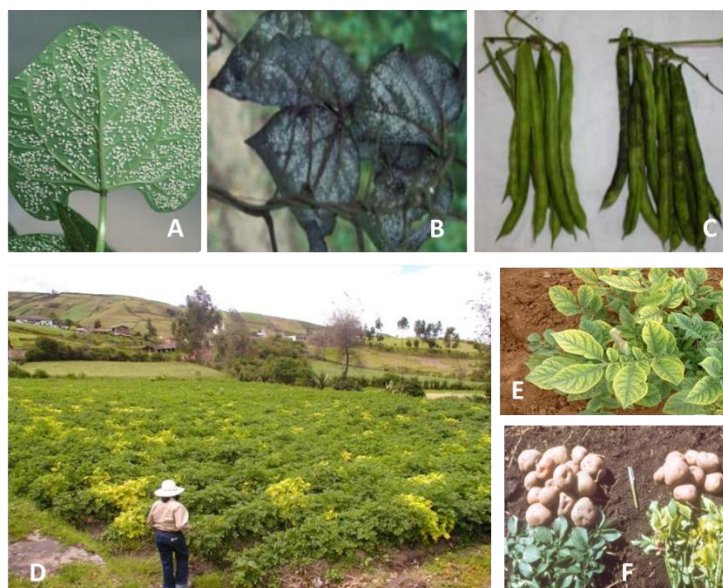


Figura 4 Síntomas de la mosca blanca de los invernaderos a campo abierto, *Trialeurodes vaporariorum*. (A) adultos en hojas de judías, (B) crecimiento de hongos en la melaza de las hojas y (C) vainas de judías, (D) campo de patatas muy afectado por el virus de la vena amarilla de la patata, (E) amarilleamiento de las venas con espacios intervenales verdes y (F) reducciones del rendimiento de hasta el 50%. (CIP, 2014)

3. ESTRATEGIAS DE CONTROL BIOLÓGICO PARA PLAGAS EN INVERNADEROS

3.1. Métodos tradicionales de control y sus limitaciones

En los invernaderos, el control clásico de las moscas blancas ha dependido de insecticidas sintético (neonicotinoides, insecticidas nicotinoides, neonicotinoides alternativos, etc.). Aunque estos compuestos proporcionan reducción rápida de poblaciones, su uso intensivo ha conducido a dos problemas críticos en ambientes protegidos: (1) aparición y rápida selección de poblaciones resistentes (particularmente *B. tabaci*), y (2) eliminación de enemigos naturales y alteración de la ecología local del invernadero (Khalid et al., 2021; Ghosal, 2019).

Como complemento, los métodos mecánicos y físicos, como las trampas adhesivas, las mallas anti-insectos y la solarización (Dai et al., 2024), son muy útiles para la prevención y el monitoreo, pero suelen ser insuficientes y económicamente inviables como estrategia única en caso de infestaciones establecidas. Esto pone de manifiesto la necesidad de enfoques integrados más duraderos.

3.2. Prácticas culturales complementarias en invernaderos

Las prácticas culturales constituyen la base preventiva del manejo integrado de plagas (MIP), ya que crean un ambiente menos propicio para el desarrollo de plagas y amplioifican la efectividad de agentes biológicos. Estas prácticas incluyen:

- **Saneamiento y control de fuentes de infestación:** eliminación y destrucción de residuos vegetales, control estricto de plantas voluntarias y malezas dentro y en perímetros del invernadero; inspecciones y cuarentenas para plantines entrantes (reducen la presión de colonización).
- **Barreras físicas y diseño:** instalación de mallas/insect screens en ventilación y puertas (mallas con densidad adecuada o con capas UV-reflectantes) reduce la

entrada de adultos y la diseminación de virus transmitidos por *B. tabaci* y *T. vaporariorum* (Abubakar et al., 2022).

- **Manipulación del microambiente y fenotipia del cultivo:** ventilación, control de temperatura y humedad para crear condiciones menos favorables para el desarrollo de la mosca blanca y más favorables para algunos enemigos naturales; uso de mantillo reflectantes o sustratos que alteren el comportamiento de aterrizaje. En invernaderos, la manipulación de la iluminación (por ejemplo, láminas que cambian la reflectancia UV) también puede disminuir aterrizaje y oviposición (Niemann et al., 2020).
- **Rotación de cultivos y ventanas sanitarias:** periodos de cultivo intercalados o descanso sanitario en zonas específicas ayudan a interrumpir ciclos de la plaga y facilitan la reintroducción controlada de enemigos naturales (Adamson et al., 2020).

3.3. El control biológico como pilar del Manejo Integrado de Plagas (MIP) en los invernaderos

En invernaderos, el control biológico no es sólo deseable: suele ser la estrategia central porque permite manejo sostenible en un sistema cerrado donde la recolonización es más controlable. Los grupos principales y su papel en invernaderos son:

1. **Avispas parasitoides (*Encarsia formosa*, *Eretmocerus* spp.):** especialmente eficaces en cultivos de hoja y larga duración (tomate, ornamentales), donde liberaciones periódicas mantienen bajas las poblaciones juveniles de mosca blanca. *Encarsia* es históricamente la herramienta de referencia en invernaderos europeos. Sin embargo, su eficacia depende de temperatura, presencia de insecticidas residuales y densidad hospedador (Shahini et al., 2023).
2. **Depredadores generalistas (*Delphastus catalinae*, míridos como *Macrolophus pygmaeus*):** útiles en cultivos que permiten establecimiento (no todas las variedades lo favorecen). En invernaderos, pueden actuar de forma

continúa si la estructura y prácticas (baja toxicidad química, fuentes alternativas de alimento/néctar) facilitan su permanencia (Chitturi et al., 2025).

3. **Hongos entomopatógenos (*Beauveria bassiana*, *Cordyceps/Cordycipitaceae*, *Lecanicillium/Cordyceps javanica*):** ofrecen ventajas claves en invernaderos como: contacto directo en superficies (hojas) y posibilidad de realizar aplicaciones foliares repetidas dirigidas, sin la deriva ambiental que tendría en campo abierto. Estudios de invernadero muestran control significativo de huevos, ninfas y fases móviles de ambas especies de mosca blanca cuando se seleccionan cepas y formulaciones apropiadas. Además, en algunos casos *B. bassiana* puede colonizar plantas como endófito y modular respuestas de defensa de la planta (aumentando resistencia indirecta a la mosca blanca) (Cabrera-Mireles et al., 2025).
4. **Estrategias sinérgicas:** en invernaderos comerciales modernos se recomienda una mezcla de liberaciones de parasitoides, introducción de depredadores y aplicaciones programadas de hongos entomopatógenos. Estas combinaciones reducen la dependencia de insecticidas y mitigan el riesgo de resistencias. Estudios recientes y revisiones recomiendan adaptar calendario de liberaciones y aplicaciones a la dinámica local de la plaga y a parámetros ambientales del invernadero (T°, HR, radiación) (Chitturi et al., 2025).

4. *Beauveria bassiana* EN EL CONTROL DE LA MOSCA BLANCA

4.1. Taxonomía y características generales del género *Beauveria*

El género *Beauveria* se clasifica dentro del filo Ascomycota, clase Sordariomycetes, orden Hypocreales y familia Clavicipitaceae; es uno de los grupos de hongos entomopatógenos más estudiados a nivel mundial. *Beauveria bassiana*, descrita por primera vez por Agostino Bassi en el siglo XIX, es una de las especies más utilizadas para el control biológico (Urbina y Ruíz, 2018). Esta tiene una distribución cosmopolita, encontrándose naturalmente en suelos de una amplia gama de ecosistemas agrícolas y silvestres.

B. bassiana es importante por su amplio rango de hospederos (Figura 5), mostrando la capacidad de infectar a más de 200 especies de insectos pertenecientes a órdenes como Lepidóptera, Hemíptera y Coleóptera (Intagri S.C., 2017). Esta versatilidad patogénica se complementa con su capacidad para establecerse como endófito en el tejido vegetal, donde confiere protección adicional a las plantas contra el ataque de plagas. Es esta multifuncionalidad la que la convierte en un valioso agente biotecnológico en sistemas agrícolas: como patógeno aplicado y como simbionte protector. Debido a que *B. bassiana* en su ciclo vital posee dos fases, una parasítica y otra saprofítica, el hongo no es solo útil como bioplaguicida sino también como biofertilizante, significando un riesgo menor para los organismos benéficos, como los polinizadores y los depredadores naturales de plagas (Almudena, 2023).

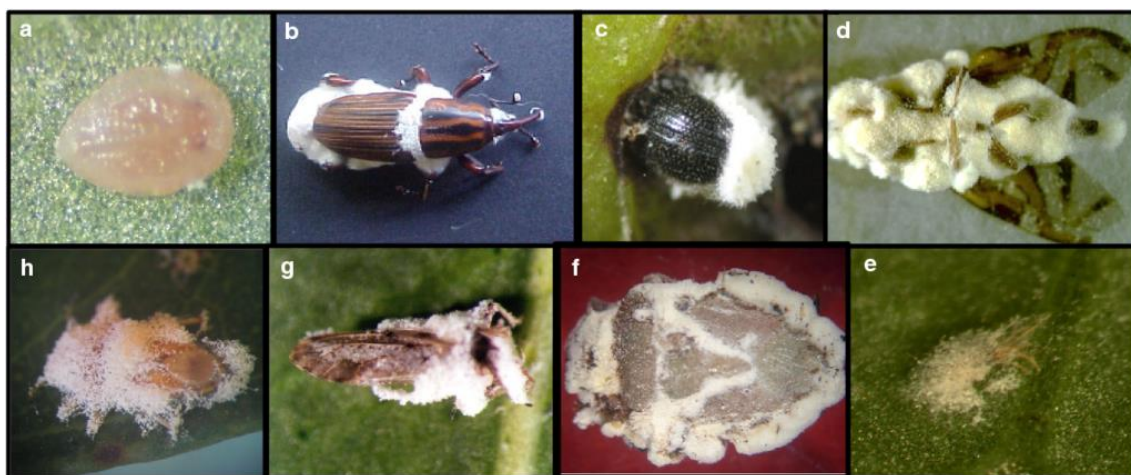


Figura 5. Amplia gama de artrópodos infectados por *Beauveria bassiana* a. Ninfa de mosca blanca *Bemisia tabaci* biotipo B (Crédito: Gabriel M. Mascarín); b. Picudo del plátano *Metamasius hemipterus* (Crédito: Rogério B. Lopes); c. Broca del café *Hyphotenemus hampei* (Crédito: Gabriel M. Mascarín); d. Mosca de la fruta *Anastrepha* sp. (Balmita, 2023)

4.2. Caracterización morfológica, citológica y molecular

Morfológicamente, *B. bassiana* presenta características distintivas que facilitan su identificación. En medio de cultivo PDA, el hongo produce colonias algodonosas que, con el tiempo, adquieren tonalidades que varían de blancas a amarillentas o cremosas (Figura 6). Microscópicamente, presenta conidióforos densamente agrupados que portan conidios unicelulares, hialinos, de forma esférica a ovalada, dispuestos en cadenas sobre los filamentos (Chaithra et al., 2022; Islam et al., 2023). Estas son las unidades infectivas del hongo y de vital importancia para su dispersión y patogenicidad.

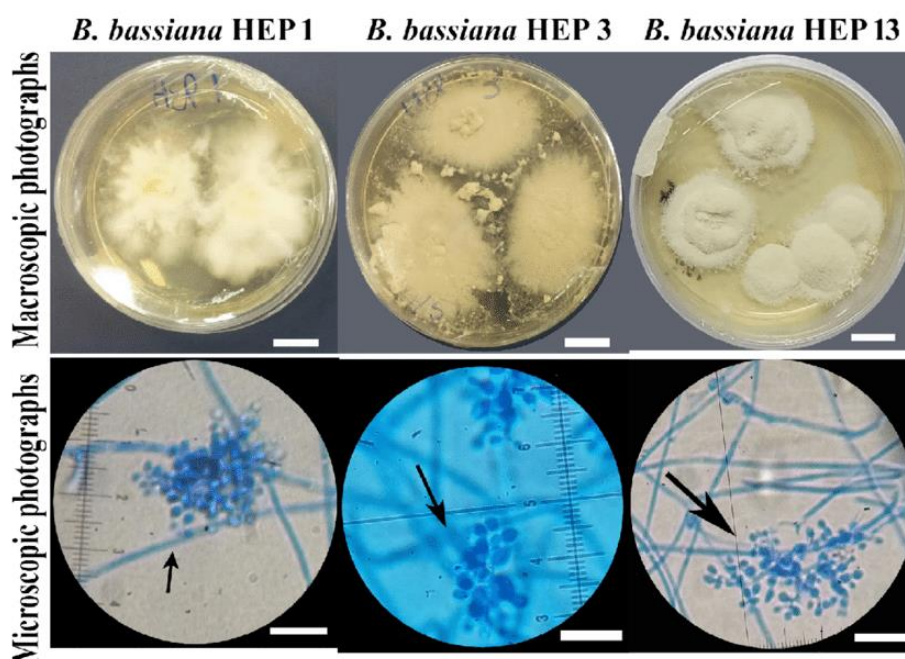


Figura 6 Fotografías macroscópicas y microscópicas de cepas de *B. bassiana*. Fotografías de colonias en medio PDA (Barra = 1 cm). Microfotografías teñidas con algodón azul de lactofenol. La flecha indica la disposición en zigzag de la célula conidiógena (8µm). (Bich et al., 2021)

La caracterización molecular ha permitido un progreso significativo en la diferenciación de cepas dentro del género. Métodos como la secuenciación del gen ribosomal ITS, TEF (factor de elongación de la traducción) y el gen Bloc (Wang et al., 2022) constituyen herramientas precisas para identificar haplotipos y seleccionar cepas con alta virulencia contra objetivos específicos. Estudios genómicos recientes como el de Lee et al. (2018) han demostrado que *B. bassiana* posee un pangenoma abierto con más de 10 000 genes codificantes, incluyendo numerosas proteasas y quitinasas que explican su extraordinaria adaptabilidad y eficacia contra diferentes hospedantes.

4.3. Mecanismos de acción patogénica

El proceso infeccioso de *B. bassiana* es una serie de eventos complejos y coordinados que comienza con la adhesión de las conidias a la cutícula del insecto. Este proceso está mediado por hidrofobinas y adhesinas específicas y es esencial para superar la barrera física que representa la capa de cera de la cutícula. En condiciones de alta humedad relativa (> 90 %), la germinación de las conidias se produce mediante

la formación de tubos germinativos diferenciados en estructuras especializadas llamadas apresorios (Figura 7), que ejercen presión mecánica sobre la cutícula (Harith-Fadzilah et al., 2020).

El proceso de penetración de la cutícula implica un mecanismo combinado de acción enzimática y presión física. *B. bassiana* secreta un complejo enzimático que incluye proteasas, especialmente Pr1, quitinasas y lipasas, las cuales degradan progresivamente los componentes estructurales de la cutícula. Tras alcanzar el hemocele, el hongo se transdiferencia en blastosporas multiplicadoras mediante gemación, iniciando la colonización sistémica de los tejidos del insecto. Durante esta fase, la producción de toxinas como la beauvericina y bassianólido acelera el colapso del huésped al interferir con la permeabilidad de las membranas y suprimir la respuesta inmunitaria (Altimira et al., 2022; Wang et al., 2021).

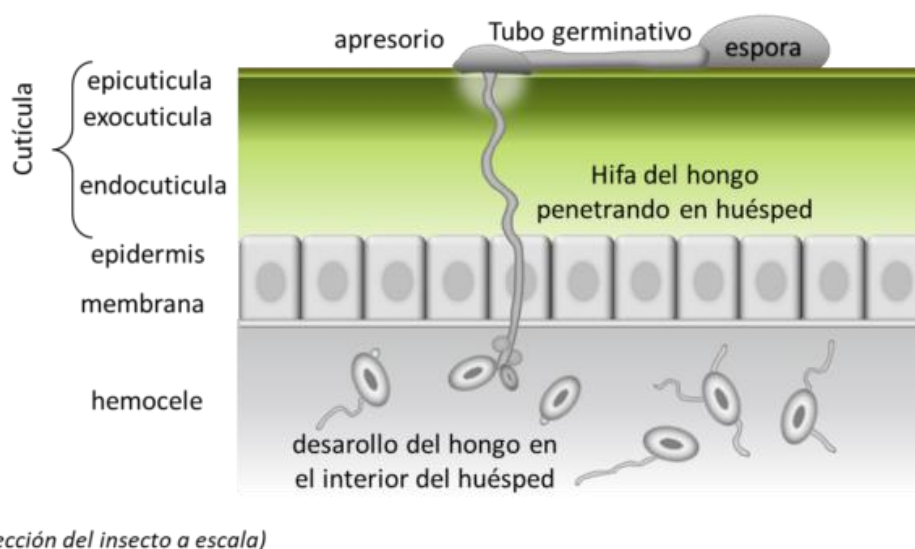


Figura 7. Mecanismo de acción de *Beauveria bassiana* según Botanigard®. (Almudena, 2023)

4.4. Factores bióticos y abióticos que influyen en su efectividad

La eficacia de *B. bassiana* como agente de control biológico depende de un conjunto de factores abióticos que afectan su desarrollo y persistencia. Su temperatura óptima oscila entre 20 y 28 °C; la humedad relativa es el factor crítico para la

germinación y la penetración, requiriendo valores superiores al 90 % durante las primeras 12-24 horas posteriores a la aplicación. La radiación UV solar es el factor más limitante en condiciones de campo, por lo que se han desarrollado formulaciones con protectores y se recomienda su aplicación al atardecer para maximizar la viabilidad de las conidias (Oecd, 2025; Litwin et al., 2020).

Entre los factores bióticos, uno de los más importantes es la selección adecuada de la cepa, dada la considerable variabilidad en la virulencia de los diferentes aislados contra *B. tabaci* y *T. vaporariorum*. Por otro lado, la etapa de desarrollo del insecto también influye notablemente, ya que las ninfas jóvenes son significativamente más susceptibles que los adultos o las pseudopupas debido a diversas diferencias en el grosor y la composición de la cutícula. Además, la presencia de microbiota cuticular y endosimbiontes en las moscas blancas puede modular la eficacia del hongo, lo cual debe considerarse en el diseño de estrategias de manejo integrado (Zhang et al., 2025).

5. PRODUCCIÓN, FORMULACIÓN Y APLICACIÓN DE *Beauveria bassiana*

5.1. Métodos de producción masiva: Técnicas de fermentación

La producción masiva de *B. bassiana* se basa en dos técnicas principales de fermentación, cada una con sus ventajas y limitaciones. Por un lado, la fermentación en medio sólido (FMS), que utiliza sustratos como arroz, sorgo u otros cereales que imitan las condiciones naturales de esporulación del hongo, es la preferida por su bajo costo de infraestructura y produce conidios aéreos con una pared celular robusta, lo que proporciona una vida útil excepcionalmente larga con alta tolerancia a la desecación (Roswanjaya et al., 2022), manteniendo la viabilidad hasta por 18 meses a 4 °C. Sin embargo, su principal desventaja radica en las dificultades para la automatización y la obtención de una homogeneidad absoluta en el producto final.

Por otro lado, la fermentación en medio líquido (FML) es el proceso que se lleva a cabo en biorreactores y es la técnica adecuada para la automatización y el escalado a niveles industriales. El producto obtenido mediante este proceso consiste principalmente en blastosporas, con la ventaja de una germinación mucho más rápida cuando se aplica en campo (Figura 8). No obstante, estas estructuras suelen tener una vida útil más corta y son más sensibles a factores abióticos, como la radiación UV (Mascarin et al., 2024). Las formulaciones comerciales modernas suelen combinar ambas técnicas para aprovechar las ventajas de cada método y, por ejemplo, encapsular blastosporas generadas por FML en protectores para mejorar su persistencia (Corrêa et al., 2020).

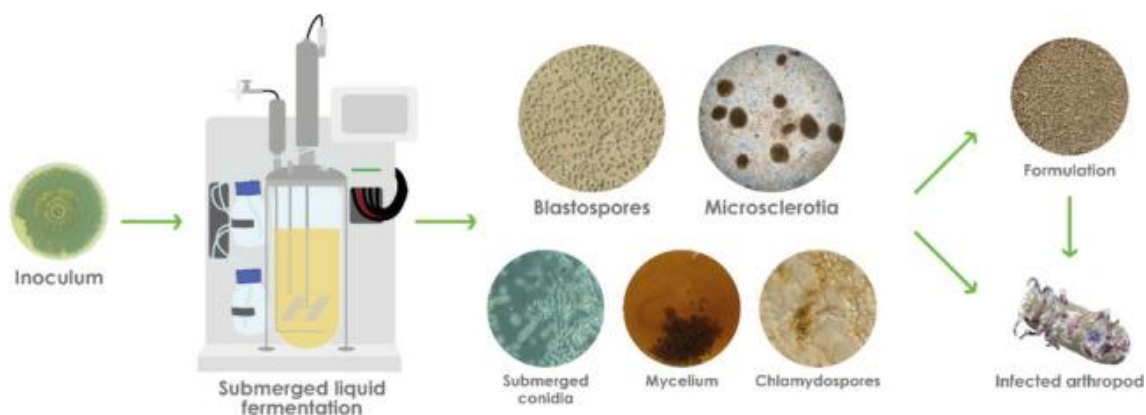


Figura 8 Resumen gráfico de FML para la formulación de hongos entomopatógenos. (Mascarin et al., 2024)

En consecuencia, la elección del método de fermentación implica un equilibrio entre costes, escalabilidad y características deseadas de los propágulos. Mientras que, la FMS produce conidios resistentes y de larga vida, ideales para el almacenamiento, la FML genera un producto estandarizado que facilita su aplicación a gran escala; la tendencia actual es combinar ambas tecnologías en estrategias de producción híbridas.

5.2. Formulaciones comerciales y criterios de calidad (Viabilidad y Patogenicidad)

La formulación de productos comerciales eficaces es una etapa crítica en el proceso de comercialización de *B. bassiana*, ya que determina directamente la estabilidad, viabilidad y eficacia del producto final. La formulación debe superar tanto las barreras biológicas, como la cutícula cerosa de la mosca blanca, como las abióticas, especialmente la radiación ultravioleta, que inactiva rápidamente las esporas. Entre las formulaciones más estudiadas se encuentran los polvos mojables (PM), que presentan ventajas debido a su facilidad de transporte y almacenamiento (Prithiva et al., 2017); sin embargo, generalmente presentan dificultades para dispersarse homogéneamente en agua y pueden dejar residuos visibles en el follaje, afectando el aspecto estético del cultivo.

Las suspensiones acuosas de aceite han demostrado ser especialmente eficaces para el control de la mosca blanca, ya que el agente portador oleoso, de origen

mineral o vegetal, cumple múltiples funciones: actúa como escudo contra la radiación UV, mejora la adhesión a la cutícula lipofílica del insecto y permite la penetración inicial a través de la superficie cerosa. Estudios recientes han confirmado que estas formulaciones pueden aumentar la persistencia de las esporas en condiciones de campo hasta en un 40 % en comparación con las formulaciones acuosas estándar (Mahot et al., 2025).

Los criterios de calidad establecidos por organismos reguladores como la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) exigen el cumplimiento de parámetros numéricos estrictos para garantizar la eficacia del producto. El contenido mínimo de la formulación oscila entre 1×10^7 y 1×10^9 propágulos viables por gramo o mililitro, según el tipo de formulación y el mercado de destino (EPA, 2023). La confirmación de este parámetro se realiza mediante recuentos en una cámara de Neubauer y pruebas de germinación en medios de cultivo específicos, donde la viabilidad suele ser superior al 80 % para que el producto se considere comercialmente aceptable (Oliveira et al., 2015).

Otro aspecto crítico de la calidad es la estabilidad del producto durante el almacenamiento, ya que su vida útil suele estar determinada por condiciones específicas de temperatura y humedad. Investigaciones sistemáticas han demostrado que la exposición a temperaturas superiores a 30 °C o cambios bruscos de humedad puede provocar pérdidas de viabilidad de hasta el 50 % en tres meses, incluso en formulaciones optimizada (Gao et al., 2025).

Por este motivo, los protocolos de control de calidad incluyen pruebas de envejecimiento acelerado que simulan condiciones de almacenamiento adversas. La patogenicidad, como criterio de calidad fundamental, se determina mediante bioensayos estandarizados con insectos objetivo, en los que se verifica la capacidad infectiva del producto formulado. Estas pruebas deben demostrar que el producto, tras el periodo de almacenamiento estimado, conserva su capacidad para causar una mortalidad significativa en la población objetivo. La integración de todos estos parámetros

concentración, viabilidad, estabilidad y patogenicidad en un sólido sistema de garantía de calidad es lo que, en última instancia, determina el éxito comercial de un bioinsecticida basado en *B. bassiana*.

5.3. Evaluación de la eficacia contra diferentes estadios de la mosca blanca

Los estudios de toxicidad han establecido que la eficacia de *B. bassiana* varía considerablemente según el estadio de desarrollo de la mosca blanca, determinado por los valores de Concentración Letal Media (CL₅₀) y Tiempo Letal Medio (LT₅₀) del aislado o formulación del hongo. Se ha reportado un valor de CL₅₀ tan bajo como 1x10⁵ conidios/mL contra ninfas de *B. tabaci* para una cepa virulenta, mientras que el LT₅₀ a la dosis comercial de 1x10⁸ conidios/mL generalmente se encuentra en el rango de 5 a 8 días (El-Sheikh, 2017). Esta acción lenta es típica de los bioinsecticidas y, por lo tanto, debe considerarse adecuadamente en las estrategias de Manejo Integrado de Plagas (MIP).

Existe una susceptibilidad diferencial claramente documentada entre los estadios de la plaga. Las ninfas jóvenes y los adultos son más vulnerables debido a que presentan un mayor contenido lipídico en la cutícula y un menor grosor de la misma en comparación con las pseudopupas, lo que favorece la penetración del hongo. Por el contrario, los huevos y las pupas presentan una resistencia considerablemente mayor a la infección (Keerio et al., 2020; Chouikhi et al., 2022).

Estos hallazgos tienen implicaciones directas para las estrategias de control. Si bien las ninfas son la fase que causa el mayor daño directo por alimentación, la aplicación dirigida a los adultos es una medida crucial para interrumpir el ciclo de dispersión de la plaga y la transmisión de virus fitopatógenos. Por lo tanto, un manejo eficaz debe tener en cuenta la biología y el comportamiento de la plaga para maximizar el efecto del bioinsecticida.

5.4. Resultados de eficacia en condiciones de invernadero

La eficacia de *B. bassiana* en invernaderos depende de múltiples factores que interactúan; el potencial de la cepa, la formulación empleada, las condiciones

ambientales internas (temperatura, humedad) y fundamentalmente la metodología de aplicación. Diversas investigaciones han demostrado que, bajo condiciones controladas de invernadero, *B. bassiana* puede alcanzar niveles de reducción de las moscas blancas que la posicionan como una alternativa viable dentro de programas de MIP.

Un estudio reciente puso a prueba una mezcla de *B. bassiana* y *Bacillus subtilis* en tomates cultivados bajo invernadero, reportando una eficacia de control de la mosca blanca (*T. vaporariorum*) entre 78,9% y 88,3%. Asimismo, la combinación no redujo la eficacia del hongo, lo que deja en claro que *B. bassiana* mantiene su capacidad de infectar al insecto incluso con tratamientos combinados (Komagata et al., 2024).

En otro ensayo utilizando como muestra cultivos de berenjena bajo invernadero, bioplaguicidas con *B. bassiana* demostraron eficiencia comparable a un insecticida comercial (spirotetramat), manteniendo su efecto insecticida durante un lapso de 14 días luego de su aplicación (Cabrera-Mireles et al., 2025).

Estudios de laboratorios complementarios respaldan estos resultados: un trabajo con la cepa nativa de *B. bassiana* (ARP14) comprobó su virulencia sobre varios estadios de desarrollo de *B. tabaci* y *T. vaporariorum* (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) (Jang et al., 2022), sugiriendo así que cepas correctamente seleccionadas podrían ser útiles para su eventual aplicación comercial.

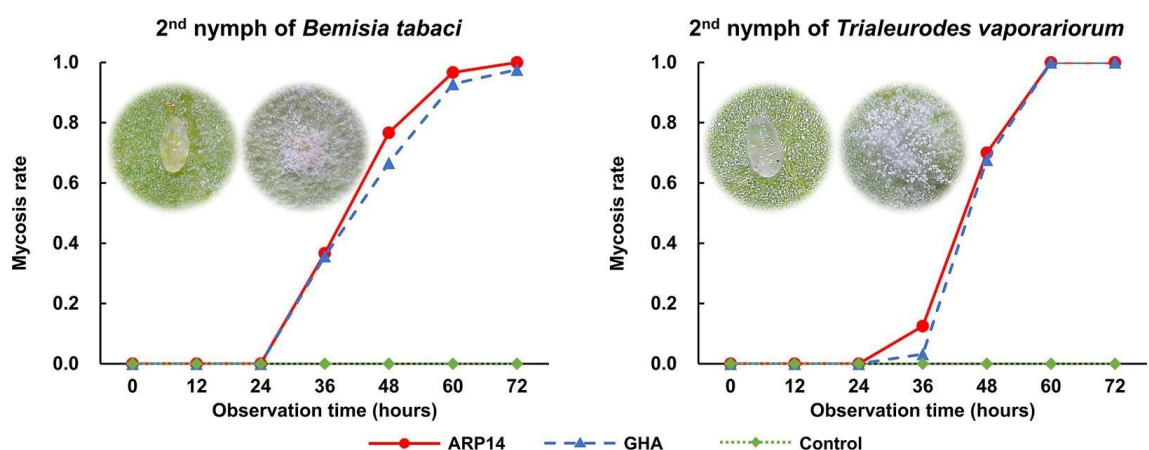


Figura 9 Tasa de micosis de ninfas de *Bemisia tabaci* y *Trialeurodes vaporariorum* tras la exposición a las cepas fúngicas ARP14 y GHA a lo largo del tiempo. (Jang et al., 2022)

Por tanto, en un escenario ideal, es decir, cuando se utilizan formulaciones apropiadas (ya sean mezclas con aceite o suspensiones estables), se mantienen en condiciones ambientales adecuadas (como una temperatura moderada y una humedad relativa suficiente) y se realizan aplicaciones dirigidas de forma periódica. Por ello, *B. bassiana* tiene el potencial de reducir poblaciones de moscas blancas con eficacia que, según algunos estudios, rondan el 80% o más (Murillo-Cuevas et al., 2019).

No obstante, esta eficacia puede variar considerablemente si alguno de los elementos no se optimiza. Por ejemplo, en un ensayo con tomate en invernadero, usando la cepa BeA de *B. bassiana* se obtuvo un control de apenas 48% en adultos y 57% en ninfas de *T. vaporariorum* (Peñaloza, 2020). El autor atribuye este rendimiento moderado a condiciones ambientales desfavorables (alta temperatura y baja humedad relativa), así como posiblemente a la necesidad de aplicar con mayor frecuencia o ajustar la concentración de conidios.

Dichos hallazgos refuerzan que la técnica de aplicación: volumen de agua, tipo de boquilla, presión, cobertura del envés foliar donde se refugia la plaga, es tan importante como la concentración de esporas a fin de lograr con éxito un contacto entre conidios y el insecto. Una aplicación inadecuada (p. ej. sin cubrir el envés de las hojas o con gotas gruesas que no alcancen los microhábitats de la plaga) podría disminuir drásticamente la eficacia, incluso con cepas de buen potencial. Esta consideración es ampliamente aceptada en varias referencias científicas centradas en el control biológico con hongos entomopatógenos (Sani et al., 2020).

Por otro lado, el éxito observado en multiplex estudios consolida a *B. bassiana* como una herramienta viable dentro de los programas de MIP en invernaderos. Su flexibilidad, capacidad de ser combinada con otros agentes biológicos o con prácticas culturales, su compatibilidad con ambientes protegidos, y su menor impacto ambiental, la hacen atractiva para sistemas de producción intensiva bajo condiciones controladas.

6. INTEGRACIÓN DE *Beauveria bassiana* EN PROGRAMAS DE MIP Y SOSTENIBILIDAD

6.1. Interacción con otros agentes de control biológico

La integración de *B. bassiana* en los programas MIP se basa fundamentalmente en una comprensión profunda de su interacción con otros agentes de biocontrol. Para que se produzca tal sinergia, tiene que haber una separación temporal y espacial entre las aplicaciones del hongo y la liberación de enemigos naturales, como parasitoides y depredadores. La estrategia secuencial óptima comienza con una liberación inicial de dichos agentes beneficiosos para establecer un control de inoculación que mantenga las poblaciones de la plaga en niveles umbral más allá de los cuales comienza a producirse daño económico. Una vez que el monitoreo indica una acumulación que superará el umbral de daño económico, sigue la aplicación de *B. bassiana* como medida de control inundativa.

Esta secuencia permite que *B. bassiana* actúe como un agente de control en las poblaciones de mosca blanca que escapan al control de los enemigos naturales, sin comprometer significativamente la base del programa de control biológico. La compatibilidad específica del hongo es notable, ya que se ha demostrado que no es tóxico para los huevos de parasitoides que ya se encuentran dentro de las momias de mosca blanca. Asimismo, depredadores establecidos como *Macrolophus* o *Amblyseius* mantienen su supervivencia a largo plazo, lo que valida la coexistencia de estas herramientas en una estrategia integrada (Zhang et al., 2024).

Por lo tanto, el éxito de la integración radica en un cronograma de aplicación bien planificado que maximice el beneficio de cada agente. Este enfoque estratégico permite al productor emplear a *B. bassiana* como una herramienta de acción rápida que no desestabiliza el ecosistema de control biológico, base fundamental de su programa de

MIP a largo plazo, estableciendo así un sistema de defensa resiliente y de múltiples niveles contra las infestaciones de moscas blancas.

6.2. Efectos sinérgicos y antagónicos en estrategias combinadas

El uso de *B. bassiana* en combinación con otros métodos puede generar interacciones tanto sinérgicas como antagónicas que determinan el éxito del enfoque. La sinergia más documentada se observa con el uso de aceites vegetales, como el de sésamo y colza. Estos aceites no solo protegen las conidias de la radiación UV y la desecación, sino que también actúan como detergentes naturales que disuelven la capa cerosa de la cutícula de las moscas blancas, mejorando el contacto del hongo y, en algunos casos, incluso provocando la asfixia directa de la plaga (Holka y Kowalska, 2023; Kaiser et al., 2018).

Por otro lado, la principal limitación para la integración es la incompatibilidad con la mayoría de los fungicidas sintéticos, que se aplican para controlar enfermedades fúngicas de las plantas, como *Botrytis* spp. u *Oidium* spp. La aplicación de compuestos como los triazoles o los benzimidazoles elimina por completo la viabilidad de *B. bassiana*, lo que hace que su aplicación sea ineficaz (Erdoğan y Sağlan, 2023; Celar y Kos, 2016). Para superar este antagonismo, se recomienda establecer un intervalo de seguridad de 5 a 10 días entre las aplicaciones de fungicida y bioinsecticida, o bien sustituir los fungicidas químicos por alternativas biológicas compatibles basadas en *Bacillus subtilis* o *Trichoderma* spp.

Dado que el desarrollo de estrategias combinadas exige un conocimiento preciso de las interacciones químicas entre los distintos componentes, en especial la selección de adyuvantes sinérgicos y la mitigación de productos que podrían ser antagónicos, estas decisiones son cruciales y determinan la eficacia global de un programa de control. Este enfoque de compatibilidad química garantiza que *B. bassiana* pueda expresar todo su potencial patógeno dentro de un esquema de manejo integrado y con el uso de múltiples herramientas.

6.3. Estrategias para optimizar la aplicación: Momento y Método

La optimización de la aplicación representa el eslabón más controlable, y a menudo el más débil, en la implementación exitosa de *B. bassiana* dentro del MIP. El momento de la aplicación se determina mediante un monitoreo continuo, que permite identificar el punto óptimo de intervención. Este coincide con la detección de los primeros adultos y el consiguiente aumento en la población de ninfas jóvenes. La aplicación temprana, guiada por umbrales de acción bien definidos, permite el uso de la Dosis Mínima Efectiva (DME), reduciendo así los costos y evitando impactos innecesarios en la entomofauna benéfica (Hollingsworth et al., 2020).

En cuanto al método, la técnica de pulverización debe asegurar la cobertura completa del envés de las hojas, donde se produce la infestación. Para lograrlo, es esencial el uso de boquillas de abanico o de cono hueco que producen gotas pequeñas, junto con altos volúmenes de agua y la adición de tensioactivos humectantes o no iónicos. Estos coadyuvantes reducen la tensión superficial de las gotas, permitiendo que el caldo de aplicación se extienda uniformemente sobre la superficie cerosa e hidrófoba del follaje y los insectos (Zeina y Laing, 2025).

Finalmente, la aplicación sectorizada en focos de infestación se convierte en un enfoque mucho más sostenible y económico que las aplicaciones generalizadas. Además, programar las aplicaciones al final de la tarde o por la noche aprovecha el aumento natural de la humedad relativa que se produce en estos ciclos diarios, lo que favorece notablemente la germinación de las conidias y el establecimiento de la infección. Todas estas estrategias, en conjunto, hacen que una aplicación correcta sea un verdadero multiplicador de la eficacia del bioinsecticida (Wraight et al., 2016).

6.4. *Beauveria bassiana* como alternativa sostenible

6.4.1. Impacto en la Salud del Suelo, Biodiversidad y Seguridad Alimentaria

La implementación de *B. bassiana* como sustituto de los insecticidas químicos ofrece numerosos beneficios para lograr agroecosistemas más sostenibles. Asimismo,

Thakur et al. (2020) enfatizan la importancia de los bioplaguicidas microbianos en la agricultura sostenible, proponiendo que su implementación puede reducir la dependencia de productos químicos nocivos.

La certificación de seguridad alimentaria es una de sus principales implicaciones, ya que, al ser un agente biológico, no requiere período de espera ni de retiro. Es importante destacar que este hongo no supone riesgos para la salud humana, sino que tiene beneficios, por lo que aplicarlo en estrategias de control en actividades agrícolas es seguro. Esta afirmación se confirma por la investigación de Patocka, (2016) quien explica que *B. bassiana* se convierte en un candidato para la prevención y el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas debido a sus moléculas biológicamente activas (p. 81). Esto permite la cosecha inmediata tras su aplicación, una ventaja comercial crucial para los cultivos de invernadero, que generalmente operan con ciclos de cosecha continuos y estándares de mercado muy exigentes.

En cuanto a la salud del suelo, *B. bassiana* actúa como parte de la microbiota edáfica natural sin depositar residuos tóxicos persistentes que degraden la calidad del suelo o inhiban la actividad microbiana beneficiosa. Esto contribuye a reducir la dependencia de plaguicidas sintéticos y mejora la biodiversidad funcional dentro del invernadero al mantener comunidades robustas de insectos beneficiosos, polinizadores y otros artrópodos que fortalecen la resiliencia del sistema (Dannon et al., 2020).

6.4.2. Compatibilidad con la agricultura orgánica

La compatibilidad de *B. bassiana* con los principios y regulaciones de la agricultura ecológica es uno de sus principales atributos comerciales. La certificación ecológica, cada vez más demandada por los mercados, es uno de los principales impulsores de la adopción de este bioinsecticida. Las regulaciones ecológicas internacionales, como el Programa Nacional Orgánico de EE. UU. y las de la Unión Europea, permiten explícitamente la aplicación de organismos vivos y sus extractos, siempre que no se trate de cepas modificadas genéticamente.

Esta aceptación regulatoria proporciona a los agricultores ecológicos una herramienta directa y eficaz para el control de las moscas blancas, una necesidad que otros agentes de control biológico, como los parasitoides, a menudo no pueden cubrir por completo. La capacidad de *B. bassiana* para integrarse en programas de manejo 100% ecológico, junto con otros métodos compatibles como la gestión del microclima, el establecimiento de refugios para insectos beneficiosos y la rotación de cultivos, es fundamental (Barra-Bucarei et al., 2019).

Por consiguiente, la inclusión de *B. bassiana* en la lista de insumos permitidos no solo facilita su adopción en la agricultura ecológica, sino que también añade un valor significativo a los cultivos certificados. Esto convierte al hongo en una piedra angular tecnológica para sistemas de producción sostenibles de alto valor añadido que permiten a los agricultores hacer frente a las plagas clave manteniendo al mismo tiempo la integridad y la certificación de sus productos en los mercados más exigentes.

6.5. Viabilidad económica: Análisis costo-beneficio para su aplicación comercial

La viabilidad económica de *B. bassiana* debe evaluarse mediante un análisis de costo-beneficio que vaya más allá de la simple comparación de precios por aplicación con insecticidas químicos. Una perspectiva integral muestra que la justificación económica radica en los ahorros a mediano y largo plazo, así como el valor agregado relacionado a la inocuidad del producto. Diversas revisiones científicas señalan que los hongos entomopatógenos ofrecen un control eficaz con menor riesgo de desarrollo de resistencias, menor impacto ambiental y alta compatibilidad con programas del MIP (Bamisile et al., 2021), lo que actúa como un seguro frente al colapso del control químico y a los elevados costos asociados a la resistencia.

El beneficio económico más tangible se relaciona con el valor agregado del producto final. Se ha documentado que los bioplaguicidas formulados de *B. bassiana* se degradan de forma natural, no dejan residuos detectables en los vegetales ni tampoco

inducen resistencia en las plagas (Lucero et al., 2024), convirtiéndolo en una herramienta clave dentro de los sistemas de producción orientados a la inocuidad alimentaria. Bajo estos esquemas, los cultivos tratados exclusivamente con agentes de control biológico pueden aspirar a certificaciones que corroboren la calidad del producto, las cuales dependiendo del tipo de mercado y cultivo pueden representar primas económicas adicionales. Asimismo, desde el enfoque teórico-económico se ha visto y demostrado que estrategias biológicas bien diseñadas pueden alcanzar alta eficacia con costos cercanos al óptimo económico (Lundström et al., 2017). Esto respalda que, aunque el costo directo de la aplicación de *B. bassiana* pueda ser ligeramente superior, el retorno de la inversión se materializa en múltiples dimensiones: valor final del producto, estabilidad del sistema de control, seguridad para el consumidor y reducción del riesgo ambiental.

En conjunto, estos factores, sumados a la disminución de costos derivados del manejo de la resistencia y riesgos para la salud humana y el ambiente, permiten consolidar la viabilidad económica de *B. bassiana* dentro de la agricultura comercial moderna especialmente cuando se integra dentro de programas estructurados de MIP.

6. CONCLUSIONES

- *Beauveria bassiana* es una estrategia altamente efectiva para el control biológico de las moscas blancas (*Bemisia tabaci* y *Trialeurodes vaporariorum*) en cultivos bajo invernadero, siempre que se apliquen cepas adecuadas, formulaciones de calidad y condiciones ambientales favorables. Su capacidad de provocar altas tasas de mortalidad en ninfas y adultos, junto con su acción progresiva, la posiciona como una herramienta clave dentro del Manejo Integrado de Plagas (MIP).
- La complejidad biológica, genética y ecológica de las moscas blancas, particularmente en ambientes protegidos, explica las limitaciones de los métodos químicos tradicionales y justifica plenamente la necesidad de enfoques sostenibles. Misma que se ve evidenciada por la elevada capacidad reproductiva, transmisión de virus y desarrollo acelerado de resistencia de las plagas por lo que se hace indispensable la incorporación de agentes biológicos como *B. bassiana*.
- La caracterización morfológica, citológica y molecular de *B. bassiana* permite seleccionar cepas con mayor virulencia, adaptadas a condiciones específicas de invernadero, lo que incrementa notablemente su eficacia. Además, el conocimiento de sus mecanismos de acción: adhesión, penetración enzimática, colonización interna y producción de toxina, explica su elevado potencial patogénico frente a insectos plaga.
- La producción masiva, formulación y control de calidad del hongo son factores determinantes para su éxito comercial. Por lo que la combinación de fermentación sólida y líquida permite obtener productos con alta viabilidad, estabilidad y capacidad infectiva, mientras que las formulaciones oleosas mejoran la persistencia de los conidios y su adherencia a la cutícula cerosa de las moscas blancas.
- La eficacia de *B. bassiana* es altamente dependiente del estadio de desarrollo del insecto, siendo las ninfas jóvenes y los adultos los más susceptibles. Esto resalta la

importancia del monitoreo continuo y la aplicación oportuna dentro de los programas MIP para maximizar su impacto y reducir la transmisión de virus.

- La integración de *B. bassiana* con otros agentes de control biológico, como parasitoides, depredadores y bacterias benéficas, demuestra que pueden lograrse efectos sinérgicos altamente eficientes, siempre y cuando se respeten los tiempos de aplicación y se eviten productos químicos incompatibles, especialmente fungicidas sintéticos. Esta integración fortalece la estabilidad ecológica del invernadero.
- Desde el enfoque de la sostenibilidad, se concluye que *B. bassiana* contribuye significativamente a la protección de la biodiversidad, la salud del suelo, la reducción de residuos tóxicos y la seguridad alimentaria, lo que la convierte en una herramienta fundamental para los sistemas de producción modernos y para la agricultura orgánica certificada.
- En términos económicos, aunque su costo inicial puede ser superior al de algunos insecticidas convencionales, el análisis costo-beneficio demuestra que *B. bassiana* es económicamente viable y rentable a mediano y largo plazo, debido a la reducción de la resistencia, el menor impacto ambiental, la estabilidad del sistema productivo y el valor agregado de los cultivos sin residuos químicos.
- Finalmente, se concluye que el éxito del uso de *B. bassiana* no depende únicamente del producto, sino del manejo técnico del sistema, incluyendo la correcta selección de cepas, formulaciones, métodos de aplicación, control ambiental del invernadero y su integración estratégica dentro de programas estructurados de Manejo Integrado de Plagas.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abraham, A., Dash, S., Rodrigues, J. J., Acharya, B., y Pani, S. K. (2021). AI, Edge and IoT-based Smart Agriculture. Elsevier.
- Abubakar, M., Koul, B., Chandrashekar, K., Raut, A., y Yadav, D. (2022). Whitefly (*Bemisia tabaci*) Management (WFM) Strategies for Sustainable Agriculture: A Review. *Agriculture*, 12(9), 1317. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091317>
- Adamson, H., Turner, C., Cook, E., Creissen, H. E., Evans, A., Cook, S., Ramsden, M., Gage, E., Froud, L., Ritchie, F., y Clarke, J. (2020). Review of evidence on Integrated Pest Management. DEFRA.
<https://pure.sruc.ac.uk/en/publications/review-of-evidence-on-integrated-pest-management>
- Aguilar-Rodríguez, C. E., Flores-Velázquez, J., Rojano-Aguilar, F., Ojeda-Bustamante, W., y Iñiguez-Covarrubias, M. (2020). Estimación del ciclo de cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero, con base en grados días calor (GDC) simulados con CFD. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 11(4), 27-57.
<https://doi.org/10.24850/j-tyca-2020-04-02>
- Albornoz, M. V., Flores, M. F., Calderón, E., Bahamondes, S. A., y Verdugo, J. A. (2023). Reproductive Behavior of *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) Relative to Different Host Plants in an Intensive Tomato Crop Region of Chile. *Horticulturae*, 9(6), 697.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae9060697>
- Almudena. (2023, 13 enero). *Beauveria bassiana*: Todo lo que necesitas saber. En Certis Belchim. Online: <https://certisbelchim.es/beauveria-bassiana-todo-lo-que-necesitas-saber/>

- Altimira, F., Arias-Aravena, M., Jian, L., Real, N., Correa, P., González, C., Godoy, S., Castro, J. F., Zamora, O., Vergara, C., Vitta, N., y Tapia, E. (2022). Genomic and Experimental Analysis of the Insecticidal Factors Secreted by the Entomopathogenic Fungus *Beauveria pseudobassiana* RGM 2184. *Journal of Fungi*, 8(3), 253. <https://doi.org/10.3390/jof8030253>
- Amobonye, A., Bhagwat, P., Pandey, A., Singh, S., y Pillai, S. (2020). Biotechnological potential of *Beauveria bassiana* as a source of novel biocatalysts and metabolites. *Critical Reviews In Biotechnology*, 40(7), 1019-1034. <https://doi.org/10.1080/07388551.2020.1805403>
- Araúz Madrid, L. (2020). Evaluación de extractos vegetales y *Beauveria bassiana* en el manejo de mosca blanca Hemiptera: Aleyrodidae (*Bemisia tabaci* y *Trialeurodes vaporariorum*) en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) en invernadero.
- Balmita, I. (2023, 18 diciembre). Biocontrollo insetti nocivi: il fungo *Beauveria bassiana*. MSBIOTECH - Biotecnología Verde. <https://www.msbiotech.net/es/biocontrollo-degli-insetti-nocivi-il-fungo-beauveria-bassiana/>
- Bamisile, B. S., Akutse, K. S., Siddiqui, J. A., y Xu, Y. (2021). Model Application of Entomopathogenic Fungi as Alternatives to Chemical Pesticides: Prospects, Challenges, and Insights for Next-Generation Sustainable Agriculture. *Frontiers In Plant Science*, 12, 741804. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.741804>
- Barra-Bucarei, L., Iglesias, A. F., González, M. G., Aguayo, G. S., Carrasco-Fernández, J., Castro, J. F., y Campos, J. O. (2019). Antifungal Activity of *Beauveria bassiana* Endophyte against *Botrytis cinerea* in Two Solanaceae Crops. *Microorganisms*, 8(1), 65. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8010065>

- Bastida , A. (2017). Evolución y situación actual de la agricultura protegida en México. In Sexto congreso internacional de investigación en ciencias básicas y agronómicas (pp. 281-294).
- Benke, K., y Tomkins, B. (2017). Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture. *Sustainability Science Practice And Policy*, 13(1), 13-26. <https://doi.org/10.1080/15487733.2017.1394054>
- Bich, G. A., Castrillo, M. L., Kramer, F. L., Villalba, L. L., y Zapata, P. D. (2021). Morphological and Molecular Identification of Entomopathogenic Fungi from Agricultural and Forestry Crops. *Floresta E Ambiente*, 28(2). <https://doi.org/10.1590/2179-8087-floram-2018-0086>
- Bielza, P., Balanza, V., Cifuentes, D., y Mendoza, J. E. (2020). Challenges facing arthropod biological control: identifying traits for genetic improvement of predators in protected crops. *Pest Management Science*, 76(11), 3517-3526. <https://doi.org/10.1002/ps.5857>
- Cabrera-Mireles, H., Jiménez-Jiménez, M., Ruiz-Ramírez, J., Murillo-Cuevas, F. D., Adame-García, J., Jiménez-Zilli, J., Hernández, A. V., y Herrera-Bonilla, R. U. (2025). Microbial Biopesticides to Control Whiteflies in Eggplant *Solanum melongena*, in Greenhouse. *Insects*, 16(6), 578. <https://doi.org/10.3390/insects16060578>
- Celar, F. A., y Kos, K. (2016). Effects of selected herbicides and fungicides on growth, sporulation and conidial germination of entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Pest Management Science*, 72(11), 2110–2117. <https://doi.org/10.1002/ps.4240>
- Chaithra, M., Prameeladevi, T., Bhagyasree, S. N., Prasad, L., Subramanian, S., y Kamil, D. (2022). “Multilocus sequence analysis for population diversity of indigenous entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* and its bio-efficacy

against the cassava mite, *Tetranychus truncatus* Ehara (Acari: Tetranychidae).”
 Frontiers in Microbiology, 13, 1007017.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1007017>

Cherlinka, V. (2025, 4 marzo). Agricultura intensiva: propiedades e impacto ambiental.
 EOS Data Analytics. <https://eos.com/es/blog/agricultura-intensiva/>

Chimi, P. M., Fobane, J. L., Onguene, E. M. A., Nkoué, B. B., Kamdem, M. E. K.,
 Pokam, E. y. N., Djoumbi, B. L. T., Yonga, G., Dikoume, A. M. N., Abdel, K. N.,
 y Mala, A. W. (2025). A bibliometric analysis of agroecological practices: trends,
 impacts, and future directions. ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH,
 14(1). <https://doi.org/10.1186/s40068-025-00395-6>

Chitturi, A., Ejomah, A., y Mutyambai, D. M. (2025). Harnessing natural enemies for
 sustainable management of *Bemisia tabaci*: a review of the role of predators,
 parasitoids and entomopathogens. Frontiers In Agronomy, 7.
<https://doi.org/10.3389/fagro.2025.1684672>

Chouikhi, S., Assadi, B. H., Lebdi, K. G., y Belkadhi, M. S. (2022). Efficacy of the
 entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* and *Lecanicillium muscarium*
 against two main pests, *Bemisia tabaci* (Genn.) and *Tetranychus urticae* (Koch),
 under geothermal greenhouses of Southern Tunisia. *Egyptian Journal of*
Biological Pest Control, 32(1). <https://doi.org/10.1186/s41938-022-00627-2>

CIP. (2014). Greenhouse Whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood 1956) – Risk
 Atlas for Africa. <https://cipotato.org/riskatlasforafrica/trialeurodes-vaporariorum/>

Communications. (2024, 4 septiembre). ¿Qué es la agricultura intensiva y cuál es su
 impacto en el planeta? BBVA NOTICIAS.
<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-agricultura-intensiva-y-cual-es-su-impacto-en-el-planeta/>

- Corrêa, B., Da Silveira Duarte, V., Silva, D. M., Mascarín, G. M., y Júnior, I. D. (2020). Comparative analysis of blastospore production and virulence of *Beauveria bassiana* and *Cordyceps fumosorosea* against soybean pests. *BioControl*, 65(3), 323–337. <https://doi.org/10.1007/s10526-020-09999-6>
- Dai, X., Lin, Q., Liu, Y., Wang, R., Su, L., Yin, Z., Zhao, S., Zhang, F., Chen, H., Zheng, L., Zhai, Y., y Zhang, L. (2024). Precise control and prevention methods for whitefly in greenhouse vegetables. *Agronomy*, 14(5), 989. <https://doi.org/10.3390/agronomy14050989>
- Dannon, H. F., Dannon, A. E., Douro-Kpindou, O. K., Zinsou, A. V., Houndete, A. T., Toffa-Mehinto, J., Elegbede, I. A. T. M., Olou, B. D., y Tamò, M. (2020). Toward the efficient use of *Beauveria bassiana* in integrated cotton insect pest management. *Journal Of Cotton Research*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s42397-020-00061-5>
- Davis, T. W., y Thompson, A. N. (2024). Begomoviruses associated with okra yellow vein mosaic disease (OYVMD): diversity, transmission mechanism, and management strategies. *Molecular Horticulture*, 4(1), 36. <https://doi.org/10.1186/s43897-024-00112-4>
- El-Sheikh, M. (2017). Effectiveness of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. and *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) (Deuteromycotina: Hyphomycetes) as Biological Control Agents of the Onion Thrips, *Thrips tabaci* Lind. *Journal of Plant Protection and Pathology /Journal of Plant Protection and Pathology*, 8(7), 319–323. <https://doi.org/10.21608/jppp.2017.46318>
- Environmental Protection Agency [EPA]. (2023, 13 de abril). Registration decision for the new active ingredient *Beauveria bassiana* strain 203 (Document ID EPA-HQ-OPP-2021-0586-0007). <https://downloads.regulations.gov/EPA-HQ-OPP-2021-0586-0007/content.pdf>

- EPPO global database. (2023). Bemisia Tabaci (BEMITA)[Datasheet]] EPPO Global Database. <https://gd.eppo.int/taxon/BEMITA/datasheet>
- Erdoğan, O., y Sağlan, Z. (2023). In Vitro Compatibility of Entomopathogenic Fungi Beauveria Bassiana (Bals.) Vuill. with Different Fungicides. *Black Sea Journal of Agriculture*, 6(4), 416–421. <https://doi.org/10.47115/bsagriculture.1301874>
- Farvardin, M., Taki, M., Gorjian, S., Shabani, E., y Sosa-Savedra, J. C. (2024). Assessing the Physical and Environmental Aspects of Greenhouse Cultivation: A Comprehensive Review of Conventional and Hydroponic Methods. *Sustainability*, 16(3), 1273. <https://doi.org/10.3390/su16031273>
- Gamage, A., Gangahagedara, R., Subasinghe, S., Gamage, J., Guruge, C., Senaratne, S., Randika, T., Rathnayake, C., Hameed, Z., Madhujith, T., y Merah, O. (2024). Advancing Sustainability: The Impact of Emerging Technologies in Agriculture. *Current Plant Biology*, 100420. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2024.100420>
- Gamarra, H., Sporleder, M., Carhuapoma, P., Kroschel, J., y Kreuze, J. (2020). A temperature-dependent phenology model for the greenhouse whitefly Trialeurodes vaporariorum (Hemiptera: Aleyrodidae). *Virus Research*, 289, 198107. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2020.198107>
- Gao, Y., Shi, D., Li, Y., He, X. Z., Wang, X., Lin, K., y Zheng, X. (2025). Development of Biphasic Culture System for an Entomopathogenic Fungus Beauveria bassiana PfBb Strain and Its Virulence on a Defoliating Moth Phauda flammans (Walker). *Journal of Fungi*, 11(3), 202. <https://doi.org/10.3390/jof11030202>
- Ghosal, A. (2019). Whitefly Management Guide. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Abhijit-Ghosal/publication/338528490_Whitefly_Management_Guide/links/5e19adb5a6fdcc2837690c5d/Whitefly-Management-Guide.pdf

- Gómez, C., Currey, C. J., Dickson, R. W., Kim, H., Hernández, R., Sabeh, N. C., Raudales, R. E., Brumfield, R. G., Laury-Shaw, A., Wilke, A. K., Lopez, R. G., y Burnett, S. E. (2019). Controlled Environment Food Production for Urban Agriculture. *HortScience*, 54(9), 1448-1458.
<https://doi.org/10.21273/hortsci14073-19>
- Gualsaquí, J. (2022). Evaluación del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* en los cuatro estadios de desarrollo de la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) en la Granja Experimental La Pradera (Doctoral dissertation, Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte "UTN", Ibarra. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12040>.
- Harith-Fadzilah, N., Ghani, I. A., y Hassan, M. (2020). Omics-based approach in characterising mechanisms of entomopathogenic fungi pathogenicity: A case example of *Beauveria bassiana*. *Journal of King Saud University - Science*, 33(2), 101332. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.101332>
- Holka, M., y Kowalska, J. (2023). The Potential of Adjuvants Used with Microbiological Control of Insect Pests with Emphasis on Organic Farming. *Agriculture*, 13(9), 1659. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091659>
- Hollingsworth, R. G., Aristizábal, L. F., Shriner, S., Mascarín, G. M., De Andrade Moral, R., y Arthurs, S. P. (2020). Incorporating *Beauveria bassiana* Into an Integrated Pest Management Plan for Coffee Berry Borer in Hawaii. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00022>
- Intagri S.C. (2017). *Beauveria bassiana* en el Control Biológico de Patógenos | Intagri S.C. <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/beauveria-bassiana-en-el-control-biologico-de-patogenos?>
- Islam, S. M. N., Chowdhury, M. Z. H., Mim, M. F., Momtaz, M. B., y Islam, T. (2023). Biocontrol potential of native isolates of *Beauveria bassiana* against cotton

leafworm *Spodoptera litura* (Fabricius). *Scientific Reports*, 13(1), 8331.

<https://doi.org/10.1038/s41598-023-35415-x>

Jang, L., Park, Y., y Lim, U. T. (2022). *Beauveria bassiana* ARP14 a potential entomopathogenic fungus against *Bemisia tabaci* (Gennadius) and *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae). *Journal Of Asia-Pacific Entomology*, 26(1), 102022. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2022.102022>

Jiménez, I. C. (2025, 18 octubre). Invernaderos agrícolas: Innovación en la agricultura moderna. Metaliser - Invernaderos. <https://metaliser.com/blog-innovacion-invernaderos-agricolas/>

Kaiser, D., Bacher, S., Mène-Safrané, L., y Grabenweger, G. (2018). Efficiency of natural substances to protect *Beauveria bassiana* conidia from UV radiation. *Pest Management Science*, 75(2), 556–563. <https://doi.org/10.1002/ps.5209>

Karaca, M. M., Kazak, C., Döker, İ., y Karut, K. (2025). Genetic variation and endosymbionts of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) populations in Turkey. *Phytoparasitica*, 53(3). <https://doi.org/10.1007/s12600-025-01279-2>

Keerio, A. U., Nazir, T., Abdulle, Y. A., Jatoi, G. H., Gadhi, M. A., Anwar, T., Sokea, T., y Qiu, D. (2020). In vitro pathogenicity of the fungi *Beauveria bassiana* and *Lecanicillium lecanii* at different temperatures against the whitefly, *Bemisia tabaci* (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 30(1). <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00247-8>

Khalid, M. Z., Ahmed, S., Al-Ashkar, I., Sabagh, A. E., Liu, L., y Zhong, G. (2021). Evaluation of Resistance Development in *Bemisia tabaci* Genn. (Homoptera: Aleyrodidae) in Cotton against Different Insecticides. *Insects*, 12(11), 996. <https://doi.org/10.3390/insects12110996>

- Komagata, Y., Sekine, T., Oe, T., Kakui, S., y Yamanaka, S. (2024). Simultaneous use of *Beauveria bassiana* and *Bacillus subtilis*-based biopesticides contributed to dual control of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) and tomato powdery mildew without antagonistic interactions. *Egyptian Journal Of Biological Pest Control*, 34(1). <https://doi.org/10.1186/s41938-024-00782-8>
- Lacey, L. A., Grzywacz, D., Shapiro-Ilan, D. I., Frutos, R., Brownbridge, M., y Goettel, M. S. (2015). Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. *Journal of Invertebrate Pathology*, 132, 1–41. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2015.07.009>
- Lee, S. J., Lee, M. R., Kim, S., Kim, J. C., Park, S. E., Li, D., Shin, T. Y., Nai, Y., y Kim, J. S. (2018). Genomic Analysis of the Insect-Killing Fungus *Beauveria bassiana* JEF-007 as a Biopesticide. *Scientific Reports*, 8(1), 12388. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-30856-1>
- Litwin, A., Nowak, M., y Różalska, S. (2020). Entomopathogenic fungi: unconventional applications. Reviews in *Environmental Science and Bio/Technology*, 19(1), 23–42. <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09525-1>
- Lucero, J., Manzano, J., Loaiza, I., y Orellana, Y. (2024). Producción de *beauveria bassiana* para la formulación de bioplaguicidas. *La Granja*, 40(2), 113-129. <https://doi.org/10.17163/lgr.n40.2024.08>
- Lundström, N. L., Zhang, H., y Brännström, Å. (2017). Pareto-efficient biological pest control enable high efficacy at small costs. *Ecological Modelling*, 364, 89-97. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.08.015>
- MacLeod, N., Canty, R. J., y Polaszek, A. (2021). Morphology-Based Identification of *Bemisia tabaci* Cryptic Species Puparia via Embedded Group-Contrast Convolution Neural Network Analysis. *Systematic Biology*, 71(5), 1095–1109. <https://doi.org/10.1093/sysbio/syab098>

- Mahot, H. C., Hanna, R., Mahob, R. J., Begoude, B. a. T., Membang, G., Kuate, A. F.,
 Fiaboe, K. K. M., Beilhe, L. B., y Bilong, C. F. B. (2025). Development and
 evaluation of oil-based formulations of entomopathogenic fungi for control of
Sahlbergella singularis (Hemiptera: Miridae), a pest of cocoa in Africa.
Biocontrol Science and Technology, 35(8), 874–897.
<https://doi.org/10.1080/09583157.2025.2520254>
- Malumphy, C., Eyre, D., y Anderson, H. (2017). Tobacco, sweet potato or silver leaf
 whitefly: *Bemisia tabaci*. Department for Environment Food and Rural Affairs,
 Unites Kingdom. Hal, 2(3), 5.
- Mascarin, G. M., Golo, P. S., De Souza Ribeiro-Silva, C., Muniz, E. R., De Oliveira
 Franco, A., Kobori, N. N., y Fernandes, É. K. K. (2024). Advances in submerged
 liquid fermentation and formulation of entomopathogenic fungi. *Applied*
Microbiology and Biotechnology, 108(1), 451. [https://doi.org/10.1007/s00253-](https://doi.org/10.1007/s00253-024-13287-z)
 024-13287-z
- Monge-Pérez, J. E., y Loría-Coto, M. (2023). Evaluación agronómica de híbridos de
 pepino (*Cucumis sativus* L.). *I+D Tecnológico*, 19(1).
<https://doi.org/10.33412/idt.v19.1.3781>
- Murillo-Cuevas, F. D., Cabrera-Mireles, H., Adame-García, J., Fernández-Viveros, J.
 A., Narváez, J. V., López-Morales, V., Vázquez-Hernández, A., y Meneses-
 Márquez, I. (2019). Evaluación de insecticidas biorracionales en el control de
 mosca blanca (Hemiptera: Aleyrodidae) en la producción de
 hortalizas//Evaluation of biorational insecticides for whitefly (Hemiptera:
 Aleyrodidae) control in vegetables production. *BIOtecnia*, 22(1), 39-47.
<https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i1.1123>
- Naalden, D., Van Kleeff, P. J. M., Dangol, S., Mastop, M., Corkill, R., Hogenhout, S. A.,
 Kant, M. R., y Schuurink, R. C. (2021). Spotlight on the Roles of Whitefly

- Effectors in Insect–Plant Interactions. *Frontiers in Plant Science*, 12, 661141.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.661141>
- Niemann, J., Menssen, M., y Poehling, H. (2020). Manipulation of landing behaviour of two whitefly species by reflective foils. *Journal Of Plant Diseases And Protection*, 128(1), 97-108. <https://doi.org/10.1007/s41348-020-00394-y>
- Oecd. (2025). Consensus document on *Beauveria bassiana* strains as microbial plant protection product. In Series on pesticides and on biocides.
<https://doi.org/10.1787/cc1d28d9-en>
- Oliveira, D. G. P., Pauli, G., Mascarín, G. M., y Delalibera, I. (2015). A protocol for determination of conidial viability of the fungal entomopathogens *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* from commercial products. *Journal Of Microbiological Methods*, 119, 44-52.
<https://doi.org/10.1016/j.mimet.2015.09.021>
- Orsini, F., Pennisi, G., Michelon, N., Minelli, A., Bazzocchi, G., Sanyé-Mengual, E., y Gianquinto, G. (2020). Features and Functions of Multifunctional Urban Agriculture in the Global North: A Review. *Frontiers In Sustainable Food Systems*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.562513>
- Palomino, S. E. R., y Ccoa, D. M. C. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. Revista de *Investigaciones Altoandinas - Journal Of High Andean Research*, 24(1), 53-64.
<https://doi.org/10.18271/ria.2022.328>
- Patoc ka, J. (2016). «Bioactive metabolites of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana*». En: *Military Medical Science Letters* 85.2, 80-88. Online:
<https://bit.ly/4cXVZWx>.

- Peñaloza, C. (2020). Evaluación de la efectividad de la cepa BeA de *Beauveria bassiana* (Balsamo) vuillemin para el control de la mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood, 1856) (Hemiptera: aleyrodidae) en el cultivo de tomate. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/31403>
- Prithiva, J., Ganapathy, N., y Jeyarani, S. (2017). Efficacy of different formulations of *Beauveria bassiana* (Bb 112) against *Bemisia tabaci* on tomato. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(4), 1239–1243.
<https://www.entomoljournal.com/archives/2017/vol5issue4/PartP/5-4-167-966.pdf>
- Raymond, E. (2022, 12 julio). ¿Por qué cultivar en invernadero? Ventajas y desventajas. Berger - ES. <https://www.berger.ca/es/recursos-para-los-productores/tips-y-consejos-practicos/cultivar-invernadero-ventajas-desventajas/>
- Revista Cultivar. (2025). *Bemisia tabaci*. <https://assets.revistacultivar.com.br/efe5f7a8-05a4-4d6a-a0ab-d2c2fcc9a663.jpg>. <https://revistacultivar-es.com/fitossanidade/bemisia-tabaci?ut>
- Reyes, G. E. (2025). Agricultura y crecimiento de población: un desafío para el futuro. HispanicLA: La Vida Latina Desde los Ángeles.
<https://hispanicla.com/agricultura-y-crecimiento-de-poblacion-un-desafio-para-el-futuro-90869>
- Roswanjaya, Y. P., Saryanah, N. A., y Devy, L. (2022). Conidia production of *beauveria bassiana* in solid substrate fermentation using a biphasic system. *KnE Life Sciences*. <https://doi.org/10.18502/kls.v7i3.11169>
- Ruiz, L. M. (2023). Costo-beneficio de un sistema de cultivo protegido de tomate en San Quintín. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 14(5).
<https://doi.org/10.29312/remexca.v14i5.3063>

- Sani, I., Ismail, S. I., Abdullah, S., Jalinias, J., Jamian, S., y Saad, N. (2020). A Review of the Biology and Control of Whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae), with Special Reference to Biological Control Using Entomopathogenic Fungi. *Insects*, 11(9), 619. <https://doi.org/10.3390/insects11090619>
- Tecnología. (2020, 26 octubre). CICLO BIOLÓGICO DE LA MOSQUITA BLANCA y SUS AFECTACIONES EN LA AGRICULTURA. ProainShop. <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/ciclo-biologico-de-la-mosquita-blanca-y-sus-afectaciones-en-la-agricultura?srsItd=AfmBOoqgexjC63nPkMTIR8xTLBgeocxxyCUEiFbgRL5SnTW4ZHogIB3j>
- Thakur, N., Kaur, S., Tomar, P., Thakur, S., y Yadav, A. N. (2020). Microbial biopesticides: Current status and advancement for sustainable agriculture and environment. En *Elsevier eBooks* (pp. 243-282). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-820526-6.00016-6>
- Urbina, A. (2024, 14 junio). Mosca blanca: ciclo de vida, daños y control en hortalizas | Blog Cambiagro. Blog Cambiagro. <https://blog.cambiagro.com/proteccion-y-bioestimulacion/mosca-blanca-ciclo-de-vida-danos-y-control-en-hortalizas/>
- Urbina, M. D. L. Á., y Ruíz, Y. (2018). *Beauveria bassiana*: Un hongo bioinsecticida. <https://saberimas.umich.mx/archivo/la-ciencia-en-pocas-palabras/503-numero-56/971-beauveria-bassiana-un-hongo-bioinsecticida.html>
- Vázquez, L. L., Murguido Morales, C. A., Elizondo, A. I., Elósegui, O., y Morales, F. J. (2019). Control biológico de la mosca blanca *Bemisia tabaci*. CIAT.
- Viera-Arroyo, W. F., Tello-Torres, C. M., Martínez-Salinas, A. A., Navia-Santillán, D. F., Medina-Rivera, L. A., Delgado-Párraga, A. G., Perdomo-Quispe, C. E., Pincay-Verdezoto, A. K., Báez-Cevallos, F. J., Vásquez-Castillo, W. A., y Jackson, T. (2020). Control Biológico: Una herramienta para una agricultura sustentable, un

- punto de vista de sus beneficios en Ecuador. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(2), 128–149. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2020.080200128>
- Wang, H., Peng, H., Li, W., Cheng, P., y Gong, M. (2021). The Toxins of *Beauveria bassiana* and the Strategies to Improve Their Virulence to Insects. *Frontiers in Microbiology*, 12, 705343. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.705343>
- Wang, Q., Luo, C., y Wang, R. (2023). Insecticide Resistance and Its Management in Two Invasive Cryptic Species of *Bemisia tabaci* in China. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(7), 6048. <https://doi.org/10.3390/ijms24076048>
- Wang, Y., Fan, Q., Wang, D., Zou, W., Tang, D., Hongthong, P., y Yu, H. (2022). Species Diversity and Virulence Potential of the *Beauveria bassiana* Complex and *Beauveria scarabaeidicola* Complex. *Frontiers in Microbiology*, 13, 841604. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.841604>
- Wraight, S., Ugine, T., Ramos, M., y Sanderson, J. (2016). Efficacy of spray applications of entomopathogenic fungi against western flower thrips infesting greenhouse impatiens under variable moisture conditions. *Biological Control*, 97, 31-47. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.02.016>
- Yao, F., Zheng, Y., Huang, X., Ding, X., Zhao, J., Desneux, N., He, Y., y Weng, Q. (2017). Dynamics of *Bemisia tabaci* biotypes and insecticide resistance in Fujian province in China during 2005–2014. *Scientific Reports*, 7(1), 40803. <https://doi.org/10.1038/srep40803>
- Zeina, G., y Laing, M. (2025). Evaluation of fifteen adjuvants for compatibility with *Beauveria bassiana* and their synergistic efficacy against *Rhipicephalus microplus* Ticks. *Acta Tropica*, 269, 107760. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2025.107760>

- Zhang, D., Qi, H., y Zhang, F. (2025). Parasitism by entomopathogenic fungi and insect host defense strategies. *Microorganisms*, 13(2), 283.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms13020283>
- Zhang, L., Lu, F., Zhu, L., Zhou, C., Xu, X., Zhang, N., Zhou, L., Desneux, N., Wang, Y., y Dong, Y. (2024). Isolation and Evaluation of Indigenous Isolates of *Beauveria bassiana* and Synergistic Control of *Spodoptera frugiperda* with the Parasitoid *Microplitis prodeniae*. *Insects*, 15(11), 877.
<https://doi.org/10.3390/insects15110877>
- Zhou, W., Arcot, Y., Medina, R. F., Bernal, J., Cisneros-Zevallos, L., y Akbulut, M. E. S. (2024). Integrated Pest Management: An Update on the Sustainability Approach to Crop Protection. *ACS Omega*, 9(40), 41130-41147.
<https://doi.org/10.1021/acsomega.4c06628>
- Zonagreen. (2023, 4 noviembre). Descubre qué es un invernadero y cómo funciona. Zona Green. <https://zonagreen.com.mx/que-es-un-invernadero/>