

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Control Biológico de *Tetranychus urticae* en Papaya (*Carica papaya*) Mediante Cepas de
Beauveria bassiana y *Purpureocillium lilacinum*

Por:

CRISTIAN ALEXANDER PEÑA GONZALEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Control Biológico de *Tetranychus urticae* en Papaya (*Carica papaya*) Mediante Cepas de
Beauveria bassiana y *Purpureocillium lilacinum*

Por:

CRISTIAN ALEXANDER PEÑA GONZALEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Aprobada por el Comité de Asesoría:

Dr. Sergio René Sánchez Peña

Asesor Principal

M.C. Elsa Carolina Landeros Gálvez

Asesor Principal Externo

Dr. Oscar Ángel Sánchez Flores

Coasesor

Dr. Jerónimo Landeros Flores

Coasesor

Dr. Alberto Sandoval Rangel

Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2025

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor principal quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos.

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamiento de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, vídeos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción y edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Autor principal


Cristian Alexander Peña Gonzalez

Firma y Nombre

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por permitirme seguir con vida y por siempre estar presente en cada oración, en cada suplica y en cada bendición.

A **mi familia**, por ser el motor para seguir adelante por ser mi fortaleza y la fuerza de mi dedicación, porque cada caída que tenía me levantaron y me hicieron seguir.

A la **M.C. Elsa Carolina Landeros Gálvez** por confiar en mí y apoyarme en este proceso y ser una pieza fundamental en mi vida, gracias por las pláticas motivadoras y por ser una gran amiga.

Al **Dr. Jerónimo Landeros Flores** por ser una base para elegir el destino de mi carrera y por siempre guiarme en la carrera.

Al **Ing. Niltzon Guzmán Hernández** por ser la imagen que me inspiro a elegir esta carrera, por confiar en mí cuando dije quiero ser Agrónomo y nunca dudo en apoyarme y ver lo capaz que soy.

Al **Departamento de Parasitología** por ser una segunda casa para mí, por enseñarme todo lo que he aprendido hasta ahora y por todos esos buenos momentos que llevaré en el alma.

A la **UAAAN** por permitirme ser un buitre y llenarme de enseñanza y de saberes, por ser la segunda casa en sus salones, en el comedor y en el internado siempre los llevaré en el corazón.

DEDICATORIA

A mi Madre Maribel González Ortiz por darme la vida y las ganas de vivirla, por apoyar a su hijo soñador; esto no es solo mío si no de ella por esas horas de trabajo apoyándome y haciendo hasta lo imposible por salir adelante.

A mis Abuelos Alfonso González Mondragón y Luisa Ortiz Robles por criarme por ser mis padres por hacerme un hombre de bien por nunca dejar de apoyarme en cada logro.

A mi Hermana Jocelyn Peña González por acompañarme toda la vida, mi compañera de vida la mujer que nunca me ha dejado solo.

A mis Tías y Tíos Ana Karen González Ortiz, Lorena González Ortiz y José Alberto Peña López por ser parte de mis logros más grandes y por nunca dejar de creer en mí y en mis metas.

A mi mejor Amiga Jocelyn Jazmín Torres López parte de este gran proceso, gracias por acompañarme en este viaje tan largo y tan pesado; a mi acompañante en las buenas y en las malas gracias por estar ahí siempre apoyándome durante casi 7 años llenos de amistad.

A mis amigos Ángel Gabriel, Armando Dorantes, Juan Pedro, Francisco Rivas, Luis, Irving por apoyarme en todo por brindarme su amistad y su compañerismo gracias por las alegrías y los buenos deseos que nunca faltaron en mi vida.

A mis rommies Sara, Solmariel y David gracias por darme un espacio en su casa gracias por brindarme un hogar y las ganas de salir adelante.

RESUMEN

El cultivo de papaya (*Carica papaya* L.) constituye una actividad de alta relevancia económica en México; sin embargo, su productividad se ve afectada por diversas plagas, entre las cuales *Tetranychus urticae* destaca por su rápida reproducción, amplia distribución y capacidad para generar daños severos al follaje. El uso intensivo de acaricidas ha favorecido la resistencia, la reducción de enemigos naturales y la presencia de residuos, lo que hace necesario explorar alternativas sostenibles de manejo. Entre ellas, los hongos entomopatógenos representan una herramienta promisoriosa dentro del manejo integrado de plagas.

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la patogenicidad de *Purpureocillium lilacinum* y dos cepas de *Beauveria bassiana* sobre hembras adultas de *T. urticae* mediante bioensayos de concentración–respuesta. Se utilizaron suspensiones conidiales en cuatro concentraciones y se registró la mortalidad corregida a 24, 48, 72, 96, 120 y 144 horas. Los datos fueron analizados mediante modelos log-logísticos de cuatro parámetros (LL.4) para estimar la CL_{50} y mediante ANOVA de modelos no lineales y LC_{50} Ratio Test para comparar la potencia relativa entre cepas.

Los resultados mostraron que la acción de los hongos fue dependiente del tiempo de exposición, con baja virulencia inicial y expresión patogénica más clara en etapas tardías. *P. lilacinum* actuó como un agente de infección lenta, manifestando efectos letales principalmente después de 120 horas. *B. bassiana* cepa A presentó una respuesta dosis-dependiente más consistente y con incremento progresivo en su eficacia, mientras que la cepa B mostró actividad tardía y limitada. Los análisis estadísticos confirmaron que las diferencias entre cepas fueron temporales y no constantes a lo largo del bioensayo.

En conjunto, los resultados indican que al menos una de las cepas evaluadas fue capaz de alcanzar una CL_{50} menor y, por lo tanto, una mayor patogenicidad, lo que respalda el potencial de estos hongos como agentes de control biológico de *T. urticae*. Su integración al manejo del cultivo podría contribuir a disminuir el uso de acaricidas y favorecer estrategias agrícolas más sostenibles.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	VII
DEDICATORIA	X
RESUMEN	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE GRÁFICAS	IX
INDICE DE TABLAS	XI
1.-INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	3
1.2. Objetivos específicos	3
1.3. Hipótesis	4
2.-REVISION DE LITERATURA	5
2.1. Origen de la Papaya	5
2.2. Clasificación taxonómica	5
2.3. Descripción botánica	5
2.4. Fenología	7
2.5. Condiciones edáficas y agroclimáticas	7
2.6. Variedades de papaya	8
2.7. Plagas	9
2.8. Ácaros	11
2.9. Suborden Prostigmata	13
2.10. <i>Tetranychus urticae</i> Koch	13
2.11. Hongos entomopatógenos	17

3. MATERIALES Y METODOS	20
3.1. Localización geográfica	20
3.2. Establecimiento del cultivo	20
3.3. Establecimiento de la colonia madre de <i>Tetranychus urticae</i>	21
3.4. Cepas de hongos y purificación	22
3.5. Bio ensayos	23
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1 <i>Purpureocillium lilacinum</i>	26
4.2 <i>Beauveria bassiana A</i>	29
4.3 <i>Beauveria bassiana B</i>	33
4.4 Análisis de Patogenicidad de las Cepas	35
4.5 Efecto de las cepas en <i>T. urticae</i>	40
5. CONCLUSIÓN	42
6. BIBLIOGRAFIA CITADA	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. A) Ácaro micosado. B) Presencia de muscardina blanca. C)Ácaro observado en microscopio.....	40
Figura 2. A) Ácaro micosado. B) Estructura saliente del ácaro. C) Micelio dentro del ácaro.....	41

ÍNDICE DE GRÁFICAS

- Gráfica 1.** Relación concentración mortalidad de *Purpureocillium lilacinum* de las 24 a 96 horas. A-B) CL50 24 – 48 h muy superior al rango evaluado, no significativa. C-D) CL50 72-96 h cercana a las concentraciones evaluadas, sin embargo, no alcanzó el 50 % mortalidad en ninguna concentración probada.....27
- Gráfica 2.** Relación concentración mortalidad de *Purpureocillium lilacinum* a las 120 h. La cepa mostró un incremento claro en su eficacia. CL50 de 6.86 log₁₀ conidios/mL, estadísticamente significativa (p < 0.01). Lo que indica que la mortalidad aumentó lentamente, pero de manera consistente a través del tiempo.....28
- Gráfica 3.** Relación concentración mortalidad de *Purpureocillium lilacinum* a las 144 h. CL50 en 8.29 log₁₀ conidios/mL, significativa (p < 0.01). *P. lilacinum* produjo efectos letales en periodos prolongados de exposición.....28
- Gráfica 4.** Relación concentración mortalidad de *Beauveria bassiana* A de las 24,48,72 y 144 h. CL50 cercana a las concentraciones evaluadas, sin embargo no alcanzó el 50 % de mortalidad en ninguna concentración probada.....30
- Gráfica 5.** Relación concentración mortalidad de *Beauveria bassiana* A 96-120 h. CL₅₀ de 1×10⁸ (7.94 Log₁₀) a las 96 h y 1×10⁶ (6.54 Log₁₀) a las 120h . Valores elevados dentro del rango de concentraciones evaluadas, indicador de una respuesta biológica clara y dependiente del tiempo.....32
- Gráfica 6.** Relación concentración mortalidad de *Beauveria bassiana* B a las 24-120 h. La cepa no generó un patrón claro de respuesta a la dosis, lo que resultó en modelos inestables y estimaciones de CL₅₀ no confiables en los periodos evaluados (24–120 h).....34
- Gráfica 7.** Relación concentración mortalidad de *Beauveria bassiana* B a las 144 h. En el periodo tardío, el modelo fue estable y estadísticamente significativo. La cepa presentó una

CL₅₀ de 8.50 log₁₀ conidios·mL⁻¹ (p = 0.0024), indicando que la mortalidad incrementó de forma dependiente de la concentración únicamente en esta etapa.

.....35

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cepas y tratamiento.....	24
Tabla 2 Valores de CL_{50} (Log_{10} conidios· mL^{-1}) estimados para las tres cepas evaluadas en cada tiempo de evaluación.....	26
Tabla 3. Comparación de las curvas concentración–mortalidad entre <i>Purpureocillium lilacinum</i> y las cepas A-B de <i>Beauveria bassiana</i> mediante ANOVA de modelos no lineales (LL.4)....	37

1.-INTRODUCCIÓN

El papayo (*Carica papaya L.*) es una fruta originaria de Centroamérica que actualmente se cultiva ampliamente en regiones tropicales y subtropicales. A nivel mundial, constituye la tercera fruta tropical más consumida y mantiene un alto valor económico debido a su versatilidad industrial y a la creciente demanda de productos frescos y procesados (Alfaro *et al.*, 2023). No obstante, su distribución continúa limitada por la marcada sensibilidad del cultivo a temperaturas bajas, lo que restringe su establecimiento a climas cálidos.

México ocupa un lugar destacado en la producción mundial de papaya, posicionándose en el tercer lugar global con una participación del 7.6 % y una tasa media anual de crecimiento del 5.2 % (DGSIAF, 2019). En 2021, la producción nacional alcanzó 1,137,351.98 toneladas, aumentando ligeramente en 2022 hasta 1,140,501.02 toneladas (DGSIAF, 2024). Los estados de Oaxaca, Chiapas, Veracruz, Colima y Michoacán concentran más del 80 % de la producción del país (Alfaro *et al.*, 2023). Para 2024, Oaxaca lideró la producción con 318,927.18 toneladas, seguido de Colima con 206,985.10 toneladas y Veracruz con 123,349.66 toneladas (DGSIAF, 2024).

Además de su importancia económica, la papaya es altamente valorada por su contenido nutricional, propiedades medicinales y aplicaciones industriales. Se consume como fruta fresca y es utilizada para elaborar jugos, mermeladas, bebidas y productos cristalizados (Arredondo, 2011). En algunos países, como Tanzania, Uganda y Zaire, se han desarrollado procesos de valor agregado mediante la extracción de compuestos presentes en la pulpa y el látex del fruto (Valencia, 2011). Este conjunto de usos ha impulsado la expansión del cultivo y su consolidación como una actividad estratégica tanto para pequeños agricultores como para sistemas de producción empresariales (Valencia, 2011).

Sin embargo, el incremento sostenido en la demanda y la intensificación del cultivo se han visto afectados por diversos problemas fitosanitarios; entre estos, las plagas representan uno de los principales factores limitantes, pues ocasionan daños directos a la planta, afectan la calidad del fruto, incrementan los costos de manejo y pueden restringir la exportación (Villanueva *et al.*, 2019). Dentro de este grupo, los ácaros constituyen una amenaza considerable: varios autores los señalan como el segundo problema de mayor importancia en papayo, e incluso como la plaga clave en algunas regiones productoras (Guzmán *et al.*, 2019).

En México destacan *Tetranychus cinnabarinus* y *Polyphagotarsonemus latus*, especies que dañan principalmente el follaje tanto de plantas jóvenes como adultas, causando clorosis, distorsiones foliares, reducción de la capacidad fotosintética y, en casos severos, la muerte de la planta (Guzmán *et al.*, 2008).

El manejo de estas plagas ha dependido tradicionalmente del uso de acaricidas químicos, estrategia que, aunque efectiva a corto plazo, ha generado problemas crecientes como resistencia, reducción de enemigos naturales, contaminación ambiental y presencia de residuos en el fruto. Estas limitantes han impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles de control, entre las cuales los hongos entomopatógenos han emergido como una opción prometedora debido a su especificidad, eficacia y bajo impacto ambiental (Tangarife, 2021).

En este contexto, resulta fundamental evaluar experimentalmente la capacidad patogénica de distintas especies y cepas de hongos entomopatógenos sobre ácaros plaga, particularmente sobre *Tetranychus urticae*, uno de los ácaros de mayor distribución y relevancia económica en sistemas hortofrutícolas. La cuantificación precisa de su virulencia mediante bioensayos y el análisis de parámetros dosis–respuesta permite generar evidencia científica necesaria para sustentar su incorporación en programas de manejo integrado de plagas. Con ello se pretende no solo mejorar la eficacia del control, sino también reducir la dependencia de acaricidas químicos, favorecer la sostenibilidad del cultivo y contribuir a la competitividad de la producción de papaya en México.

Considerando la relevancia económica del cultivo de papaya, el impacto que *T. urticae* representa sobre su productividad y las ventajas que ofrece el control biológico mediante hongos entomopatógenos, se vuelve indispensable generar información experimental que permita determinar la eficacia real de distintas cepas bajo condiciones controladas. La evaluación de su comportamiento dosis–respuesta, así como la estimación de parámetros como la CL_{50} en distintos tiempos de exposición, constituye un paso fundamental para validar su potencial como agentes microbiológicos dentro del manejo integrado de plagas. Bajo este contexto, el presente estudio se planteó con el propósito de cuantificar la patogenicidad de tres cepas fúngicas sobre hembras adultas de *T. urticae* y aportar evidencia científica que sustente su posible incorporación como alternativas viables y ambientalmente seguras en la producción de papaya.

1.1. Objetivo general

Evaluar la patogenicidad y el potencial de control biológico de *Purpureocillium lilacinum* y de dos cepas de *Beauveria bassiana* sobre hembras adultas de *Tetranychus urticae* asociadas al cultivo de papaya (*Carica papaya*), mediante bioensayos de concentración–respuesta y el análisis comparativo de las curvas dosis–mortalidad bajo condiciones de laboratorio.

1.2. Objetivos específicos

1. Establecer y mantener una colonia madre de *Tetranychus urticae* y obtener una cohorte de hembras adultas de edad uniforme para su utilización en los bioensayos.
2. Preparar y estandarizar las suspensiones conidiales de *P. lilacinum* y de las dos cepas de *B. bassiana* en cuatro concentraciones, y evaluar la mortalidad de hembras adultas de *T. urticae* a diferentes tiempos de exposición (24–144 h) mediante la técnica de hoja de arena.
3. Ajustar modelos log-logísticos de cuatro parámetros (LL.4) a los datos de mortalidad para cada cepa y tiempo de evaluación, con el fin de estimar los valores de CL_{50} (Log_{10} conidios $\cdot \text{mL}^{-1}$) y sus intervalos de confianza.
4. Comparar la patogenicidad de las cepas fúngicas mediante ANOVA de modelos no lineales y la Prueba de Razón de Concentración Letal (LC_{50} Ratio Test), identificando diferencias significativas en la respuesta dosis–dependiente y en la potencia relativa entre tratamientos.
5. Analizar el desempeño biológico de cada cepa e inferir su viabilidad como agente de control biológico de *T. urticae* en papaya, considerando la velocidad de acción, el tiempo de exposición requerido y las implicaciones para su integración en programas de manejo integrado de plagas.

1.3. Hipótesis

El incremento en la concentración de conidios de los hongos entomopatógenos evaluados provocará un aumento significativo y dosis-dependiente en la mortalidad de hembras adultas de *Tetranychus urticae* bajo condiciones de laboratorio, de manera que al menos una de las cepas presentará una CL_{50} significativamente menor y, por lo tanto, una mayor patogenicidad sobre el ácaro evaluado.

2.-REVISION DE LITERATURA

2.1. Origen de la Papaya

El papayo (*Carica papaya L.*) es una planta originaria de América Tropical que con el tiempo se ha introducido y establecido en diversas regiones tropicales del mundo como Kenia, Filipinas, Tailandia, Cuba, Jamaica y Venezuela, entre otras (Hernández, 2013). Diversos estudios han señalado que la vertiente oriental de los Andes, entre Bolivia, Brasil, Colombia y Venezuela, concentra la mayor diversidad de especies del género *Carica* spp; esta alta variabilidad y compatibilidad genética que favorece el cruzamiento natural entre ellas sugiere que dicha región podría ser el sitio de origen de la papaya (Hernández, 2013). Esta idea coincide con lo propuesto por Fitch (2005) quien plantea que el origen de la papaya se dio en la costa Caribeña de Mesoamérica y posteriormente se dispersó a múltiples regiones tropicales y subtropicales del mundo, aunque su distribución continua se encuentra limitada por su notoria sensibilidad al frío (Allan, 2000; Pradhan *et al.*, 2019).

2.2. Clasificación taxonómica

La papaya pertenece a la familia Caricaceae, la cual está comprendida por seis géneros con 35 especies, uno de los géneros más conocidos y de importancia económica es *Carica* (Hernández, 2013). Mandujano en 1993, determinó la clasificación taxonómica:

Reino: Plantea

Subdivisión: Angiosperma

Clase: Dicotiledónea

Género: *Carica*

Especie: *C. papaya L.*

2.3. Descripción botánica

El papayo es una planta herbácea de tallo carnoso, frágil, muy esponjoso y hueco en su parte central (SAGARPA, 2017). Los tallos son huecos, de color verde claro a marrón, con diámetro de 20 cm y presentan cicatrices prominentes; las hojas son muy grandes llegan a medir hasta 75 cm de ancho, palmatilobuladas o profundamente incisas, con márgenes enteros y peciolo

de entre 30 y 90 cm de largo, la mayoría de las plantas comienzan a dar frutos en seis a 12 meses (Vijay *et al.*, 2014).

2.3.1. Fruto

La papaya es una fruta ovoide y oblonga, de 10 a 25 cm y de 7 a 15 cm de diámetro, periforme o casi cilíndrica, grande, carnosa, jugosa, ranurada longitudinalmente en su parte superior (SAGARPA, 2017). Los frutos inmaduros son verdes, a diferencia de los maduros se tornan amarillos o rojo anaranjados pesan entre 226.7 gramos hasta 9 kilos (Vijay *et al.*, 2014). La parte comestible del fruto es carnosa, de coloración amarilla anaranjada hasta rojo, la fruta madura contiene numerosas semillas ovoides de color negro grisáceo, envueltas en una sarcotesta y unidas a la pulpa por un tejido fibroso, suave y blanco (Sivakumar *et al.*, 2012); según Aguirre (2018) los frutos de papayo pueden llegar a contener hasta 1000 semillas por fruta. Los frutos nacen de forma axilar en el tallo principal, generalmente solos, pero a veces en pequeños racimos; las papayas individuales maduran entre cinco y nueve meses dependiendo del cultivador y la temperatura (Vijay *et al.*, 2014).

2.3.2. Flores

La familia Caricaceae comprende 35 especies, de las cuales 32 son dioicas, dos trioicas y una monoica. Dentro de este grupo, *Carica papaya* resulta particular, ya que es una especie troica, con tres formas sexuales básicas: femenina, masculina y hermafrodita (Ming *et al.*, 2007). De acuerdo con Yogiraj (2014), los papayos producen flores masculinas, femeninas o bisexuales (hermafroditas). Aunque las flores presentan una duración de 3 a 4 días, el periodo exacto de receptividad del pistilo sigue siendo desconocido (Jiménez *et al.*, 2014). Los brotes florales, dispuestos en inflorescencias cimosas, surgen a partir de las axilas de las hojas; el tipo de las inflorescencias producidas varían dependiendo del sexo del árbol (Ming *et al.*, 2007).

Las flores femeninas y hermafroditas son cerosas, de color blanco, y se desarrollan de forma solitaria o en pequeñas cimas de 3 individuos, estas se disponen en péndulos cortos en las axilas de las hojas en el tallo principal; tiene el ovario en su posición superior, las flores bisexuales antes de abrirse son tubulares, mientras que las flores femeninas tienen forma de pera (Yogiraj *et al.*, 2014). Los papayos femeninos producen inflorescencias que portan pistilos funcionales bien desarrollados y sin estambres, mientras que los árboles hermafroditas

tienen inflorescencias cortas con flores bisexuales que en ocasiones pueden presentar variaciones en su expresión sexual (Ming *et al.*, 2007).

En contraste, las plantas masculinas se distinguen por sus flores más pequeñas, que se desarrollan sobre pedúnculos largos (Yogiraj *et al.*, 2014). Las inflorescencias son largas, péndulas y multiflorales, estas contienen flores masculinas delgadas y sin pistilo, aunque ocasionalmente presentan algunas flores con pistilo en el extremo distal (Ming *et al.*, 2007). De las plantas bisexuales, se reconoce como la flor perfecta de la papaya, también conocida como de tipo alargado, consta de cinco pétalos, cinco pares de anteras y un ovario

Las plantas bisexuales producen la llamada flor perfecta de la papaya, también conocida como de tipo alargado, se caracteriza por tener cinco pétalos, cinco pares de anteras y un ovario (Jiménez *et al.*, 2014). Estas plantas producen los frutos de mayor aceptación comercial, debido a que presentan características más deseables y además son capaces de auto polinizarse. Por esta razón suelen preferirse sobre las plantas exclusivamente femeninas o masculinas (Yogiraj *et al.*, 2014).

2.4. Fenología

La fenología del papayo comprende cuatro etapas principales: la primera es la fase juvenil, que abarca desde el trasplante hasta el inicio de la floración; la segunda corresponde a la floración, la cual se define desde la aparición del primordio floral hasta la antesis, momento en que ocurre la polinización; posteriormente se presenta la etapa de fructificación o amarre de frutos, que inicia con el primer flujo de floración y continúa hasta el comienzo de la cosecha; por último, la cuarta etapa corresponde a la maduración de frutos (Aguirre, 2018). Aunque el papayo puede vivir hasta 20 años, su vida comercial es considerablemente más corta; lo anterior debido a su gran altura y diversas limitaciones fitopatológicas, la productividad óptima de las plantas suele mantenerse únicamente por dos a tres años (Jiménez *et al.*, 2014).

2.5. Condiciones edáficas y agroclimáticas

El papayo requiere condiciones ambientales cálidas para su desarrollo adecuado, evitando temperaturas nocturnas bajas o heladas; su rango térmico óptimo oscila entre 17°C a 38°C con una humedad relativa del 50-95%, condiciones propias de los valles tropicales (López, 2022). Los factores como humedad y el calor son esenciales para el buen desarrollo del papayo

debido a que requiere de zonas de una pluviometría media de 1,800 mm anuales y una temperatura media anual de 20 a 22 °C. Aunque suele resistir a fríos ligeros, la falta de calor provoca un desarrollo deficiente y una maduración incompleta de los frutos, las heladas ocasionan la muerte vegetal (SAGARPA, 2017). Asimismo, SAGARPA (2017) señala que el papayo prospera en suelos francos de textura media, de moderada profundidad y con un pH entre 6 a 6.5, condiciones que favorecen su productividad.

2.6. Variedades de papaya

Según Arredondo (2011) las variedades de papaya más importantes a nivel mundial incluyen las siguientes:

Variedad Maradol: El nombre de esta variedad proviene de su creador, Adolfo Rodríguez Rivera y de su esposa María, el cultivar se desarrolló entre 1938 y 1949 en Cuba (Arredondo, 2011). La variedad fue introducida en México en 1977 y se caracteriza por tener frutos alargados, cilíndricos y de gran tamaño; la pulpa es de color roja a amarillo y su peso puede oscilar entre uno a tres kilos. A pesar de su popularidad y alta demanda, es una variedad altamente susceptible a enfermedades (Valle, 2019).

Variedad Sunrise: Esta variedad posee pulpa roja y firme. La fruta es piriforme con cuello corto, el peso varía de 425 a 625 gramos. Tiene un contenido de grados Brix de 12° a 17°. Las plantas pueden ser hermafroditas o femeninas, se estima que cada planta produce entre 72 y 87 frutos (Arredondo, 2011).

Variedad Solo: Su desarrollo fue basada en un grupo de selecciones obtenidas a partir de frutas pequeñas. Su nombre deriva de la palabra castellana “solo”, para indicar que es una fruta que se puede consumir por una sola persona o en una sola porción (Arredondo, 2011). Su fruto es pequeño, piriforme de pulpa amarillo-anaranjada, pesa entre 400 y 800 gramos, lo que la convierte en una variedad ideal para exportación (Valle, 2019).

Variedad Mamey o Roja Guerrero: presenta flores hermafroditas y masculina, los frutos son de tamaño variable color verde o amarillo en el exterior, con la pulpa y con una protuberancia en la pared distal, su peso es de 1.5 a 5 kg. La maduración fisiológica se logra identificar cuando se presentan vetas longitudinales de color amarillo (Arredondo, 2011).

Variedad Tainung: de origen en Taiwán y recientemente introducida a México, las plantas que desarrolla son hermafroditas, lo que permite la producción constante de frutos alargados (Valle, 2019).

2.7. Plagas

De acuerdo con Acosta y colaboradores (2003) los cultivos de papaya pueden albergar una amplia variedad de insectos fitófagos.

2.7.1. Orden Hemíptera

Estos insectos actúan como chupadores, alimentándose de la savia presente en el floema o el xilema de las plantas, debido a su tamaño y a la gran cantidad de azúcar que consumen pueden reproducirse muy rápido, por lo tanto, pueden tener varias generaciones en un tiempo corto (Páez *et al.*, 2022).

Empoasca spp.: es conocido comúnmente como lorito verde, como su nombre lo indica es de una tonalidad verde y cuerpo en forma de cuña; los adultos son alados, pero generalmente brincan de una parte a otra de la planta, las ninfas se caracterizan por moverse de lado cuando se les molesta (Gonzalo *et al.*, 2008). Son insectos con un aparato bucal chupador de 3 a 4 mm, se sitúan generalmente cerca de las nervaduras centrales de las hojas nuevas para chupar su savia (Acosta *et al.*, 2003) Después de la alimentación la hoja presenta un moteado blancuzco y se caracteriza por un encorvamiento hacia el envés, tanto adultos como inmaduros se alimentan de la savia; el daño por alimentación suele ser severo, sin embargo la principal importancia de dicha plaga es por su papel como vector de virosis (Gonzalo *et al.*, 2008), cuando el insecto inyecta su aparato bucal inocula el virus que porta en su saliva y lo transmite de planta en planta (Torres, 1976).

Áfidos o pulgones: son insectos son pequeños de 1-2 milímetros de largo, alados o ápteros, de cuerpo blando, en forma de pera, la coloración puede ser de color verde, amarillo o negro; se alimentan de la savia extraída del envés de la hoja, por lo que pueden llegar a presentarse en gran número en las mismas y en los cogollos tiernos (Torres, 1976). Algunos son importantes debido a que son vectores de enfermedades virosas como la mancha anillada Ring Spot (Gonzalo *et al.*, 2008).

Mosca blanca: son insectos pequeños, que a pesar de recibir su nombre común no pertenecen al orden Diptera por lo que no son moscas verdaderas; reciben esta denominación debido a la presencia de un polvo fino ceroso color blanco que recubre sus alas, este le da una apariencia semejante a las escamas de las alas de las mismas debido a un fino polvillo blanco que recubre a sus alas, lo cual les da la apariencia de moscas (Acosta *et al.*, 2003). Estos insectos son chupadores; los adultos y ninfas son los estados que causan mayor daño a las plantas al extraer la savia de las hojas, la alimentación puede inducir deformaciones foliares y algunas especies pueden ser transmisoras de virus. Las especies más comunes son *Trialeurodes variabilis*, *Bemisia tabaci* y *Aleurcanthus* spp. (Gonzalo *et al.*, 2008).

2.7.2. Orden Thysanoptera

La mayoría de los integrantes de este orden pueden causar daños a las plantas a través de diversos mecanismos: inyección de toxinas a través de la saliva, transmisión mecánica de hongos y bacterias, así como la transmisión de virus durante su alimentación (Soto *et al.*, 2003).

Trips: son insectos diminutos, de aproximadamente un milímetro de longitud, poseen un aparato bucal chupador adaptado para extraer los contenidos de las células vegetales y producir heridas en los frutos que permiten la entrada a microorganismos oportunistas y fitopatógenos, al cicatrizar generan manchas y deformaciones que degradan la calidad y apariencia del producto (Acosta *et al.*, 2003).

2.7.3. Orden Diptera

Son consideradas plagas de suma importancia ya que limitan la sostenibilidad agrícola, afectan el comercio de vegetales, frutas frescas y denotan importancia cuarentenaria (Fernández, 2022).

Mosca de la papaya: es un díptero de la familia *Tephritidae* cuya especie de mayor importancia es *Toxotrypana curvicauda*. Este insecto ataca principalmente a los frutos en desarrollo, especialmente durante los primeros 30 días de formación: los adultos ovipositan dentro del fruto recién formado; las larvas que eclosionan y se alimentan tanto de la semilla como la pulpa del fruto, cuando el daño es significativo este cae al suelo, después de esta etapa las larvas salen de la fruta y pupan (Gonzalo *et al.*, 2008).

Ácaros: Existe una gran variedad de ácaros, pero los más comunes en el cultivo de papaya es el acaro blanco *Polyphagotarsonemus latus* y la araña roja *Tetranychus urticae*. Atacan por el envés de las hojas jóvenes o adultas, produciendo su atrofia, distorsión y/o abscisión. Su multiplicación es rápida y son más peligrosos cuando la temperatura es alta y la humedad relativa es baja (Arredondo, 2011).

2.8. Ácaros

Los ácaros forman parte del grupo de artrópodos, se trata de un vasto conjunto de invertebrados terrestres y marinos que se considera como taxón mono filetico y que comparten las características de las patas articuladas y un exoesqueleto quitinoso (Krantz y Walter, 2009). Dentro de los artrópodos, se encuentra la clase Arachnida, que representan uno de los grupos más diversos y ricos en especies, con alrededor de 45, 000 especies descritas, aunque se estima que dicha cifra corresponde únicamente al 5% de las especies existentes, por lo que la proyección total de especies para este grupo es de aproximadamente un millón de especies (IRAOLA, 2025). Dentro de este amplio clado se encuentran los ácaros, pertenecientes a la subclase Acari, los cuales son organismos que poseen un par de quelíceros, pedipalpos y cuatro pares de patas marchadoras (IRAOLA, 2025). La subclase Acari es el grupo más grande y el único que se alimenta de plantas, por lo que desempeñan un papel importante como plagas agrícolas en frutas, hortalizas, cultivos forrajeros, plantas ornamentales y otros cultivos; se conoce alrededor de 7000 especies de ácaros fitófagos (Tehri, 2014). Los anteriores destacan por su alta capacidad de hacer daño y de alcanzar poblaciones elevadas; las familias de mayor importancia agrícola son Tenuipalpidae (ácaros planos), Tetranychidae (arañita rojas), Tarsonemidae (ácaros tropicales), Tuckerellidae (ácaros ornamentados) y la superfamilia Eriophyoidea (ácaros agalladores) (Ochoa *et al.*, 1991).

2.8.1. Morfología

El cuerpo de los ácaros se divide en dos regiones principales: gnatosoma e idiosoma, aunque no en todas las familias la división se muestra claramente, la funcionalidad de las regiones permanece. La tagmosis o amalgamación segmentaria característica de los ácaros ha dado origen a estas dos regiones corporales principales (Krantz y Walter, 2009). El gnatosoma o capítulo contiene los principales órganos empleados para la adquisición de alimento, se ubica en la parte superior del cuerpo e incluye la boca, los quelíceros y los palpos; la boca queda

parcialmente oculta por estas últimas estructuras al observarlo en posición dorsal (IRAOLA, 2025). Los quelíceros constituyen los órganos primarios para obtener alimento, y junto con los palpos, se encuentran adaptados para masticar, perforar, desgarrar o succionar (Krantz y Walter, 2009). En muchas familias con hábitos fitófagos, como los tetraníquidos y eriófididos, los quelíceros se han modificado hasta formar un estilete perforador utilizado para penetrar células vegetales y succionar su contenido (IRAOLA, 2025). El gnatosoma también contiene los palpos, cuyo papel es fundamentalmente sensorial; están compuestos por uno a cinco artejos provistos de numerosas setas receptoras y al igual que los quelíceros estos pueden tener adaptaciones dependiendo de los hábitos alimenticios, tal es el caso de los ácaros depredadores que tienen quelíceros en forma de garra para sujetar a sus presas (IRAOLA, 2025).

La región posterior del cuerpo es denominada idiosoma, comprende todo lo situado detrás del gnatosoma y asume funciones equivalentes a las del tórax, abdomen y parte de la cabeza en otros artrópodos (Krantz y Walter, 2009). En esta área se concentran la mayoría de actividades vitales, tales como la locomoción, la digestión, reproducción, entre otras: la morfología corporal es muy variable, pudiendo presentarse formas ovaladas, redondas y filiformes (Mullen y O'Connor, 2019). En algunos grupos se presenta una ligera constricción media denominada surco sejal, que divide el cuerpo en propodosoma, que contiene los dos pares de patas anteriores, y el histerosoma con los dos pares posteriores, ambas regiones conforman la porción del idiosoma, encargada de portar las extremidades locomotoras (Krantz y Walter, 2009). En la mayoría de los adultos se presentan cuatro pares de patas, aunque algunas familias poseen únicamente dos o tres pares; cada pata está constituida por los artejos coxa, trocánter, fémur, genu, tibia, tarso y pretarso, aunque en algunos grupos las coxas pueden encontrarse fusionadas al cuerpo, llegando a formar un esternón bien definido (Mullen & O'Connor, 2019). En el extremo distal, el pretarso porta un ambulacro o apotele, estructura que está formada por uñas, un empodio y un pulvilo, dichas estructuras permiten un desplazamiento eficiente sobre diferentes superficies (IRAOLA, 2025).

La superficie dorsal del idiosoma puede presentarse placas o escudos de diverso tamaño y grado de ornamentación, la esclerotización del tegumento varía ampliamente entre los distintos grupos; los escudos proporcionan protección frente a depredadores y factores

ambientales adversos, a la vez estas placas sirven como puntos de inserción muscular esenciales para la movilidad (Krantz y Walter, 2009). La región ventral del idiosoma alberga los orificios genitales y anales; en ciertos grupos pueden existir escudos ventrales, ornamentados o no, que cubren parcial o totalmente dicha zona (IRAOLA, 2025). De forma general el cuerpo de los ácaros se encuentra recubiertos de setas que pueden funcionar como órganos táctiles, quimiorreceptores y de protección, tienden a ser constantes en número y distribución por lo que se emplea como criterio taxonómico (Ochoa *et al.*, 1991).

2.9. Suborden Prostigmata

Dentro de la subclase Acari se encuentra el suborden Prostigmata. Es un grupo sumamente diverso y complejo, integrado por una gran cantidad de familias con hábitos fitófagos (IRAOLA, 2025). En este amplio grupo, la familia Tetranychidae se constituye como la familia de ácaros fitófagos de mayor importancia económica a nivel mundial, debido a su amplia gama de hospederos, su rápida tasa de reproducción y su notable capacidad para desarrollar resistencia a los acaricidas (Sharkey *et al.*, 2022).

2.10. *Tetranychus urticae* Koch

Tetranychus urticae, comúnmente conocida como araña roja de dos manchas, representa una de las principales especies de ácaros que se alimentan de las plantas; su nombre común se relaciona tanto con la pigmentación de su cuerpo como con su capacidad de producir seda, la cual utilizan para tejer telarañas que les sirve de protección (Zhang, 2003). Esta especie es considerada una de las plagas de mayor importancia en plantas cultivadas, constituyendo un problema tanto en campo abierto como en invernaderos, posee un amplio rango de aproximadamente 180 plantas hospedantes, que incluyen diversos frutales y hortalizas (KASSAP, 2002). Esta especie tiende a su alto nivel de desarrollo y fecundidad, lo que le permite infestar rápidamente una planta; su dispersión puede ocurrir mediante la seda transportada por vientos, herramientas y ropa entre otros métodos (NAPPO, 2014).

Taxonomía de *Tetranychus urticae* Koch según Krantz y Walter, 2009.

Phylum: Artropoda

Clase: Arachnida

Subclase: Acari

Orden: Trombidiformes

Suborden: Prostigmata

Familia: Tetranychidae

Subfamilia: Tetranychidae

Género: *Tetranychus*

Especie: *T. urticae*

2.10.1. Ciclo de vida

El desarrollo de *T. urticae* es altamente variable y depende principalmente de la temperatura, pudiendo completar su ciclo en un periodo de 5 a 20 días (Casuso *et al.*, 2020). Esta rapidez, combinada con su elevada capacidad reproductiva, permite que la población incremente a una rápida velocidad (KASSAP, 2002). Las hembras adultas ovipositan sobre finas telarañas y son capaces de depositar varios cientos de huevos, principalmente entre su segunda y cuarta semana de vida (Casuso *et al.*, 2020). Los huevos son inicialmente lisos, redondos, transparentes y de color blanco cristalino para posteriormente tornarse de un tono amarillo claro y, antes de la eclosión se tornan opacos y con dos puntos rojos en la superficie del mismo; las hembras suelen colocarlos en el envés de la hoja, ya sea de manera individual o adheridos a la seda producida por los adultos (Kaur, 2014). La eclosión ocurre aproximadamente a los 3 días después de la oviposición, dando origen a larvas hexápodas (Casuso *et al.*, 2020). Las larvas recién nacidas son hialinas, tornándose posteriormente verde o amarillo claro, tras completar su alimentación mudan para transformarse en protoninfas (Kaur, 2014). Las protoninfas presentan un mayor tamaño que las larvas y su principal rasgo es la aparición del cuarto par de patas (Rodulfo *et al.*, 2022). El siguiente estadio es la deutoninfa, en el cual el cuerpo se torna más oscuro y las manchas laterales características de la especie se vuelven más visibles; en esta etapa la diferenciación sexual comienza a ser evidente, la hembra es más grande y redondeada, mientras que el macho presenta un cuerpo pequeño y más alargado (Rodulfo *et al.*, 2022). Al igual que en otros estadios, presentan un periodo de reposo previo a la muda final (Kaur, 2014). Tras esta última emerge el adulto, los

machos se distinguen por su cuerpo presenta una angulación aguda en la parte posterior, son de menor tamaño y colores entre amarillo y verde claro; las hembras son de forma ovalada, globosa y con manchas laterales oscuras fuertemente marcadas; la coloración de los adultos suele ser altamente variada que puede ir desde verde hasta anaranjado e incluso completamente oscuras en su parte dorsal (Casuso *et al.*, 2020). La proporción de sexo en las poblaciones suele estar mayoritariamente inclinada hacia las hembras, con una proporción hembra/macho de 3:1 (Zhang, 2003). En general *T. urticae* pueden generar de 12 a 15 generaciones superpuestas al año, completando una generación en 13 días a una temperatura promedio de 15 a 28°C; las poblaciones alcanzan su pico durante el verano, entre mediados de junio y mediados de julio (Kaur, 2014; Zhang, 2003).

2.10.2. Daños en papaya

Debido a su alimentación, este ácaro genera un impacto significativo en la sanidad y longevidad del cultivo; generalmente se localizan en el envés de las hojas más viejas de la planta, donde hilan finas telarañas y se alimentan penetrando el tejido de la planta con su estilete para succionar el contenido celular (Mena *et al.*, 2019). La presencia de los individuos en el envés provoca inicialmente un punteado característico que con el tiempo evoluciona hasta clorosis amarillenta o gris, en infestaciones severas puede derivar en necrosis y defoliación (Zhang, 2003). Además, pueden producir deformaciones foliares, enanismo y oscurecimiento del follaje, lo que repercute directamente en la calidad de los frutos; la acumulación de telarañas, acompañada de las mudas de exoesqueletos y las excretas, reducen la capacidad fotosintética (Casuso *et al.*, 2020).

2.10.3. Métodos de control y las áreas de oportunidad

El control de ácaros se basa principalmente en el uso de acaricidas químicos, estrategia que, si bien puede ser efectiva, implica riesgos importantes tanto para los operadores como para el medio ambiente, especialmente cuando su aplicación se realiza de manera indiscriminada (Rodulfo *et al.*, 2022). La dependencia de estos productos se ve agravada por el rápido ciclo biológico de la especie, el cual puede completarse en aproximadamente en 7 días, dificultando el control, ya que los acaricidas solo eliminan alrededor del 40% de la población móvil, mientras que el 60% restante, correspondiente a huevos y estadios inmóviles, permanece sin afectación (Ruano, 2012).

La resistencia a los pesticidas es una consecuencia directa de su corto periodo de desarrollo y su alta tasa reproductiva, lo que ha permitido que las poblaciones desarrollen rápidamente mecanismos de resistencia frente a los compuestos utilizados tradicionalmente (Van Leeuwen *et al.*, 2010). Incluso se han registrado incrementos poblacionales inmediatamente después de las aplicaciones, resultado de la eliminación de competidores naturales o de individuos más susceptibles (KASSAP, 2002). Además, el uso de grandes volúmenes de acaricidas sin respetar los intervalos de seguridad entre la última aplicación y la cosecha puede dar lugar a residuos tóxicos en los frutos, así como contribuir a la disminución de organismos benéficos, la toxicidad en mamíferos y la contaminación ambiental; frente a este escenario, el fortalecimiento de su manejo integrado de plagas resulta indispensable, al igual que el desarrollo y evaluación de nuevas alternativas de control para esta especie (Soto *et al.*, 2011).

2.10.4. Métodos alternos de control

El manejo integrado de plagas (MIP) constituye un sistema de control con enfoque ecológico y multidisciplinario; dentro de este enfoque se aplican diversas técnicas como el manejo cultural, la utilización de bioplaguicidas, el empleo de variedades resistentes o menos susceptibles y el control biológico (Gugole, 2013). En la búsqueda de medidas alternativas para el control de *T. urticae*, se han considerado opciones como extractos vegetales, jabones, aceites y otros productos botánicos, los cuales pueden ofrecer una alta eficacia a menor costo (Rodulfo *et al.*, 2022). El control biológico se define como el uso de un enemigo natural para reducir la población de una plaga, ya sea de manera temporal o permanente. La comprensión de la interacción entre la plaga y su enemigo natural es esencial para lograr un manejo más eficiente (Gugole, 2013). Este método constituye un componente fundamental de la agricultura sustentable, ya que permite preservar los recursos naturales y proteger el ambiente mediante el empleo de microorganismos seleccionados por su alta eficiencia e inocuidad; de esta manera, el control biológico contribuye a disminuir los daños económicos del cultivo, la toxicidad asociada al uso de químicos y la persistencia de contaminantes en el medio ambiente (Guédez *et al.*, 2008).

Entre las alternativas más prometedoras dentro de este enfoque destacan los hongos entomopatógenos, considerados los primeros agentes biológicos utilizados para el control

microbiano de plagas debido a su capacidad para producir enfermedad y muerte en insectos y otros artrópodos (Motta-Delgado y Murcia-Ordoñez, 2011)

2.11. Hongos entomopatógenos

El control biológico ofrece múltiples beneficios, tanto para la economía de los agricultores como para la protección ambiental y la salud del consumidor, y ha contribuido significativamente al desarrollo agrícola de México y muchos países (Pacheco *et al.*, 2019). Este enfoque se fundamenta en el hecho de que los insectos plagas que atacan los cultivos poseen enemigos naturales que los parasitan y provocan su muerte, lo que genera una reducción considerable en sus poblaciones (Cañedo *et al.*, 2004).

2.11.1 Origen

El uso de hongos entomopatógenos re remonta a los inicios de la era cristiana, cuando surgen las primeras estrategias iniciales de control biológico basadas en depredadores naturales para la supresión de insectos plaga (Espinel *et al.*, 2018). Posteriormente, el uso de microorganismos como los hongos para el control de artrópodos ha sido ampliamente reconocido por su capacidad para infectar y ocasionar la muerte de los mismos, lo anterior lo convierte en un componente fundamental dentro de los esquemas modernos de manejo integrado de plagas; su eficacia ha impulsado la realización de numerosos estudios orientados a su caracterización, optimización y aplicación dirigida (Cañedo *et al.*, 2004).

Los avances en la comprensión científica de los hongos entomopatógenos se consolidaron a partir del trabajo pionero de Theodor Holmskjold, botánico danés y discípulo de Carlos Linneo, quien efectuó una de las primeras descripciones formales de *Cordyceps militaris*, identificándolo como un organismo entomófago asociado al cuerpo de un insecto; este suceso marcó el inicio del reconocimiento taxonómico y biológico de los hongos patógenos de artrópodos (Espinel *et al.*, 2018). Posteriormente, en 1887, Anton de Bary aportó una descripción detallada del proceso e infección de orugas por ascosporas de *C. militaris*, así como de la historia de vida del parásito, estableciendo bases científicas sólidas para la comprensión de los mecanismos de patogenicidad y del ciclo biológico de estos hongos (Espinel *et al.*, 2018).

2.11.2. Principales entomopatógenos

Principales hongos como *Beauveria spp.*, *Metarhizium anisopliae*, *Lecanicillium (Verticillium) lecanii* y *Paecilomyces spp.*, son comúnmente empleados en campo; estos hongos tienen un amplio rango de hospedantes y han sido utilizados para controlar diversas plagas en diferentes lugares (Cañedo *et al.*, 2004). Las enfermedades en insectos que causan estos hongos se les conoce como “muscardinas”, término que recibió por primera vez *Beauveria bassiana*; en algunos casos la coloración de los conidios es muy variable, de ahí el nombre de muscardina verde para *Metarhizium anisopliae* y muscardina roja para *Paecilomyces fumosoroseus* (Pacheco *et al.*, 2019). Hasta ahora se han descrito y reportado 750 especies de hongos entomopatógenos y el aislamiento de nuevas cepas; dentro de los más utilizados mundialmente se encuentra *M. anisopliae* (33.9 %), *B. bassiana* (33.9%), *Isaria fumosorosea* (5.8%) y *B. brungniartii* (4.1%) (Téllez *et al.*, 2009).

2.11.3. Mecanismo de acción

El proceso patogénico que se desencadena cuando un hongo entomopatógeno entra en contacto con un insecto se denomina micosis, término que hace referencia a la enfermedad resultante de la infección fúngica (Cañedo *et al.*, 2004). El desarrollo de la micosis es un fenómeno complejo que puede dividirse en tres fases principales, cada una caracterizada por eventos fisiológicos, bioquímicos y morfológicos específicos que permiten la invasión, colonización y eventual muerte del hospedero (Cañedo *et al.*, 2004).

1. Adhesión y germinación de la espora en la cutícula del insecto

La infección comienza cuando un conidio se adhiere a la cutícula del insecto, germina y forma la estructura de infección un apresorio (Espinell *et al.*, 2018). Este proceso ocurre en 3 etapas sucesivas: adsorción de la espora a la superficie mediante el reconocimiento de receptores específicos de naturaleza glicoproteica en el insecto, la adhesión o consolidación de la interfase entre la espora pre germinada y la epicutícula; finalmente la germinación y el desarrollo y formación del apresorio (Téllez *et al.*, 2009).

2. Penetración e infestación del hemocele

La penetración de los hongos entomopatógenos en el insecto depende de las propiedades químicas y físicas del insecto; tales como el grosor de la cutícula, la esclerotización y la presencia de sustancias anti fúngicas (Téllez *et al.*, 2009). La hifa constituye el elemento

fundamental en el proceso de penetración del hongo entomopatógeno, su avance a través de la cutícula del insecto resulta de la acción conjunta de dos mecanismos: por un lado, la degradación enzimática de los componentes cuticulares, y por el otro, la presión mecánica ejercida por el tubo germinativo durante su crecimiento y diferenciación,; esta combinación de factores permite que el hongo atraviese eficazmente las barreras estructurales del hospedero e inicie la colonización interna (Cañedo *et al.*, 2004). Una vez dentro del insecto, las estructuras hifales se multiplican y dan origen a blastosporas en el hemocele para colonizar el hospedero y aprovechar sus nutrientes; durante este proceso, el hongo secreta proteínas efectoras y metabolitos secundarios para evadir la respuesta inmunitaria, neutralizando sus receptores y mecanismos de defensa, produciendo toxinas que contribuyen al agotamiento y muerte del hospedero (Espinel *et al.*, 2018).

3. Desarrollo del hongo que resulta en la muerte del insecto

Una vez que el hongo llega, es capaz de evadir la respuesta inmunitaria del insecto mediante la producción de blastosporas, células de aspecto levaduriforme que se dispersan rápidamente como protoplastos; estas forman estructuras ameboideas discretas que no son reconocidas por los hemocitos del hospedero y de manera simultánea producen micotoxinas (Cañedo *et al.*, 2004). Las estrategias de evasión y colonización culminan con la muerte del insecto, momento en que el hongo completa la colonización interna, posteriormente las hifas emergen del cadáver y desarrollan células conidiógenas encargadas de la esporulación (Espinel *et al.*, 2018). Las micotoxinas representan un componente fundamental en el modo de acción de los hongos entomopatógenos, ya que aceleran la mortalidad del hospedero al combinar los efectos de la toxemia, la destrucción de tejidos y las deficiencias nutricionales provocadas por la infección (Cañedo *et al.*, 2004).

2.11.3. Entomopatógenos en Ácaros

La familia Tetranychidae es de suma importancia en los sistemas agrícolas debido al impacto económico que sus especies generan en diversos cultivos, antes esta problemática, la introducción de biopláguidas ha permitido establecer estrategias de control sostenidas y permanentes, contribuyendo de manera eficaz a la estabilidad y sostenibilidad de los agroecosistemas y reduciendo la probabilidad de desarrollar resistencia a los tratamientos convencionales (Finalé *et al.*, 2018). En este contexto, diversos estudios han evaluado la

acción de hongos entomopatógenos sobre ácaros plaga; López *et al.* (2020) examinaron el efecto de *B. bassiana* y *M. anisopliae* como de manera individual, empleando concentraciones formadoras de colonias sobre *Apis mellifera*, observando que *M. anisopliae* mostró mayor eficacia contra el ácaro. De manera similar, Villabona *et al.* (2008) evaluaron la efectividad de *B. bassiana* y *Paecilomyces fumosoroseus* sobre *Tetranychus urticae*, registrando infección exitosa de ambos hongos adultos de la especie.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización geográfica

Saltillo es la capital del Estado de Coahuila de Zaragoza en el noreste del país; con un clima semiárido cálido. El trabajo se realizó en el laboratorio de Taxonomía de Insectos y Ácaros de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Saltillo, Coahuila.

3.2. Establecimiento del cultivo

3.2.1.-Germinación

El material vegetal empleado para el presente proyecto correspondió a plantas de papaya (*C. papaya*) de la variedad Maradol Roja. Las plántulas fueron obtenidas a partir de semillas adquiridas en línea. Para la selección de semillas viables, se colocaron en un recipiente con agua por cuatro horas y se descartaron aquellas que flotaran en la superficie, las que pertenecieron en el fondo se consideraron como viables para la germinación. Las semillas viables se pre-germinaron en agua durante 24 h, haciendo cambios del agua por agua impoluta cada 8 h hasta completar el periodo establecido. Posteriormente, se llevaron las semillas a una charola de unicel de 128 cavidades para su germinación; el sustrato empleado fue una mezcla homogénea previamente humedecida de peat moss y perlita (1:1), cada cavidad se relleno sin compactar el sustrato y se depositó una semilla por pocillo. Las charolas se mantuvieron a 26°C bajo condiciones controladas de fotoperiodo (12:12) y humedad (HR 70%), se cubrieron con plástico negro para favorecer la germinación. Las primeras plántulas emergieron a las dos semanas después de la siembra, en ese momento se retiró la cobertura plástica para evitar su etiolación o daño por exceso de temperatura.

3.2.2.-Trasplante

Cuando las plántulas desarrollaron la tercera hoja verdadera, se procedió al trasplante a un contenedor de mayor capacidad, lo anterior con la finalidad de favorecer el crecimiento radicular. Para ello, se preparó una mezcla homogénea de peat moss y perlita (1:1) y se rellenaron bolsas de cuatro litros con el sustrato previamente humedecido; las plántulas se extrajeron de la charola para colocarse en dichos contenedores. Posteriormente, cuando las plantas alcanzaron una altura aproximada de 50 cm, se realizó un segundo trasplante a bolsas de 10 litros utilizando la misma mezcla de sustrato; este cambio se realizó debido a que las raíces ya ocupaban por completo el espacio disponible en el primer contenedor. Un mes después, y una vez que las plantas alcanzaron aproximadamente 1 metro de altura, se trasladaron a camas de suelo, manteniendo una separación de 0.5 metros entre plantas para reducir la competencia por nutrientes y permitir un desarrollo adecuado.

3.2.3-Nutrición y protección

Para prevenir enfermedades y fomentar el desarrollo radicular se aplicó *Trichoderma* sp. en la dosis recomendada por el comerciante. Así mismo, a los seis días después del primer trasplante se aplicó un enraizador a base de *Azospirillum brasilense*, ácido indol acético, ácido butírico, aminoácidos, entre otros; lo anterior para fomentar el crecimiento de raíces y brindar protección. La dosis empleada fue la recomendada por el comerciante la cual fue de 2.5 ml por litro de agua. La nutrición durante el desarrollo del cultivo se realizó con solución Steiner; en las primeras dos semanas se usó una solución al 25%, a la cuarta semana y con una altura de 50 cm de planta se aplicó la solución al 50%, por último, al trasplantarlas al suelo se aplicó al 75% y de manera moderada se subió al 100%.

3.3. Establecimiento de la colonia madre de *Tetranychus urticae*

Para establecer la colonia madre fue necesario obtener especímenes de campo. Para lo anterior se recolectaron adultos de *T. urticae* en cultivos establecidos dentro de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y que presentaban daños típicos de infestación por araña roja, principalmente pequeñas manchas cloróticas y presencia de telaraña. Para confirmar morfológicamente la especie, los especímenes recuperados fueron preparados en montajes permanentes y se examinaron con ayuda de un microscopio compuesto. La determinación taxonómica se realizó mediante las claves de Tuttle, Baker y Abbatiello (1978) y las claves

complementarias de Seeman y Beard (2011), lo que permitió verificar con exactitud la identidad de la especie.

3.3.1.-Identificación Morfológica

Para el montaje permanente en laminilla es necesario que los especímenes se sometan a un proceso de aclarado con lactofenol por 24-48 horas a 40°C. El tiempo de aclarado depende del grado de pigmentación del mismo, ya que el propósito de dicha metodología es eliminar la pigmentación del ácaro y se observen claramente las características morfológicas necesarias para su identificación.

Posteriormente se realizó el montaje de los ácaros en laminillas o portaobjetos. Para lo anterior se colocó una gota pequeña de líquido de Hoyer en el portaobjetos y con una minucia de .15 mm de diámetro se tomó un ácaro y se depositó en el medio de montaje. La posición de montaje de los ácaros depende del sexo de los especímenes. Los machos se colocan de forma lateral, con el gnatosoma en dirección al este o al oeste, lo anterior con la finalidad de observar el aedeago o aparato reproductor masculino, la característica morfológica clave para la identificación a nivel de especies; las hembras se colocan en posición dorso ventral, con el gnatosoma en dirección al norte. La identificación se realizó en un microscopio compuesto trilocular marca Leica DME con ayuda de las claves taxonómicas mencionadas con anterioridad.

Una vez confirmada la especie, se procedió al establecimiento de la colonia madre. Para ello, las hojas infestadas colectadas en campo se colocaron directamente sobre plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*). La colonia se mantuvo bajo condiciones controladas, con un fotoperiodo de 12:12 h luz/oscuridad y una temperatura constante de 26°C, las plantas se mantuvieron con riegos regulares y suministro de agua como única fuente de nutrición.

3.4. Cepas de hongos y purificación

Las cepas fúngicas empleadas en este estudio fueron proporcionadas por el Laboratorio de Control Biológico y Ecología ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. En cuanto a su origen, la cepa de *Purpureocillium lilacinum* fue obtenida a partir del aislamiento de material vegetal colectado en las instalaciones de la universidad. Por su parte, la cepa A de *Beauveria bassiana* se aisló de muestras de suelo provenientes del Municipio de

Galeana, Nuevo León, mientras que la cepa D de la misma especie se obtuvo a partir de insectos naturalmente infectados que fueron colectados en la Universidad.

3.5. Bio ensayos

3.5.1. Pruebas betas

Se realizaron pruebas beta con el propósito de evaluar la viabilidad del experimento. Para ello se empleó la técnica de hoja de arena descrita por Abousetta y Childers (1987), diseñada para optimizar la cría exitosa de ácaros. Esta metodología es de bajo costo, requiere un mantenimiento mínimo y permite monitorear de manera eficiente el comportamiento y desarrollo de los organismos.

Con base en esta técnica, se prepararon tres cajas de Petri de vidrio, en cuyo fondo se colocó una capa de algodón humedecido. Sobre el algodón se dispusieron círculos de papel filtro, previamente recortados y saturados con agua destilada. Se seleccionaron hojas sanas de frijol y se colocaron individualmente dentro de cada caja Petri. A continuación, se transfirieron cinco ácaros por hoja provenientes de la colonia madre, esto se realizó empleando un pincel fino para evitar cualquier daño físico a los especímenes durante la manipulación. Posteriormente, se aplicó una solución fúngica preparada a partir de las cepas a evaluar, lo anterior con el objetivo de confirmar la mortalidad de los ácaros y verificar la presencia de estructuras fúngicas sobre los cadáveres como evidencia del proceso de infección. Se monitorearon las unidades experimentales por un total de cinco días para ver la reacción y el comportamiento del hongo sobre el ácaro, al transcurrir los cinco días se encontraron especímenes con presencia de micelio en el cuerpo; al tener resultados satisfactorios se dio inicio con el experimento.

3.5.2.-Cohort de hembras

Para el experimento se generó una cohorte de hembras de la misma edad. Se prepararon 10 cajas Petri, cada una acondicionada con papel filtro, algodón humedecido y una hoja fresca de frijol. En cada caja se depositaron 100 hembras adultas, las cuales se dejaron ovopositar durante 24 horas. Transcurrido este periodo, las hembras fueron retiradas cuidadosamente, dejando únicamente los huevos en las hojas. Los huevos permanecieron en las cajas hasta su eclosión, y posteriormente se permitió el desarrollo de las larvas hasta alcanzar la etapa adulta.

Una vez que todas las crías llegaron a la edad adulta, se seleccionaron exclusivamente las hembras emergidas de esta cohorte, garantizando así la uniformidad de edad para su uso en el bioensayo.

3.5.3 Soluciones Fúngicas

Sucesivamente, se prepararon las soluciones fúngicas correspondientes a cada una de las cepas. El procedimiento inició con la preparación del coadyuvante, utilizando una dosis de 3 mL de agua para obtener la solución base. A continuación, y trabajando cerca del mechero para mantener condiciones asépticas, se realizaron raspados de micelio y esporas de cada cepa fúngica. Estos se incorporaron a la solución base y se agitaron hasta obtener una suspensión homogénea. Este procedimiento se repitió para las tres cepas utilizadas en el estudio, obteniéndose así las tres soluciones iniciales.

Posteriormente, con ayuda de una micropipeta, se tomó 1 microlitro de cada solución inicial y se depositó en una cámara de Neubauer con el fin de cuantificar el número total de esporas presentes en cada una de las suspensiones iniciales. A partir estas últimas, se prepararon cuatro concentraciones para cada una de las cepas fúngicas, siguiendo diluciones decimales sucesivas. Las concentraciones obtenidas fueron las siguientes:

Tabla 1 Cepas y tratamientos

Cepa / Tratamiento	C1	C2	C3	C4
<i>Beauveria bassiana</i> (B)	2.5×10^8	2.5×10^7	2.5×10^6	2.5×10^5
log ₁₀	8.39794	7.39794	6.39794	5.39794
<i>Beauveria bassiana</i> (A)	2×10^8	2×10^7	2×10^6	2×10^5
log ₁₀	8.30103	7.30103	6.30103	5.30103
<i>Purpureocillium lilacinum</i>	2×10^8	2×10^7	2×10^6	2×10^5
log ₁₀	8.30103	7.30103	6.30103	5.30103

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar debido a que se realizó bajo condiciones de laboratorio: 12:12 h luz/oscuridad, HR 70%. Se evaluaron tres tratamientos, cada tratamiento consistió de una cepa, a cada tratamiento se asignaron cinco repeticiones y cada repetición estuvo conformada por tres unidades experimentales (una unidad = una caja Petri/ hoja de arena). El total de los tratamientos evaluados fue de 45 unidades experimentales. Así mismo, se evaluó un testigo absoluto conformado por 30 unidades experimentales.

3.5.4 Corrección de mortalidad mediante el tratamiento testigo

Para cada una de las concentraciones evaluadas se registró el número de individuos muertos y el total expuesto a las 24, 48, 72 y 96 horas posteriores a la inoculación. Paralelamente se mantuvo un tratamiento testigo consistente en agua destilada estéril y el mismo coadyuvante utilizado en las soluciones experimentales, con el objetivo de cuantificar la mortalidad natural no atribuible al agente entomopatógeno.

La mortalidad observada en los tratamientos fue corregida en función de la mortalidad registrada en el testigo mediante la fórmula de Abbott (1925):

$$\text{Mortalidad corregida (\%)} = \frac{M_{\text{trat}} - M_{\text{testigo}}}{100 - M_{\text{testigo}}} \times 100$$

donde M_{trat} corresponde a la mortalidad porcentual observada en cada concentración y M_{testigo} representa la mortalidad porcentual registrada en el tratamiento control.

Las mortalidades corregidas fueron utilizadas como valores de respuesta en el análisis Concentración–Mortalidad, evitando así el uso directo del tratamiento testigo dentro del ajuste estadístico. Esta estrategia impide la doble contabilización del testigo, garantiza que la respuesta a dosis nula sea igual a 0 %, y permite modelar adecuadamente la relación entre concentración y mortalidad.

3.5.5 Ajuste del modelo dosis–respuesta

Para el ajuste de las curvas se empleó un modelo log-logístico de cuatro parámetros (LL.4) mediante el paquete *drc* en R. Dado que las mortalidades corregidas expresan porcentajes y el efecto esperado en ausencia del patógeno es 0 %, se fijaron los límites inferior y superior del modelo en 0 y 100, respectivamente, lo que permite que la curva tienda a 0 % de mortalidad a dosis muy bajas aun cuando la concentración 0 no puede representarse en escala logarítmica (\log_{10}). Este procedimiento asegura estimaciones estables de los parámetros de interés, particularmente las concentraciones letales medias (CL50).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 2 Valores de CL_{50} (Log_{10} conidios· mL^{-1}) estimados para las tres cepas evaluadas en cada tiempo de evaluación.

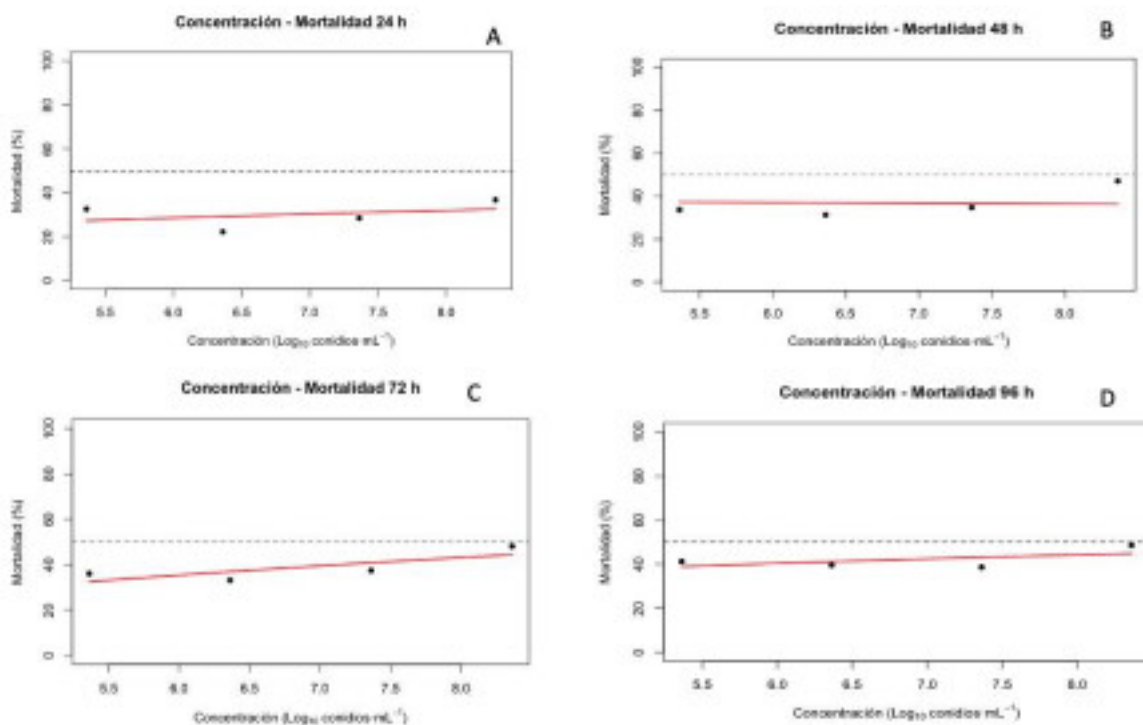
Tiempo (h)	<i>Purpureocillium lilacinum</i>	<i>Beauveria bassiana</i> A	<i>Beauveria bassiana</i> B
24 h	30.55 (NE)	14.72 (NE)	142.87 (NE)
48 h	0.025 (NE)	12.40	359.41 (NE)
72 h	10.23 *	9.47 ***	0.074 (NE)
96 h	12.26 (ns)	7.94 ***	27.56 (NE)
120 h	6.86 **	6.54 ***	23.46 (NE)
144 h	8.29 **	3.92 *	8.50 **

Notas: NE indica valores no estimables debido a falta de convergencia del modelo o a mortalidad insuficiente o irregular en los datos. Los asteriscos representan el nivel de significancia estadística del parámetro CL_{50} estimado por el modelo log-logístico: $p < 0.1$ (*), $p < 0.05$ (**), y $p < 0.01$ (***). Todos los valores se presentan en escala log_{10} , conforme a las estimaciones generadas mediante la función drm .

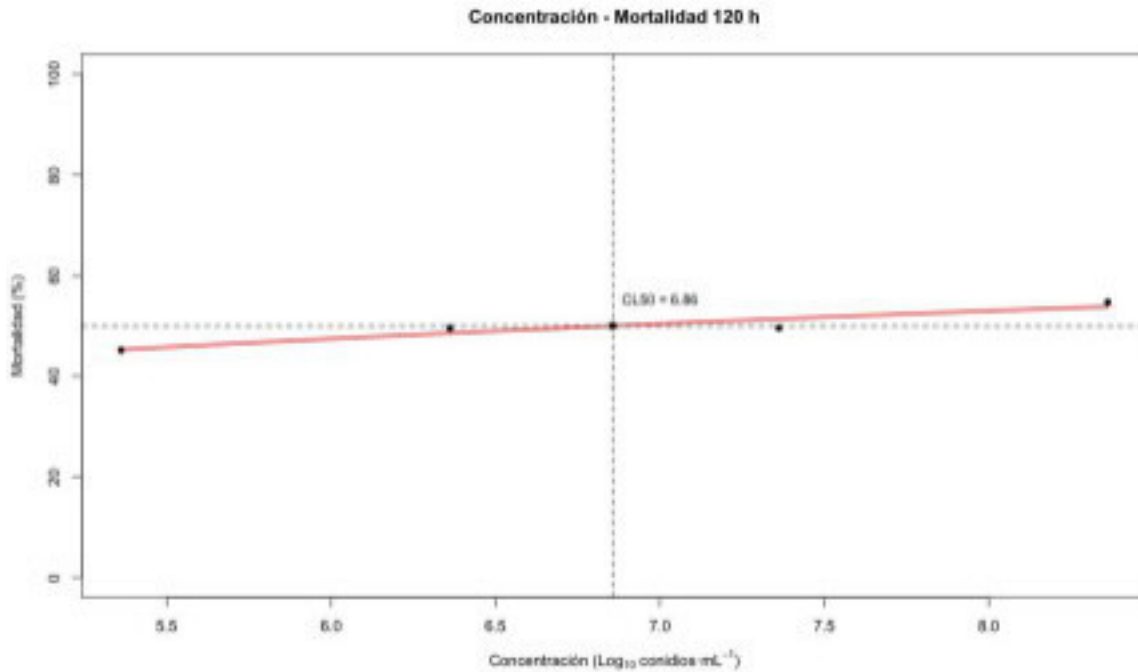
4.1 *Purpureocillium lilacinum*

Durante las primeras 24-48, el hongo mostró baja virulencia, lo anterior se reflejó en una CL_{50} extremadamente elevadas. A las 24 h, la CL_{50} estimada fue de 30.55 log_{10} conidios/mL, valor que indica ausencia de mortalidad suficiente para ajustar una curva confiable (Gráfica 1A). A las 48 h, aunque la CL_{50} fue cercana a cero, el modelo presentó alta variabilidad y ausencia de significancia estadística ($p > 0.05$) (Gráfica 1B). Los resultados indican que los modelos no son confiables. A las 72 y 96 h, la CL_{50} permaneció por encima de 10 log_{10} conidios/mL (10.23 y 12.26 respectivamente), lo que indica que no se alcanzó el 50 % de mortalidad en ninguna concentración probada, aunque la pendiente negativa sugiere una respuesta biológica parcialmente consistente con el aumento de dosis (Gráfica 1C-D). A partir de las 120 h, el aislamiento mostró un incremento claro en su eficacia. La CL_{50} a las 120 h fue de 6.86 log_{10} conidios/mL y resultó estadísticamente significativa ($p < 0.01$), lo que

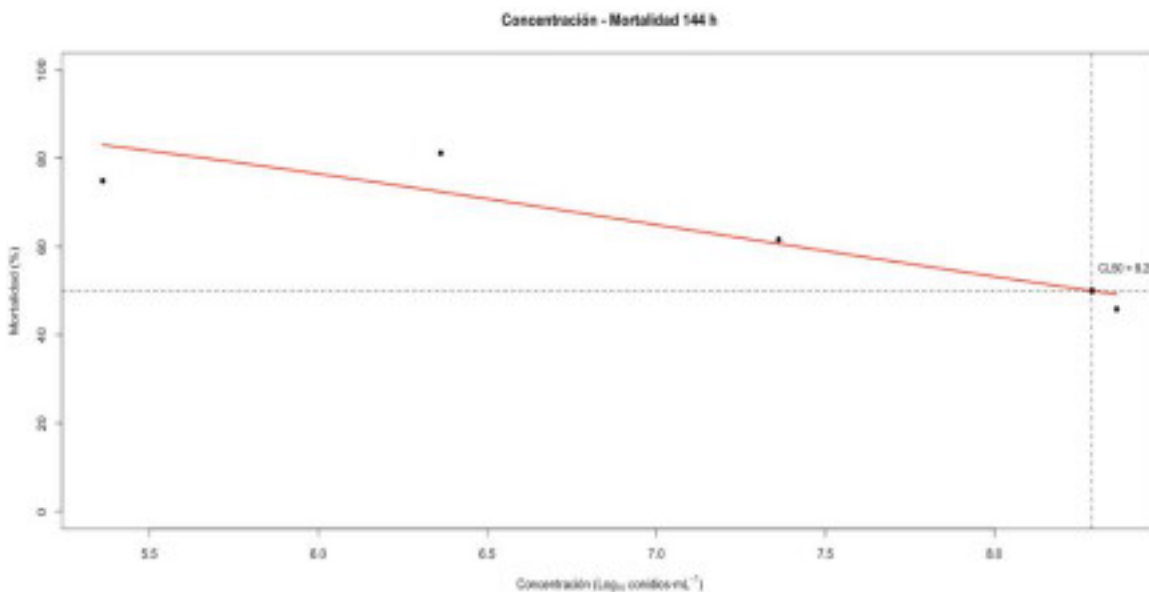
indica que la mortalidad aumentó lentamente, pero de manera consistente a través del tiempo (Gráfica 2). Para las 144 h, la CL50 se estimó en 8.29 log₁₀ conidios/mL, también significativa ($p < 0.01$) (Gráfica 3), confirmando que *P. lilacinum* produjo efectos letales principalmente en periodos prolongados de exposición. Los últimos dos modelos son confiables y precisos, esto sugiere que el organismo necesita más tiempo para manifestar un efecto dosis y respuesta de manera consistente, indica que la respuesta biológica al hongo se vuelve detectable y estadísticamente confiable únicamente después de las 120 horas de exposición. Estos resultados en conjunto muestran que *P. lilacinum* no presenta virulencia temprana, pero puede generar mortalidad relevante después de 5–6 días de exposición, lo cual concuerda con su uso común como agente de control biológico de acción lenta.



Gráfica 1. Relación concentración mortalidad de *Purpureocillium lilacinum* de las 24 a 96 horas. A-B) CL50 24 – 48 h muy superior al rango evaluado, no significativa. C-D) CL50 72-96 h cercana a las concentraciones evaluadas, sin embargo, no alcanzó el 50 % mortalidad en ninguna concentración probada.



Gráfica 2. Relación concentración mortalidad de *Purpureocillium lilacinum* a las 120 h. La cepa mostró un incremento claro en su eficacia. CL50 de 6.86 log₁₀ conidios/mL, estadísticamente significativa ($p < 0.01$). Lo que indica que la mortalidad aumentó lentamente, pero de manera consistente a través del tiempo.



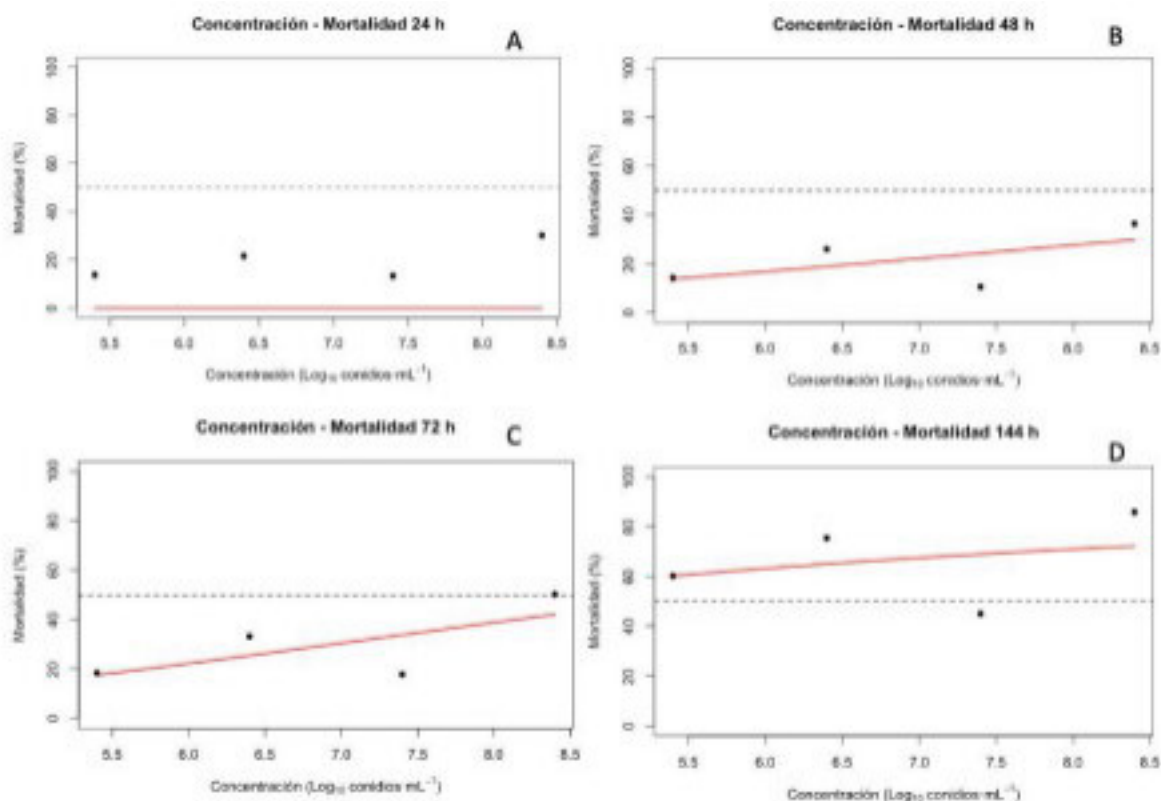
Gráfica 3. Relación concentración mortalidad de *Purpureocillium lilacinum* a las 144 h. CL50 en 8.29 log₁₀ conidios/mL, significativa ($p < 0.01$). *P. lilacinum* produjo efectos letales en periodos prolongados de exposición.

Los resultados obtenidos indican que *Purpureocillium lilacinum* ejerció su mayor efecto patogénico sobre los adultos entre el quinto y sexto día de evaluación, periodo en el cual se estimaron valores de CL_{50} de 1×10^6 (6.86 Log_{10}) y 1×10^8 (8.29 Log_{10}), respectivamente, ambos estadísticamente significativos. Hallazgos similares han sido reportados por Sanyaja *et al.* (2016), quienes documentaron que *P. lilacinum* presentó la CL_{50} más prolongada dentro de las cepas evaluadas, lo que los llevó a concluir que este hongo fue el menos virulento, alcanzando además una CL_{90} cercana a los 20 días en aplicaciones dirigidas a *Tetranychus kanzawai*. De manera consistente, Yesilayer (2018) observó que los efectos letales de *P. lilacinum* sobre *Tetranychus urticae* también se manifestaron a partir del quinto a séptimo día, con una CL_{50} de 1.6×10^8 (8.20 Log_{10}). En conjunto, estos estudios corroboran que la acción de *P. lilacinum* tiende a expresarse de forma más lenta y progresiva, especialmente cuando se compara con otros hongos entomopatógenos de mayor virulencia.

4.2 *Beauveria bassiana* A

Los valores estimados de CL_{50} mostraron una tendencia decreciente conforme avanzó el tiempo, lo que indica un incremento progresivo en la virulencia del hongo (Gráfica 4). Durante las primeras 24 h, la actividad fue limitada, con una CL_{50} estimada de 14.72 log_{10} conidios por mililitro, valor fuera del rango experimental, lo cual refleja que a este tiempo el hongo aún no generaba mortalidad suficiente dentro de las concentraciones probadas en el presente estudio. A las 48 h, la CL_{50} disminuyó a 12.40 log_{10} , siendo estadísticamente significativa ($p < 0.05$), lo que evidencia el inicio del efecto patogénico. A partir de las 72 h, el patógeno mostró una virulencia marcada, con una CL_{50} de 9.47 log_{10} ($p < 0.001$). Esta tendencia continuó a 96 h y 120 h, con CL_{50} de 7.94 y 6.54 log_{10} , respectivamente, ambas altamente significativas. Estos valores indican que *B. bassiana* A incrementó de forma consistente su eficacia conforme avanzó el tiempo pos infección. Finalmente, a las 144 h, la CL_{50} se estimó en 3.92 log_{10} conidios· mL^{-1} , el valor más bajo obtenido, lo que coincide con una mortalidad acumulada elevada y confirma que esta cepa ejerce un efecto letal progresivo y eficiente en periodos de exposición prolongados. En conjunto, los resultados indican que *B. bassiana* A presenta alta virulencia, con una clara relación dosis–respuesta observable desde las 48–72 h y con máxima eficacia entre las 96 y 144 h. La cepa A de *Beauveria bassiana* mostró un comportamiento característico de un patógeno de acción moderada, con un inicio de eficacia

claramente definido entre las 48 y 72 horas posteriores a la exposición. La disminución progresiva de los valores de CL_{50} a lo largo del tiempo (de 14.7 a 3.9) es un patrón esperado en cepas con alta capacidad infectiva, cuya acción entomopatógena se intensifica conforme avanza el proceso de colonización, penetración y desarrollo dentro del hospedero.

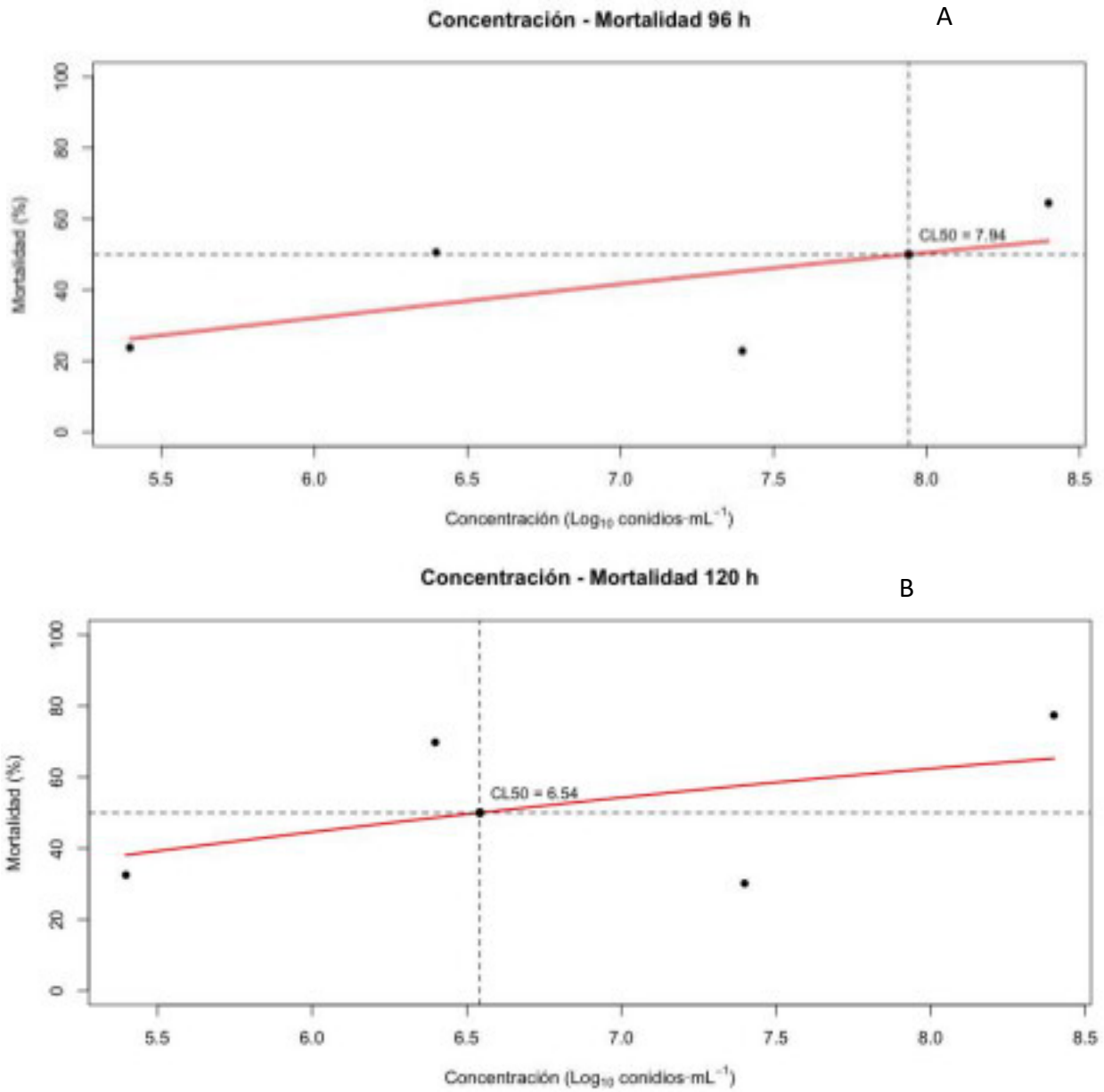


Gráfica 4. Relación concentración mortalidad de *Beauveria bassiana* A de las 24,48,72 y 144 h. CL_{50} cercana a las concentraciones evaluadas, sin embargo no alcanzó el 50 % de mortalidad en ninguna concentración probada.

La cepa A de *Beauveria bassiana* mostró un impacto significativo sobre los adultos de *Tetranychus urticae* entre el cuarto y quinto día de evaluación, periodo en el cual se estimaron valores de CL_{50} de 1×10^6 (6.54 Log₁₀) y 1×10^8 (7.94 Log₁₀) (Gráfica 5). Estos valores se consideran elevados dentro del rango de concentraciones evaluadas, lo que indica una respuesta biológica clara y dependiente del tiempo. Sin embargo, la cepa A perdió eficacia en el sexto día, sugiriendo que su acción patogénica presenta un pico relativamente temprano seguido de una disminución en el efecto residual. Resultados parcialmente similares fueron

reportados por Yesilayer (2018), quien, al trabajar con la misma especie hospedera y el mismo agente entomopatogeno, observó que las concentraciones más altas fueron las más efectivas entre el tercer y noveno día. No obstante, conforme avanzó el experimento, también detectó que dichas concentraciones perdieron paulatinamente su efecto patogénico, lo cual coincide con la tendencia observada en el presente estudio. De manera complementaria, Ullah y Lim (2015) demostraron en condiciones de laboratorio que la concentración de 1×10^8 (8 Log_{10}) esporas/mL fue la más efectiva para el control de *T. urticae*, y recomendaron dos aplicaciones con un intervalo de cinco días para maximizar la eficacia. En otro estudio, Gatarayiha et al. (2011) reportaron que una concentración aún mayor, 1.6×10^{12} (12.20 Log_{10}) conidios/mL, aplicada cada 1 a 2 semanas, generó un control significativo hacia la tercera y cuarta semana, destacando que la virulencia puede incrementarse notablemente con dosis elevadas y esquemas de aplicación repetida.

En conjunto, la evidencia sugiere que la cepa A de *B. bassiana* presenta un patrón de acción efectiva pero temporalmente acotada, que coincide con estudios previos donde la intensidad del control depende tanto de la concentración como de la frecuencia de aplicación.



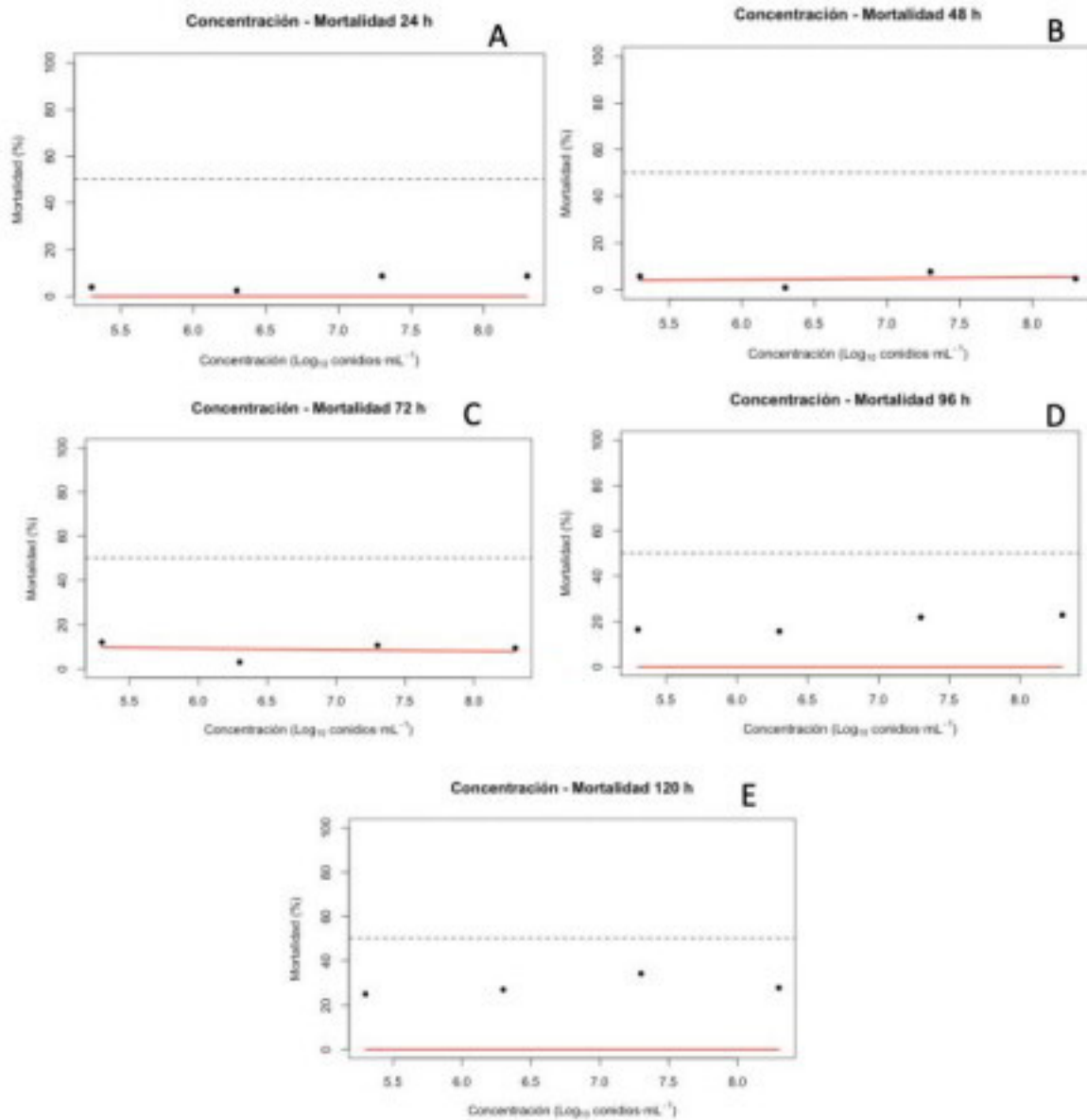
Gráfica 5. Relación concentración mortalidad de *Beauveria bassiana* A 96-120 h. CL₅₀ de 1×10^8 (7.94 Log₁₀) a las 96 h y 1×10^6 (6.54 Log₁₀) a las 120h . Valores elevados dentro del rango de concentraciones evaluadas, indicador de una respuesta biológica clara y dependiente del tiempo.

4.3 *Beauveria bassiana* B

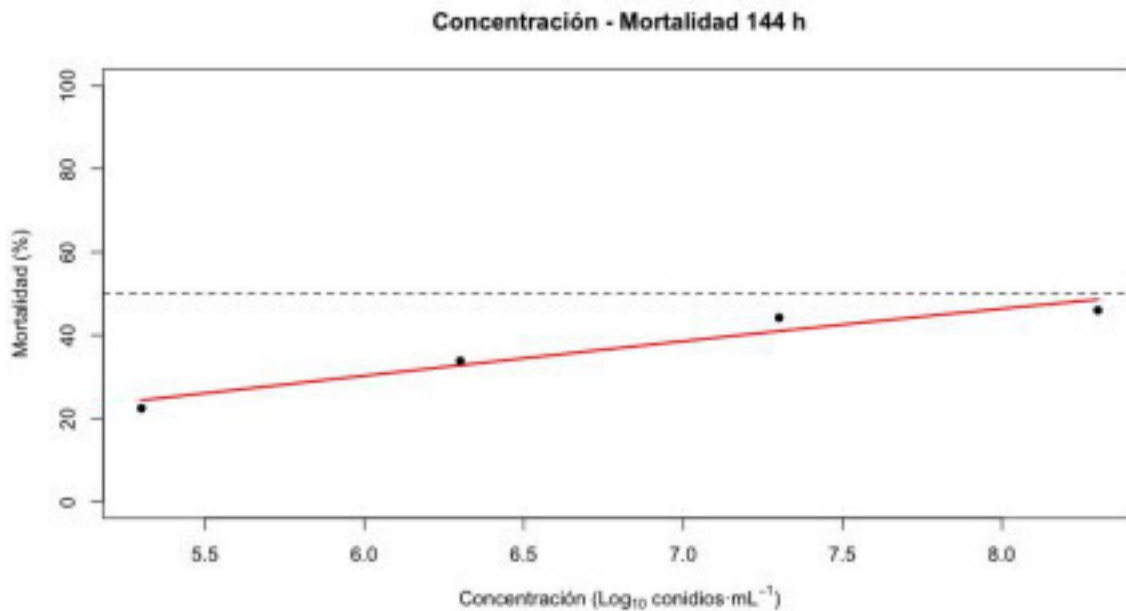
Los resultados obtenidos en el uso de esta cepa muestran variaciones importantes en la estabilidad de los parámetros y en la significancia estadística a lo largo del periodo evaluado. La estimación de las concentraciones letales medias (CL50) para *Beauveria bassiana* cepa B mostró patrones contrastantes respecto a las otras cepas evaluadas. Durante los primeros cinco periodos de evaluación (24–120 h), el modelo no logró converger adecuadamente, lo que se reflejó en errores numéricos, pendientes extremadamente altas o varianzas no estimables (Gráfica 6). Estos resultados sugieren que la cepa B produjo mortalidad mínima o nula, sin una relación dosis–respuesta clara. A las 24 h, el modelo arrojó una CL50 de 142.87 \log_{10} conidios·mL⁻¹, valor interpretablemente alto que indica ausencia completa de efecto patogénico. A las 48 y 72 h, las CL50 estimadas (359.40 y 0.07 \log_{10} , respectivamente) tampoco fueron significativas, y los errores estándar elevados señalan inestabilidad en el ajuste del modelo. Los análisis de 96 y 120 h tampoco produjeron estimaciones confiables debido a la falta de variabilidad asociada con la mortalidad observada.

Contrario a los tiempos anteriores, a las 144 h el modelo fue estable y estadísticamente significativo (Gráfica 7). La cepa B presentó una CL50 de 8.50 \log_{10} conidios·mL⁻¹ ($p = 0.0024$), acompañada de una pendiente negativa significativa ($p = 0.0347$), lo que indica que la mortalidad se incrementó de manera dependiente de la concentración únicamente en el periodo tardío. Estos resultados sugieren que *B. bassiana* cepa B posee baja virulencia y requiere periodos prolongados de exposición para generar efectos letales detectables en *Tetranychus urticae*.

La cepa B de *Beauveria bassiana* se identificó como la menos virulenta de todo el estudio. Entre las 24 y 120 h, la mortalidad no mostró una respuesta clara a la dosis, un patrón típico de cepas con baja patogenicidad o escasa adaptación al hospedero, lo que impidió la estimación confiable de valores de CL₅₀ durante este intervalo. Solo fue posible calcular una CL₅₀ válida a las 144 h, lo cual evidencia una acción marcadamente lenta y un desempeño biológico limitado frente al ácaro evaluado.



Gráfica 6. Relación concentración mortalidad de *Beauveria bassiana* B a las 24-120 h. La cepa no generó un patrón claro de respuesta a la dosis, lo que resultó en modelos inestables y estimaciones de CL₅₀ no confiables en los periodos evaluados (24–120 h).



Gráfica 7. Relación concentración mortalidad de *Beauveria bassiana* B a las 144 h. En el periodo tardío, el modelo fue estable y estadísticamente significativo. La cepa presentó una CL_{50} de $8.50 \log_{10}$ conidios·mL⁻¹ ($p = 0.0024$), indicando que la mortalidad incrementó de forma dependiente de la concentración únicamente en esta etapa.

4.4 Análisis de Patogenicidad de las Cepas

Para evaluar de manera integral la patogenicidad de las cepas *Purpureocillium lilacinum*, *Beauveria bassiana* A y *Beauveria bassiana* B, se emplearon dos enfoques estadísticos complementarios basados en modelos dosis–respuesta. En primera instancia, se aplicó un ANOVA de modelos no lineales (Nonlinear Model ANOVA), el cual permite determinar si las cepas comparten una misma estructura concentración–mortalidad (los efectos de las cepas son iguales) o si presentan patrones de respuesta diferenciados que requieren ajustes independientes (el efecto de las cepas es diferente). Este procedimiento evalúa la equivalencia global de las curvas, considerando si su forma, pendiente y potencia describen un comportamiento común o si, por el contrario, reflejan dinámicas infecciosas distintas. Posteriormente, se utilizó la Prueba de Razón de Concentración Letal (LC_{50} Ratio Test), que se enfoca en la comparación puntual de la potencia relativa entre cepas mediante la estimación y contraste de las CL_{50} , permitiendo identificar diferencias en la cantidad de conidios necesaria para alcanzar el 50% de mortalidad. Mientras el ANOVA caracteriza posibles divergencias a

nivel de toda la curva concentración–mortalidad, el Ratio Test se centra en la variación en la concentración crítica requerida para inducir un efecto biológico específico. La combinación de ambos métodos proporciona una evaluación robusta y complementaria de la patogenicidad diferencial, al distinguir entre diferencias estructurales en la respuesta dosis–dependiente y contrastes puntuales en la eficacia biológica.

La comparación estadística de las curvas concentración–mortalidad mediante un ANOVA de modelos no lineales (Nonlinear Model ANOVA), contrastando dos estructuras de ajuste: un modelo reducido, en el que todas las cepas comparten una misma curva concentración–mortalidad, y un modelo completo, en el que cada cepa posee parámetros independientes para describir su relación concentración–mortalidad. Este procedimiento permite evaluar si la inclusión de curvas diferenciadas mejora significativamente el ajuste del modelo. En términos prácticos, el análisis contrasta el error del modelo reducido con el error del modelo completo; cuando el segundo muestra una reducción significativa del residuo ($p < 0.05$), se concluye que las cepas difieren en su comportamiento dosis–dependiente. Cuando el modelo reducido es suficiente, significa que todas las cepas pueden describirse mediante una sola curva concentración–mortalidad, lo cual indica que la pendiente, la potencia y la forma general de la relación concentración–mortalidad son estadísticamente equivalentes, reflejando un comportamiento similar en virulencia aparente. Por el contrario, cuando el modelo completo es significativamente superior, cada cepa requiere su propio modelo, lo que implica diferencias en uno o varios parámetros de la curva (pendiente, CL50) y evidencia que la dosis afecta de manera distinta a cada una, reflejando variaciones biológicas en su dinámica de infección y eficacia patogénica. La comparación de las curvas dosis–respuesta entre *Purpureocillium lilacinum*, *Beauveria bassiana* A y *Beauveria bassiana* B mostró patrones contrastantes a lo largo del bioensayo. A las 24, 96 y 120 horas no se detectaron diferencias significativas entre las curvas de las tres cepas ($p = 1.00$ en todos los casos), lo que indica que, en estos periodos, la relación entre la concentración aplicada y la mortalidad registrada fue estadísticamente similar. Esto sugiere que, durante las primeras etapas del bioensayo y también en la fase cercana a la estabilización de la mortalidad, las cepas muestran un comportamiento equivalente en términos de virulencia aparente y responden de forma similar al incremento en la dosis del agente entomopatógeno. En contraste, a las 48 horas ($F = 6.62$; $p = 0.0217$) y 72 horas ($F = 5.36$; $p = 0.0349$) se observaron diferencias significativas entre las

curvas de las cepas evaluadas. Esto indica que, en la fase intermedia del experimento, las cepas presentan una divergencia clara en su desempeño patogénico, reflejando variaciones en su velocidad de acción, capacidad infectiva o cinética de mortalidad. Finalmente, a las 144 horas se observó una tendencia a la diferenciación entre las curvas ($F = 4.22$; $p = 0.0580$); aunque este valor no alcanza el criterio de significancia estadística convencional, sugiere una posible divergencia tardía en la respuesta dosis-dependiente, posiblemente asociada a diferencias en persistencia, colonización o comportamiento fisiológico entre los hongos entomopatógenos evaluados.

Tabla 3. Comparación de las curvas concentración–mortalidad entre *Purpureocillium lilacinum* y las cepas A-B de *Beauveria bassiana* mediante ANOVA de modelos no lineales (LL.4).

Tiempo (h)	F	p	Conclusión
24	-0.4506	1.0000	No hay diferencias entre cepas
48	6.6202	0.0217	Diferencias significativas entre cepas
72	5.3637	0.0349	Diferencias significativas entre cepas
96	-0.0429	1.0000	No hay diferencias entre cepas
120	-0.5650	1.0000	No hay diferencias entre cepas
144	4.2196	0.0580	Tendencia a diferencia ($p \approx 0.06$)

Nota: El valor de F corresponde a la prueba estadística empleada para obtener el p -valor. Valores de $p < 0.05$ indican diferencias significativas entre las curvas dosis–respuesta, mientras que valores de $p \geq 0.05$ y hasta 1.00 se consideran no significativos. Los análisis se realizaron en R utilizando el paquete **drc**, y los valores de F y p provienen del ANOVA de modelos no lineales aplicado a curvas log-logísticas de cuatro parámetros (LL.4).

Posteriormente se llevó a cabo la comparación de la patogenicidad entre las cepas evaluadas, para la cual se empleó la Prueba de Razón de Concentración Letal (Lethal Concentration Ratio Test), de acuerdo con la metodología propuesta por Robertson et al. (2007). Este método permite cuantificar si una cepa requiere una mayor o menor concentración para causar el 50% de mortalidad en el organismo hospedero, lo cual constituye un indicador directo de su

capacidad patogénica. El procedimiento consiste en estimar la CL_{50} de cada cepa mediante modelos log-logísticos y, posteriormente, calcular el cociente entre dos CL_{50} junto con su intervalo de confianza al 95%. La interpretación estadística se basa en la inclusión o exclusión del valor 1 dentro de dicho intervalo: cuando el intervalo de confianza completo es menor que 1, la cepa situada en el numerador presenta una CL_{50} significativamente menor y, por lo tanto, es más patogénica; cuando el intervalo es mayor que 1, la mayor patogenicidad corresponde a la cepa en el denominador. Si el intervalo incluye el valor 1, se considera que no existen diferencias significativas entre las cepas comparadas. Este enfoque es robusto, no depende de supuestos distribucionales estrictos y permite establecer comparaciones directas y objetivas entre tratamientos, constituyendo una herramienta esencial para la evaluación cuantitativa de agentes de control biológico. La comparación de la patogenicidad de las cepas *Beauveria A*, *Beauveria B* y *Purpureocillium*, realizada mediante el Lethal Concentration Ratio Test (LC_{50} Ratio Test), permitió identificar patrones temporales en la expresión de su actividad biológica. Durante las primeras 24 h del bioensayo, la mortalidad registrada fue insuficiente para estimar de manera confiable las CL_{50} , lo que refleja una fase inicial del proceso infeccioso en la que ninguna de las cepas manifestó un efecto patogénico claramente diferenciable. A las 48 h, las curvas dosis–respuesta permitieron estimar las CL_{50} para las tres cepas; sin embargo, únicamente la comparación entre *Beauveria A* y *Beauveria B* mostró un intervalo de confianza de la razón completamente inferior a 1. Este resultado indica que *Beauveria A* presentó una mayor patogenicidad en este intervalo temporal, al requerir una concentración significativamente menor para inducir el 50% de mortalidad. Este incremento temprano en la eficacia podría estar asociado con diferencias en la velocidad de germinación, adhesión o penetración entre ambas cepas. A las 72 h se observó un segundo punto de divergencia biológica: *Beauveria B* mostró una CL_{50} significativamente menor que *Purpureocillium*, lo que evidencia que la cepa B exhibió una mayor patogenicidad durante esta fase intermedia del proceso infeccioso. La expresión diferencial en este punto sugiere que *Purpureocillium* posee una cinética de acción relativamente más lenta, alcanzando niveles de patogenicidad comparables a los de *Beauveria* solo en tiempos posteriores. No obstante, es importante señalar que ninguna otra comparación en este ni en los tiempos subsecuentes (96, 120 y 144 h) mostró diferencias significativas, aun cuando en algunos casos las CL_{50} pudieron ser estimadas.

En estos periodos, los intervalos de confianza incluyeron el valor 1, lo que indica que las cepas presentan un desempeño patogénico estadísticamente equivalente.

En conjunto, los resultados sugieren que las diferencias en patogenicidad entre las cepas evaluadas no son constantes a lo largo del tiempo, sino que se manifiestan de manera transitoria y en momentos específicos del proceso infeccioso. Este patrón temporal refuerza la necesidad de evaluar la patogenicidad en múltiples intervalos, ya que la dinámica de infección de los hongos entomopatógenos puede presentar fases diferenciadas en la expresión de su virulencia. Asimismo, la ausencia de diferencias significativas en los tiempos tardíos sugiere que, bajo las condiciones del bioensayo, ninguna cepa mantuvo una ventaja sostenida a lo largo de todo el período de evaluación, lo que sugiere que su desempeño patogénico global es comparable, aunque con fases puntuales en las que una u otra cepa exhibe mayor potencia biológica.

La comparación conjunta del ANOVA de modelos no lineales y del LC_{50} Ratio Test permitió obtener una visión consistente y complementaria sobre la patogenicidad de las cepas evaluadas. En ambos casos, los patrones estadísticos coincidieron de manera clara, los intervalos de 48 y 72 h representaron los momentos en los que se detectaron diferencias biológicamente relevantes entre cepas. El ANOVA reveló divergencias significativas en la forma global de las curvas concentración–mortalidad, y estos mismos intervalos temporales fueron también aquellos en los que el LC_{50} Ratio Test indicó diferencias en la potencia relativa, evidenciadas por razones de CL_{50} con intervalos de confianza que no incluían el valor 1. Esta concordancia sugiere que, durante la fase intermedia del proceso infeccioso, las cepas expresan dinámicas patogénicas diferenciadas tanto en su estructura concentración–mortalidad como en la concentración requerida para inducir el 50% de mortalidad. En contraste, en los tiempos de 24, 96, 120 y 144 h, ninguno de los dos métodos detectó diferencias significativas: el ANOVA mostró curvas estadísticamente equivalentes y el Ratio Test arrojó razones de CL_{50} cuyos intervalos incluían la unidad, indicando equivalencia en la potencia biológica. La correspondencia entre ambos enfoques refuerza la robustez de los resultados y confirma que las diferencias entre cepas son transitorias y se manifiestan únicamente en periodos específicos del proceso infeccioso, mientras que en el resto del bioensayo su desempeño patogénico es estadísticamente comparable.

4.5 Efecto de las cepas en *T. urticae*

4.5.1 *Beauveria bassiana*

A lo largo del experimento se mostraron individuos infectados con presencia de micelio (figura 1). Los individuos presentaron una muscardina blanca que cubrió por completo el cuerpo del individuo (figura 1B), efecto causado por el agente entomopatógeno (*Beauveria bassiana*) que produce micelio y conidios (esporas). Posteriormente, se realizaron montajes de los cadáveres, en los cuales se pudieron apreciar que los individuos presentaron ruptura de la cutícula, por consecuencia, se logró apreciar la emergencia de esporas y micelio provenientes de la parte interna del ácaro (figura 2).

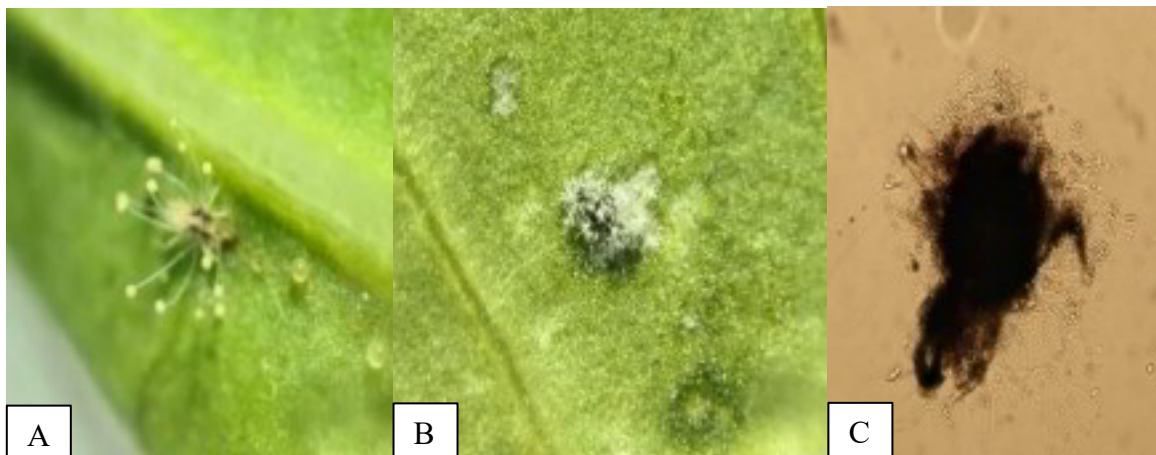


Figura 1. A) Ácaro micosado. B) Presencia de muscardina blanca. C) Ácaro observado en microscopio.

4.5.2 *Purpureocillium lilacinum*

La infección a causa de *Purpureocillium lilacinum* ocasionó que los individuos contaran con la presencia de micelio (figura 2). Se realizaron montajes de los cadáveres infectados, en los cuales se pudieron observar la emergencia de micelio y esporas de la cutícula del ácaro (figura 2 B). Continuamente, se observó la infección del micelio dentro del cuerpo del ácaro (figura 2 C).

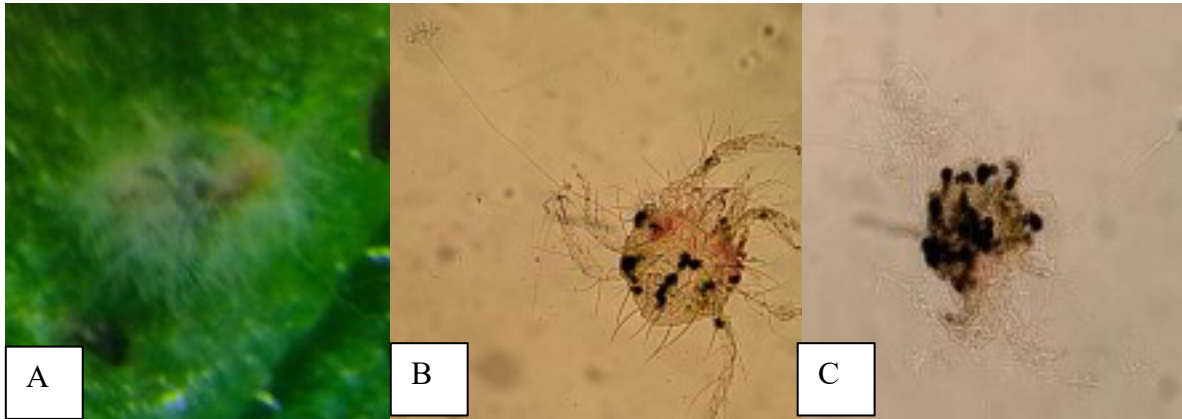


Figura 2. A) Ácaro micosado. B) Estructura saliente del ácaro. C) Micelio dentro del ácaro.

5. CONCLUSIÓN

Los resultados de este estudio demostraron que la patogenicidad de *Purpureocillium lilacinum* y de las dos cepas de *Beauveria bassiana* sobre hembras adultas de *Tetranychus urticae* depende fuertemente del tiempo de exposición y que cada aislamiento presenta una dinámica de infección particular. En términos generales, los hongos no manifestaron virulencia temprana, lo que confirma que su acción inicial es limitada y que la progresión del proceso infeccioso requiere varias horas para expresarse de manera detectable.

Purpureocillium lilacinum mostró un comportamiento característico de un agente de control biológico de acción lenta, expresando su efecto letal únicamente en periodos prolongados, lo que coincide con su uso tradicional como patógeno de impacto gradual. *Beauveria bassiana* cepa A evidenció una capacidad patogénica progresiva y consistente, con incremento claro en su eficacia conforme avanzó el tiempo, lo que la identifica como un aislamiento con buena adaptación al hospedero y con un desempeño más eficiente dentro del rango evaluado. En contraste, la cepa B de *B. bassiana* presentó una virulencia limitada y una expresión tardía de su efecto, lo que sugiere baja afinidad o menor capacidad infectiva frente a *T. urticae*.

Los análisis estadísticos confirmaron que las diferencias entre cepas fueron momentáneas y no constantes, manifestándose únicamente en puntos específicos del bioensayo, lo cual indica que la potencia patogénica de los hongos entomopatógenos puede variar a lo largo del proceso infeccioso y no debe evaluarse en un solo tiempo. Asimismo, los modelos dosis–respuesta demostraron ser herramientas confiables para describir la cinética de mortalidad y para identificar los momentos en los que se expresa con mayor claridad la actividad biológica de cada aislamiento.

En conjunto, estos hallazgos permiten concluir que al menos una de las cepas evaluadas mostró mayor patogenicidad al requerir una menor concentración para inducir el 50 % de mortalidad, y que la eficacia de los hongos entomopatógenos frente a *T. urticae* está estrechamente vinculada a la combinación entre concentración aplicada y tiempo de exposición. Esto respalda su posible integración dentro de programas de manejo integrado de

plagas, siempre que se consideren sus diferencias en velocidad de acción y su naturaleza dependiente del tiempo.

6. BIBLIOGRAFIA CITADA

- Abou-Setta, M. M., & Childers, C. C. (1987). A modified leaf arena technique for rearing phytoseiid or tetranychid mites for biological studies. *Florida Entomologist*, 245-248.
- Acuña, P. M. A. R., Arreaza, B. M. N., Herrera, R. E. R. M., Yopez, P. I. T., & Villafuerte, S. L. P. (2022). Biología del ácaro *Tetranychus urticae* y su control utilizando canela, en plantas de *Rosa* spp. *Revista Espamciencia*, 13(2), 34-39.
- Aguirre Hernández, R. L. (2018). *Crecimiento, morfología floral y expresión sexual de genotipos no comerciales y comerciales de papaya (Carica papaya L.)* (Master's thesis).
- Alfaro Valle, E. (2019). *Susceptibilidad de Tetranychus merganser (Acari: Tetranychidae) a cepas de hongos entomopatógenos. Evaluación para su uso potencial como control biológico en el cultivo de papaya (Carica papaya)* (Master's thesis).
- Allan, P. (2000, November). *Carica papaya* responses under cool subtropical growth conditions. In *International Symposium on Tropical and Subtropical Fruits* 575 (pp. 757-763).
- Calderón Rivera, G., & Cepeda, R. (1996). *Control de enfermedades y plagas en melón y la papaya*. <https://repository.agrosavia.co/server/api/core/bitstreams/6250044d-0acb-4bfa-b396-3beff4727224/content>
- Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024). *Avance de siembras y cosechas*. https://nube.agricultura.gob.mx/avance_agricola/
- Espinel Correal, Carlos Torres Torres, Lissette Aracelly Villamizar Rivero, Laura Fernanda Bustillo Pardey, Alex Enrique Zuluaga Mogollón, María Victoria Cotes Prado, Alba Marina. *Hongos entomopatógenos en el control biológico de insectos plaga*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/34071>
- Fernández Junco, M. D. L. Á. (2022). *Tefritidos (Diptera, Tephritidae): taxonomía, daños y manejo ecológico de un complejo de fitófagos de interés para la agricultura sostenible* (Doctoral dissertation, Universidad de Matanzas. Facultad de Ciencias Agropecuarias).
- Ferragut, F. J., & Olmos, S. L. (2019). Control biológico de ácaros tetránquidos en cítricos: fortalezas y debilidades. *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal*,(310), 56-60.
- Finalé, Y. D., Lagos, T. T., & Quintero, R. L. (2018). Efecto acaricida de tres hongos entomopatógenos sobre *Tetranychus tumidus* Banks (Acari: Tetranychidae) en condiciones in vitro. *Fitosanidad*, 22(1), 47-56.
- Fitch, M. M. (2020). 6.1 *Carica papaya* Papaya. *Biotechnology of fruit and nut crops*.

- Gatarayihá, M. C., Laing, M. D., & Miller, R. M. (2011). Field evaluation of *Beauveria bassiana* efficacy for the control of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Journal of Applied Entomology*, 135(8), 582-592.
- Gonzalo Calderón R., Rodolfo Cepeda V. (2008). CONTROL DE PLAGAS LA PAPAYA. En D. d. ICA, *CONTROL DE PLAGAS MELON Y PAPAYA* (págs. 20-22). Colombia: PM.
- Guédez, C., Castillo, C., Cañizales, L., & Olivar, R. (2008). Control biológico: una herramienta para el desarrollo sustentable y sostenible. *Academia*, 7(13), 50-74.
- Gugole Ottaviano, M. F. (2013). *Manejo Integrado de la plaga Tetranychus urticae (Acari: Tetranychidae) en cultivos de frutilla del Cinturón Hortícola Platense* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- Guzmán, E., Gómez, R., Pohlan, H. A., Álvarez, J. C., Pat, J. M., & Geissen, V. (2008). La producción de papaya en Tabasco y los retos del desarrollo sustentable. *El cotidiano*, (147), 99-106.
- Hernández Salinas, G. (2013). *Diversidad morfológica de accesiones de papayo (Carica papaya L) provenientes de tres estados de México* (Master's thesis).
- Iraola, V. (1998). Introducción a los ácaros (I): Descripción general y principales grupos. *Bol. SEA*, 23, 13-19.
- Jiménez, V. M., Mora-Newcomer, E., & Gutiérrez-Soto, M. V. (2013). Biology of the papaya plant. In *Genetics and genomics of papaya* (pp. 17-33). New York, NY: Springer New York.
- Kasap, I. (2002). Estudios de laboratorio del ácaro araña de dos manchas, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae); su biología y ciclo de vida en diferentes huéspedes. *REVISTA ENTOMOLOGIA TURCA*, 26(4), 257-266.
- Kaur, N. (2014). Biology of *Tetranychus urticae* Koch and seasonal incidence of mites infesting citrus. *Entomology. College of Agriculture, Punjab Agricultural University, Ludhiana, India*.
- Krantz, G.W., and Walter, D.E. (2009). *A Manual of Acarology*, 3rd ed. Texas Tech University Press.
- León Martínez, G. A., & Acosta Enciso, N. (2003). *Enfermedades y plagas de la papaya*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA. Recuperado de <https://repository.agrosavia.co/server/api/core/bitstreams/2de36bc0-3b08-4973-b0c4-6ac102a0de06/content>
- Mandujano, R. A. (1993). *El papayo*. AGROFRUT S. A. de C. V. México, D. F., México. 37 p.
- Mena, Y., Salinas, I., Hueso, J. J., & Cuevas, J. (2019, mayo). Incidencia de la araña roja *Tetranychus urticae* Koch en plantaciones de papaya del sureste de España y sus enemigos naturales. *PHYTOMA – España*, (309).
- Ming, R., Yu, Q., & Moore, P. H. (2007, June). Sex determination in papaya. In *Seminars in cell & developmental biology* (Vol. 18, No. 3, pp. 401-408). Academic Press.
- Motta-Delgado, P. A., & Murcia-Ordoñez, B. (2011). Hongos entomopatógenos como alternativa para el control biológico de plagas. *Ambiente & Agua-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 6(2), 77-90.

- Mullen, G. R., & O'Connor, B. M. (2019). Mites (Acari). En G. R. Mullen & L. A. Durden (Eds.), *Medical and veterinary entomology* (2a ed., pp. 533–602). Academic Press.
- NAPPO. (2014). *PD 03: Identificación morfológica de las arañas rojas (Tetranychidae) que afectan a las frutas importadas*. Secretaría de la Organización Norteamericana de Protección a las Plantas. Recuperado de https://nappo.org/application/files/6015/9353/4536/DP_03Tetranychidae-s.pdf
- Ochoa, R., Aguilar, H., & Vargas, C. (1991). *Ácaros fitófagos de América Central. Guía ilustrada*. CATIE, Turrialba, CR. 251 p.
- Pacheco Hernández, M., Reséndiz Martínez, J., & Arriola Padilla, V. J. (2019). Organismos entomopatógenos como control biológico en los sectores agropecuario y forestal de México: una revisión. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 10(56), 4-32.
- Páez, A., & Camelo, R. (2022). Insectos en la Agricultura. *Insectos en la comunidad Misak: Resguardo de Guambia, Cauca, Colombia*, 94-101.
- Pradhan, S., Goswami, A. K., Singh, S. K., Prakash, J., Goswami, S., Chinnusamy, V., ... & Maurya, N. K. (2019). Low temperature stress induced physiological and biochemical alterations in papaya genotypes. *South African Journal of Botany*, 123, 133-141.
- Quinchori, P., & Andy, J. Efecto de entomopatógenos en el control de ácaros (*Oligonychus* sp.) en el cultivo de palto (*Persea americana* Mill) en CIFO-UNHEVAL, 2018.
- Ruano, R. J. (2012). *Comparación económica de control biológico vs. control químico de el ácaro Tetranychus urticae en el cultivo de chile en Comayagua, Honduras* (Doctoral dissertation, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2012.).
- SAGARPA. (2017). *Papaya mexicana*. Planeación Agrícola Nacional, 1–10.
- Sanjaya, Y. (2016). Patogenicidad de tres hongos entomopatógenos, *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana* y *Paecilomyces lilacinus*, a *Tetranychus kanzawai* infestando las plántulas de papaya. *Artrópodos*, 5(3), 109.
- Santizo, M. H. L. C., & López, A. B. C. (2024). *Efecto de hongos entomopatógenos y combinación para control de ácaros en Abeja Europea, San Marcos, Guatemala*. Centro Universitario de Occidente, Universidad de San Carlos de Guatemala. <https://cyt.cunoc.edu.gt/articulos/18eaadd21d03fcc7fba678bc3096c6936be8d9aa.pdf>
- Secretaría de Economía. (2024). Papayas, frescas. Data México. <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/product/papayas-fresh>
- Seeman, O. D., & Beard, J. J. (2011). Identification of exotic pest and Australian native and naturalised species of *Tetranychus* (Acari: Tetranychidae). *Zootaxa*, 2961(1), 1-72.
- Sharkey, E. R., Beaulieu, F., Moore, M. R., & Bolton, S. J. (2022). Morphological and molecular data reveal the conspecificity of the spider mites *Tetranychus gloveri* and *T. okinawanus* (Acari: Trombidiformes: Tetranychidae). *Systematic and Applied Acarology*, 27(2), 250-268.
- Sivakumar, D., & Wall, M. M. (2013). Papaya fruit quality management during the postharvest supply chain. *Food Reviews International*, 29(1), 24-48.

- Soto, G. A., & Retana, A. P. (2003). Clave ilustrada para los géneros de Thysanoptera y especies de Frankliniella presentes en cuatro zonas hortícolas en Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 27(2), 55-68.
- Tangarife García, N. S. (2021). Control biológico, la nueva era de la agricultura.
- Tehri, K. (2014). A review on reproductive strategies in two spotted spider mite, Tetranychus urticae Koch 1836 (Acari: Tetranychidae). *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2(5), 35-39.
- Téllez-Jurado, A., Cruz Ramírez, M. G., Mercado Flores, Y., Asaff Torres, A., & Arana-Cuenca, A. (2009). Mecanismos de acción y respuesta en la relación de hongos entomopatógenos e insectos. *Revista mexicana de micología*, 30, 73-80.
- Torres, R. (1976). Agrosavia. Recuperado el 2025 de noviembre de 11, de Agrosavia: <https://repository.agrosavia.co/server/api/core/bitstreams/08b67525-9539-44bf-8c26-5adabede52de/content>
- Tuttle, D. M., Baker, E. W., & Abbatiello, M. J. (1976). Spider mites of Mexico (Acari: Tetranychidae). *International Journal of Acarology*, 2(2), 1-102.
- Ullah, M. S., & Lim, U. T. (2015). Bioensayo de laboratorio de Beauveria bassiana contra Tetranychus urticae (Acari: Tetranychidae) en discos de hojas y plantas de frijol en maceta. *Acarología experimental y aplicada*, 65(3), 307-318.
- Van Leeuwen, T., Vontas, J., Tsagkarakou, A., Dermauw, W., & Tirry, L. (2010). Acaricide resistance mechanisms in the two-spotted spider mite Tetranychus urticae and other important Acari: a review. *Insect biochemistry and molecular biology*, 40(8), 563-572.
- Vázquez Alfaro, M., Cisneros Saguilán, P., Velasco Galeana, B. R., Hernández Bernardino, A. A., & Antonio Méndez, (2023). Social and Economic Analysis of the Production of Maradol Papaya (Carica papaya L.): Case study in the coast of Oaxaca, Mexico. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v16i4.2473>
- Veronica Cañedo, T. A. (2004). *Manual de Laboratorio para el manejo de hongos entomopatógenos*. CIP: Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú, 62 p.
- Vijay Yogiraj, V. Y., Goyal, P. K., Chauhan, C. S., Goyal, A., & Vyas, B. (2014). Carica papaya Linn: An Overview. *International Journal of Herbal Medicine*.
- Villabona, D. A., Barrera, A., García, A. H., Rodríguez, A. B., & Rincón, F. C. (2008). Evaluación de la Efectividad de Dos Hongos Entomopatógenos y Un Extracto Vegetal, para el Control de Tetranychus urticae, en Condiciones de Laboratorio. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 4(1-2), 62-69.
- Villanueva-Jiménez, J. A., Otero-Colina, G., Abato-Zárate, M., & Beristain-Moreno, M. E. ¿ QUÉ SABEMOS DE LAS PLAGAS DEL PAPAYO EN MÉXICO?. *Entomología Aplicada*.
- Yeşilayer, A. (2018). Efficiency of two different entomopathogen fungi Beauveria bassiana and Purpureocillium lilacinum TR1 against Tetranychus urticae. *Applied ecology and environmental research*, 16(5), 6077-6086.
- Zhang, Z. (2003). Spider mites. In *Mites of greenhouses: identification, biology and control* (pp. 47-86). Wallingford UK: CABI Publishing. <https://doi.org/10.1079/9780851995908.0047>