



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS
FORESTALES

**MONITOREO DEL MOSCO FUNGOSO NEGRO
(*Bradysia impatiens* JOHANNSEN) CON TRAMPAS
AMARILLAS PEGAJOSAS EN VIVEROS
FORESTALES**

**Que como requisito parcial para obtener el grado de:
MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES**

Presenta:

PABLO MARTÍNEZ GIL

Bajo la supervisión de: DAVID CIBRIÁN TOVAR, DR



Chapingo, Estado de México, Noviembre de 2023

**MONITOREO DEL MOSCO FUNGOSO NEGRO (*Bradysia impatiens*
JOHANNSEN) CON TRAMPAS AMARILLAS PEGAJOSAS EN VIVEROS
FORESTALES**

Tesis realizada por **PABLO MARTÍNEZ GIL** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR: 
DR. DAVID CIBRIÁN TOVAR

ASESOR: 
DR. VÍCTOR HUGO MARÍN CRUZ

ASESOR: 
DR. ANTONIO VILLANUEVA MORALES

ASESORA: 
DRA. EVERT VILLANUEVA SÁNCHEZ

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	V
LISTA DE FIGURAS	VI
ABREVIATURAS Y SIGLAS UTILIZADAS.....	VII
DEDICATORIA	VIII
AGRADECIMIENTOS	IX
DATOS BIOGRÁFICOS.....	X
RESUMEN GENERAL	1
GENERAL ABSTRACT	2
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	3
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Justificación.....	4
1.2 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivos específicos.....	5
1.4 Hipótesis	5
1.5 Literatura citada	5
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
2.1. Descripción de <i>B. impatiens</i> (Johannsen, 1912).....	7
2.2. Ciclo biológico	7
2.3. Comportamiento	7
2.3.1. Comportamiento larval	7
2.3.2. Comportamiento del adulto.....	8
2.4. <i>Bradysia</i> como vector de enfermedades	9
2.5. Distribución.....	10
2.6. Daño en raíz de plántulas de pino.....	10
2.7. Métodos de control	12
2.7.1. Control biológico.....	12
2.7.2. Control químico	14
2.7.3. Utilización de Trampas	15
2.8. Literatura citada.....	18

CAPÍTULO 3. MONITOREO DE MOSCO FUNGOSO NEGRO (<i>Bradysia impatiens</i> JOHANNSEN) CON TRAMPAS AMARILLAS PEGAJOSAS EN VIVEROS FORESTALES.....	25
3.1. Resumen:.....	25
3.2. Abstract.....	26
3.3. Introducción.....	27
3.4. Materiales y métodos	28
3.4.1. Primera etapa: Comparación de trampas	29
3.4.2. Segunda etapa: Muestreo con trampa bandera.....	34
3.5. Resultados	35
3.5.1. Primera parte	35
3.5.2. Segunda parte	40
3.5.3. Captura general de la trampa bandera	42
3.6. Discusión.....	42
3.7. Conclusiones.....	45
3.8. Literatura citada.....	45
CAPITULO 4. EFECTIVIDAD BIOLÓGICA DE INSECTICIDAS QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS EN EL COMBATE DEL MOSCO FUNGOSO NEGRO (<i>Bradysia impatiens</i> JOHANNSEN) EN VIVEROS FORESTALES	49
4.1. Resumen	49
4.2. Abstract.....	50
4.3. Introducción.....	51
4.4. Materiales y métodos	53
4.4.1. Descripción de tratamientos	53
4.4.2. Evaluación y análisis estadístico.....	54
4.5. Resultados	55
4.6. Discusión.....	56
4.7. Conclusiones.....	58
4.8. Literatura citada.....	59
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES GENERALES.....	61

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Comparación de medias de captura de <i>Bradysia impatiens</i> por tipo de trampa.....	36
Cuadro 2. Comparación de medias de Tukey por vivero. Datos de 30 trampas, dos cambios de 15 trampas cada tres semanas.....	41
Cuadro 3. Tratamientos evaluados, su nombre comercial, ingrediente activo y dosis. .	53
Cuadro 4. Comparación de medias de tratamientos.....	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Procedimiento de elaboración de trampas circulares.	30
Figura 2. Modificación del tamaño y montaje de la trampa comercial.	31
Figura 3. Vivero Atlangatepec, Tlaxcala. A) Daños en <i>Agave salmiana</i> , B) Trampa circular amarilla, orientación norte y sur, C) Trampa testigo, D) Trampa bandera, E) Acomodo de trampas de manera sistemática.	32
Figura 4. <i>Bradysia impatiens</i> . A) Hembra en el cuello de la raíz de <i>Agave salmiana</i> , B) Macho capturado en trampa bandera.....	35
Figura 5. <i>Coenosia attenuata</i> . A) Adulto macho, B) hembra y C) genitalia de macho en vista ventral y lateral.	37
Figura 6. Dípteros asociados. A) <i>Dasyhelea</i> sp., B) <i>Psychodidae</i> , C) <i>Chironomidae</i> , D) <i>Ephydriidae</i> y E) <i>Syrphidae</i>	39
Figura 7. Macho de <i>Kleidotoma</i> sp. (Hymenoptera: Figitidae). Fotografía e identificación: U.M. Barrera-Ruíz.....	40
Figura 8. Niveles poblacionales en los viveros muestreados con la trampa bandera...	41

ABREVIATURAS Y SIGLAS UTILIZADAS

Abreviatura	Significado
Aff.	Affinis (Afinidad)
B.i.	<i>Bradysia impatiens</i>
Bti	<i>Bacillus thuringiensis</i> subespecie <i>israelensis</i>
cm	Centímetros
cm ²	Centímetros cuadrados
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
D.	Dyar
et al.	Y otros
f.sp.	Forma specialis (Forma especial)
GLIMMIX	Generalized Linear Mixed Models (Modelos Lineales Generalizados Mixtos)
g	Gramos
g/l	Gramos por litro
g/m ²	Gramos por metro cuadrado
i. a./l	Ingrediente activo por litro
INDRE	Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológicos
IPM	Integrated Pest Management
IRAC	Insecticide Resistance Action Committee
l	Litros
L.	Linneo
l/ha	Litros por hectárea
Lamb.	Lambert
LED	Light Emitting Diode (Diodo Emisor de Luz)
Lindl.	Lindley
ml/ha	Mililitros por hectárea
ml/l ⁻¹	Mililitros por litro
M ²	Metro cuadrado
mm	Milímetros
MIP	Manejo Integrado de Plagas
Nm	Nanómetro
Schltld.	Schlechtendal
sp.	Especie
spp.	Especies
sp. nr.	Species near (Especie cerca de)
subsp.	Subespecie
TAP	Trampas Amarillas Pegajosas
var.	Variedad

DEDICATORIA

A mi alma mater la Universidad Autónoma Chapingo por formarme
académicamente

A mis queridos padres Artemio y Raquel, y a mis hermanos Yesenia, Marcela,
Ramiro y Antonio por el apoyo incondicional

A mis amigos por los buenos momentos

A mi estimado profesor el Dr. David Cibrián Tovar por su guía y consejos durante
mi formación académica y personal

Y especialmente a mi esposa Keren y mi hija Ariadna por brindarme felicidad cada
día

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto del fondo sectorial CONACYT – CONAFOR titulado “Monitoreo, evaluación, prevención de daños y control de la secadera causada por *Fusarium circinatum* y las moscas fungosas *Bradysia* y *Lycoriella*” por el financiamiento para el trabajo en campo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca recibida durante el programa de maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo y la División de Ciencias Forestales por la oportunidad de formarme y brindarme un espacio en sus instalaciones.

Al Dr. David Cibrián Tovar por su valiosa dirección, guía y consejos durante el programa de maestría y el desarrollo de esta investigación.

A mi Comité Asesor: Dr. Antonio Villanueva Morales, Dr. Víctor Hugo Marín Cruz, Dra. Evert Villanueva Sánchez, por su apoyo y guía durante el programa de maestría y el desarrollo de la investigación.

Al M.C. Herón Huerta Jiménez por su apoyo en la identificación de dípteros.

Al personal encargado de los viveros donde se realizaron los trabajos y colecta de datos para la elaboración de esta investigación, especialmente al personal del Vivero Atlangatepec.

Al señor Enrique por su colaboración en la elaboración de las trampas.

A los profesores de la Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales, de la Maestría en Protección Vegetal, así como del Colegio de Postgraduados que me instruyeron en sus respectivos campos para poder desarrollar este proyecto.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Pablo Martínez Gil

Fecha de nacimiento: 7 de junio de 1996

Lugar de nacimiento: Zamarrilla de Álvaro Obregón, Juan N. Méndez, Puebla

Profesión: Ingeniero en Restauración Forestal



Desarrollo Académico

Bachillerato: Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, 2012-2015

Licenciatura: División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, 2015-2019

Maestría: División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, 2021-2023

MONITOREO DEL MOSCO FUNGOSO NEGRO (*Bradysia impatiens* JOHANNSEN) CON TRAMPAS AMARILLAS PEGAJOSAS EN VIVEROS FORESTALES

RESUMEN GENERAL

Se estudiaron poblaciones de mosco fungoso negro con trampas amarillas pegajosas en cinco viveros, uno en Atlangatepec, Tlaxcala, dos en Toluca, Estado de México y dos en Morelia, Michoacán. Se compararon dos tipos de trampas, una circular con 114 cm² de área, la segunda una trampa rectangular y comercial con 150 cm², contra una testigo circular transparente con 114 cm². Los datos fueron analizados con modelos lineales generalizados con la regresión binomial negativa para tasas para modelar la captura por centímetro cuadrado. La trampa bandera tuvo mayor captura estadísticamente ($p=0.0001$). Se muestrearon los otros cuatro viveros con la trampa bandera para establecer tres niveles poblacionales: bajo, con una captura media <30 adultos por trampa; medio, de 30 a 60 adultos por trampa; y alto >60 adultos. Se encontraron diversas especies de insectos, principalmente dípteros que poseen características similares como tamaño y color, que pueden confundir al evaluador. Entre ellas se encuentra *Coenosia attenuata*, una mosca depredadora que se alimenta de moscos fungosos, entre otras especies de insectos. Este es el segundo reporte de su presencia a nivel nacional. Por otro lado, en el vivero de Tlaxcala, se probaron tratamientos comerciales de combate de mosco fungoso negro para identificar el mejor. Se compararon productos químicos y biológicos, resultando como el más eficiente el neonicotinoide imidacloprid (93.8% de reducción, en comparación con el testigo $\alpha=0.05$), seguido de *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* (70.8%) y *Steinernema feltiae* (63.5%), lo que permite incorporar ambos biológicos en el arsenal para control de la plaga.

Palabras clave: Métodos de control, mosco fungoso negro, regresión binomial negativa, trampas amarillas pegajosas, vivero forestal

Tesis de Maestría en Ciencias, Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Pablo Martínez Gil

Director de Tesis: Dr. David Cibrián Tovar

MONITORING OF BLACK FUNGUS GNAT (*Bradysia impatiens* Johannsen) WITH YELLOW STICKY TRAPS IN NURSERIES

GENERAL ABSTRACT

Populations of black fungus gnats were studied with yellow sticky traps in five forest nurseries, one in Atlangatepec, Tlaxcala, two in Toluca, Estado de México, and two in Morelia, Michoacán. Two types of traps were compared, a circular trap with 114 cm² of area, the second, a rectangular and commercial trap (flag trap) with 150 cm², against a transparent circular control with 114 cm². The data were analyzed with generalized linear models with negative binomial regression for rates to model the catch per square centimeter. The flag trap had a statistically higher catch ($p=0.0001$). The other four nurseries were sampled with the flag trap to establish three population levels: low, with an average catch <30 adults per trap; medium, 30 to 60 adults per trap; and high, >60 adults. Several species of insects were found, mainly Diptera, that have similar characteristics such as size and color, which can confuse the evaluator. One main finding was the detection of *Coenosia attenuata*, a predatory fly that feeds on fungus gnats, this is the second report of its presence in Mexico. Commercial treatments to control the black fungus gnat were also tested in the Tlaxcala nursery. Chemical and biological products were tested, the neonicotinoid imidacloprid caused 93.8% of mortality against the control ($\alpha=0.05$), followed by *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* (70.8%) and *Steinernema feltiae* (63.5%), which indicates that biological products can be incorporated for the control of the pest.

Key words: Control methods, black fungus gnat, negative binomial regression, sticky yellow traps, forest nursery

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 Antecedentes

La producción de planta forestal de calidad es un aspecto fundamental para la sostenibilidad de los ecosistemas forestales de México y cualquier país, ya sea que el objetivo sea restauración o plantaciones comerciales (Rueda-Sánchez *et al.*, 2018). Sin embargo, la producción de planta forestal en viveros, presenta problemas técnicos que dificultan el cumplimiento de los objetivos, uno de los principales problemas es la presencia de agentes causales de mortalidad de planta, ya sea plagas o enfermedades (Cibrián *et al.*, 2008). Los primeros viveros de México iniciaron con un sistema de producción tradicional, en el que se produjo con bolsas de plástico con varios problemas fitosanitarios entre los que se encuentran ataque de gallina ciega que tienen una densidad poblacional alta en la tierra de monte, sustrato utilizado en estos sistemas de producción (Cibrián *et al.*, 2008). El sistema de producción con charolas de plástico rígido es el más eficiente para producción de planta forestal, debido a que es un sistema tecnificado, con sustratos artificiales, condiciones semicontroladas y protección ambiental (Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2016); en este sistema de producción existen varios problemas de salud que están relacionados con el sustrato utilizado, ya que este se basa en turba de musgo, material que suele promover el crecimiento de moscos fungosos, mismo que está fuertemente relacionado con hongos del suelo que ocasionan la enfermedad conocida como secadera o damping off (Cibrián *et al.*, 2008).

El mosco fungoso negro es un díptero de la familia Sciaridae que ocurre frecuentemente en viveros forestales tecnificados, invernaderos de hortalizas y plantas ornamentales, por lo que es un problema en diversos campos (Villanueva-Sánchez *et al.*, 2013; Marín-Cruz *et al.*, 2015a). Existen diferentes especies presentes en México, pero *Bradysia impatiens* Johanssen es la más distribuida en el país en viveros forestales, atacando principalmente a especies del género *Pinus*, reportándose un total de 17 especies hospedantes (Marín-Cruz *et al.*, 2022). Cibrián *et al.*, (2008) mencionan por primera vez la presencia de especies de mosco fungoso en viveros forestales de México, Villanueva-Sánchez *et al.*, (2013) reportan a *Bradysia difformis* (sinonimia de *Bradysia impatiens*) atacando plantas de

Nochebuena en invernaderos. Marín-Cruz *et al.*, (2015a) estudiaron la biología del mosco fungoso negro, y reportando ataques sobre *Pinus montezumae* ocasionado hasta el 30% de mortalidad en viveros del centro de país, además funge como vector de enfermedades fitopatológicas ocasionadas por hongos.

A nivel internacional existe un gran número de especies de mosco fungoso que son o pueden convertirse en plaga, cuando cuentan con pocos enemigos naturales y su tasa de reproducción es alta, en Brasil se reporta el 90.79% de presencia de *B. impatiens*, contra *B. ocellaris* con 9.21% en producción de fresa (Duarte *et al.*, 2022). Cloyd (2015) proponen la utilización varias tácticas para reducir la población de plaga de mosco fungoso, entre estas el uso de trampas amarillas pegajosas, debido a que es una táctica que permite monitorear poblaciones y reduce la densidad a un bajo costo.

Por otro lado, existen diversos estudios de combate contra moscos fungosos, sin embargo, la mayoría se desarrollan en laboratorios, con condiciones controladas que difícilmente pueden replicarse en un vivero (Marín-Cruz *et al.*, 2015b), además, los productos químicos casi siempre son los más eficientes debido a la rapidez con la que actúan, sin embargo, a largo plazo representan un problema más grande al generar resistencia a insecticidas (IRAC, 2023), es por esto que se decidió comparar la efectividad de ambos métodos de combate, químico y biológico, con productos comerciales que se encuentran en el mercado de los agroquímicos.

1.2 Justificación

Las trampas amarillas pegajosas son una herramienta utilizada para el monitoreo de plagas, para *Bradysia impatiens* no existe un protocolo de monitoreo que permita tomar decisiones con sustento respecto al tamaño poblacional, se ha utilizado una infinidad de productos para el combate de esta plaga sin conocer el tamaño poblacional presente, lo que genera a largo plazo resistencia a insecticidas.

1.2 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Identificar la trampa amarilla pegajosa más eficiente para dar información de la población de la plaga presente, que sea de bajo costo, fácil para manipular, conservar y contar, y que permita tomar decisiones de combate.

1.3.2 Objetivos específicos

Encontrar la mejor trampa para monitorear al mosco fungoso negro, reduciendo costos de monitoreo y combate.

Clasificar niveles poblacionales de acuerdo a la captura en los cuatro viveros evaluados en el Estado de México y Michoacán.

Identificar organismos asociados con los que se puede confundir el mosco fungoso negro, entre ellos sus enemigos naturales.

Identificar el producto comercial más eficiente para combatir esta plaga, desde una perspectiva de Manejo integrado de plagas y a largo plazo.

1.4 Hipótesis

Ho: Las trampas amarillas pegajosas comerciales son más eficientes que las circulares para monitorear poblaciones de adultos de mosco fungoso negro.

Ha: Las trampas circulares son más eficientes que las rectangulares para monitorear adultos de mosco fungoso negro.

1.5 Literatura citada

Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete, A., Martínez-Trinidad, T., y Ordaz-Chaparro, V.M. (2016). Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 7(34), 7-20. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322016000200007&lng=es&tlng=es.

Cibrián T., D., D. S. E. García, y M. B. Don Juan. (2008). Manual de identificación y manejo de plagas y enfermedades en germoplasma y planta producida en viveros. CONAFOR. México. 153 p.

- Cloyd, R.A. (2015). Ecology of Fungus Gnats (*Bradysia* spp.) in Greenhouse Production Systems Associated with Disease-Interactions and Alternative Management Strategies. *Insects*. 6(2):325-32. doi:10.3390/insects6020325.
- Duarte, A. Duarte, J., Grinberg, P., Cunha, U. (2022). *Bradysia* aff. *impatiens* and *Bradysia* aff. *ocellaris* in the semi-hydroponic strawberry production system in Southern Brazil. *Ciência Rural*, 52:7, 1-8. <http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210268>
- IRAC: Insecticide Resistance Action Committee. (2023). Mode of Action Classification. Edition: 10.5. <https://irac-online.org/documents/moa-brochure/?ext=pdf>
- Marín-Cruz, V.H., Cibrián-Tovar, D., Méndez-Montiel, J.T., Pérez-Vera, O.A., Cadena-Meneses, J.A., Huerta, H., Rodríguez-Yam, G., y Cruz-Rodríguez, J.A. (2015a). Biología de *Lycoriella ingenua* y *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae). *Madera y bosques*, 21(1), 113-128. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712015000100009&lng=es&tlng=es
- Marín-Cruz, V.H., Cibrián-Tovar, D., Méndez-Montiel, J.T., Pérez-Vera, O.A., y Cadena-Meneses, J.A. (2015b). Control del mosco fungoso negro, *Lycoriella ingenua* (Dufour, 1839) y *Bradysia impatiens* (Johannsen, 1912) (Diptera: Sciaridae) en *Pinus montezumae* Lamb. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(27), 90-101. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322015000100008&lng=es&tlng=es.
- Marín-Cruz, V.H., Cibrián-Tovar, D., García-Díaz, S.E., Pérez-Vera, O.A., Huerta-Jiménez, H. y Magdaleno-Hernández, E. (2022). Identificación y distribución del mosquito fungoso negro, *Bradysia impatiens* Johannsen, 1912 (Diptera: Sciaridae) en viveros de clima templado. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(73), 175-196. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i73.1261>
- Rueda-Sánchez, A., Benavides-Solorio, J., Saenz-Reyez, J.T., Muñoz-Flores H.J., Prieto-Ruiz, J.A., y Orozco-Gutiérrez, G. (2018). Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales* 5 (22). México, ME: 58-73. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i22.350>.
- Villanueva-Sánchez, E., Ibáñez-Bernal, S., Lomelí-Flores, J.R., y Valdez-Carrasco, J. (2013). Identificación y caracterización de la mosca negra *Bradysia difformis* (Diptera: Sciaridae) en el cultivo de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima*) en el centro de México. *Acta zoológica mexicana*, 29(2), 363-375. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372013000200008&lng=es&tlng=es

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Descripción de *B. impatiens* (Johannsen, 1912)

De acuerdo con Marín-Cruz *et al.*, (2015a) el macho adulto es de color pardo oscuro a negro, longitud 2.25 mm. Antena corta y uniformemente oscura, longitud 1.27 mm; cuarto flagelómero 1.6 veces más largo que ancho, superficie ligeramente rugosa. Palpo moderadamente largo. Postpronoto sin sedas. Mesonoto con sedas largas y laterales y sedas cortas dispersas sobre la superficie. Ala infuscada grisácea-parda; con venas posteriores sin macrotriquias. Genitales compactados; sin lóbulo basal o grupo de sedas en la vista ventral. Gonostilo 2.5 veces más largo que ancho. Tegmen ligeramente más ancho que largo, redondeado apicalmente. Hembra. Similar al macho. Longitud 2.25 mm. Antena longitud 1.30 mm. Cuarto flagelómero 2.2 veces más largo que ancho. Palpo con el segmento basal con la fosa sensorial profunda y oscura, 7 sedas largas dispuestas sobre el segmento.

2.2. Ciclo biológico

Es una especie holometábola, con fases de huevo, larva, pupa y adulto, en promedio su ciclo de vida dura 27.5 días para completarse, la etapa de huevo dura de 4-5 días, la larva en sus cuatro instares dura 11-13 días, prepupa solamente 1 día, 4 días como pupa y 4.5 a 6.5 días como adulto (Marín-Cruz *et al.*, 2015a).

2.3. Comportamiento

2.3.1. Comportamiento larval

Durante su primer estadio, las larvas de *B. impatiens* tienden a agruparse y permanecer cerca del lugar donde fueron depositados los huevos, especialmente si hay alimento disponible en ese lugar. Además, si la comida escasea, las larvas jóvenes muestran un comportamiento caníbal, alimentándose principalmente de las larvas más viejas, según lo señalado por Wilkinson y Daugherty (1970).

La larva se desplaza mediante una secuencia de movimientos coordinados de su cuerpo. Para avanzar, inclina su cabeza hacia adelante en un movimiento en forma de arco vertical, y para retroceder, realiza el proceso inverso o da la vuelta. Cuando se encuentra alimentándose, la larva efectúa arcos verticales hacia adelante con la

cabeza, y utiliza sus mandíbulas para tomar trozos de comida que rasga y luego ingiere (Wilkinson y Daugherty, 1970).

Cuando las larvas se enfrentan a condiciones de calor o baja humedad, pueden deshidratarse rápidamente. Por lo tanto, tienden a evitar la luz directa y prefieren superficies húmedas y alimentos con un alto contenido de humedad. En caso de no poder evitar un entorno desfavorable, construyen una estructura con restos y seda donde se congregan. Este comportamiento, que ayuda a retener la humedad, podría ser de gran importancia en condiciones de campo, permitiendo que las larvas sobrevivan durante períodos de calor o sequía inusuales (Wilkinson y Daugherty, 1970).

2.3.2. Comportamiento del adulto

Los adultos de *B. impatiens* pueden volar poco después de la emergencia, pero prefieren correr sobre la superficie en lugar de volar. Las hembras van hacia las grietas en la base de las plántulas y depositan los huevos en las raíces (Wilkinson y Daugherty, 1970).

El período de preoviposición es inferior a 24 horas cuando los machos están presentes, porque los huevos de la mayoría de las hembras son aparentemente maduros al emerger. La secuencia de los eventos relacionados con la oviposición, generalmente ocurren de la siguiente manera cuando los machos están presentes: La hembra se aparea el día de la emergencia. Los huevos son depositados el segundo día, después de la emergencia, y la hembra muere el tercer día, es decir, un día después de la oviposición. Las hembras no apareadas con frecuencia depositan huevos infértiles (Wilkinson y Daugherty, 1970).

Meers y Cloyd (2005) probaron diferentes sustratos comerciales para evaluar la preferencia que tienen las hembras para ovipositar sobre ellos, sin embargo, no encontraron diferencias significativas entre sustratos. Lo que si observaron es que prefieren ovipositar en los sustratos más que en papel filtro, esto por la mayor probabilidad que tiene el huevo de sobrevivir en un medio microbianamente activo.

B. impatiens alcanza la madurez sexual inmediatamente después de que el adulto eclosiona y solo vive de 2 a 10 días, dependiendo de las condiciones de temperatura (Jänsch *et al.*, 2018).

2.4. *Bradysia* como vector de enfermedades

Además de su capacidad para alimentarse de raíces, son vectores de hongos que pueden ocasionar enfermedades inclusive mortales hacia las plantas (Kalb y Millar 1986, Gardiner *et al.*, 1990; James, 1995).

Gardiner *et al.*, (1990); James, (1995) mencionan que existen dos especies de mosco fungoso asociados con la producción de cultivos en invernaderos, estas dos especies son: *B. impatiens* y *B. coprophila*, mientras que Duarte *et al.*, (2022) agrega a *B. ocellaris* en invernaderos de fresa en Brasil.

El género *Bradysia* es dispersor de la especie de hongo *Botrytis cinerea*, la cual esta reportada como un patógeno importante en la producción de plántulas de coníferas cultivadas en invernaderos (James, 1995). Actualmente, se sabe que *B. impatiens* es uno de los principales portadores de *Botrytis cinerea* (Jänsch *et al.*, 2018).

Asimismo, Kalb y Millar (1986) reportan la presencia de *Verticillium albo-atrum* al coleccionar adultos de *B. impatiens* en plantas de alfalfa contaminadas con este patógeno, de esta manera encontraron que el 75% de los adultos estuvieron contaminados con el hongo en su cuerpo.

Gardiner *et al.*, (1990) encontró que *Pythium* es un hongo importante en la alimentación de *B. impatiens*, además reafirma lo dicho por Kennedy (1974) que los hongos juegan un papel importante en el desarrollo del ciclo biológico de este díptero, además, este funge como dispersor del hongo hacia las plantas, provocando enfermedades en ellas. De igual manera, Jarvis *et al.*, (1993) encontraron que *B. impatiens* tiene la capacidad de llevar en su cuerpo, diseminar y transmitir *Pythium aphanidermatum* a plantas de pepino en producción en invernadero. Braun *et al.*, (2010) corrobora esta información, y afirma que el mosco es capaz de transmitir *P. aphanidermatum* hacia las plantas.

Gillespie y Menzies (1993) demostró que el mosco es capaz de dispersar y transmitir el hongo del género *Fusarium*, en particular la especie *F. oxysporum* f.sp. *radicis-lycopersici*, esta especie fue transmitida del mosco a plantas saludables de tomate y frijol, por otro lado, señala que no hubo una gran infección del hongo por parte del mosco hacia plantas sanas cuando las esporas solo se encontraban en el aire.

Hurley *et al.*, (2007) mediante técnicas moleculares detectó la presencia de *Fusarium circinatum* y *Botrytis cinerea* en el ADN de *Bradysia difformis* (= *B. impatiens*). Los autores explican que puede ser que se adhiera el hongo al mosco cuando este se mueve en plantas enfermas con estos patógenos.

Braun *et al.*, (2009) realizaron una investigación en plántulas de Geranio, le inocularon larvas de *B. impatiens* y *Pythium aphanidermatum*, este hongo es causante de la pudrición de la raíz. Encontraron que al haber una interacción entre estos dos organismos con plántulas de geranio hubo menor infección por parte del hongo hacia la planta, ya que al existir la presencia del mosco fungoso las plántulas activaron su sistema de defensa lo que inhibió la infección de *P. aphanidermatum* sobre las plántulas, sin embargo, los autores aclaran que no por estos resultados las estrategias de manejo están garantizadas. Braun *et al.*, (2012) identificaron el potencial que posee la larva para transmitir al hongo *Pythium*, observaron altos niveles de infección ya que se obtuvo un 65% de mortalidad de plántulas.

Marín-Cruz *et al.*, (2015a) encontró diferentes géneros de hongos relacionados a *B. impatiens*, estos son *Verticillium*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Fusarium* y *Aspergillus*.

2.5. Distribución

Bradysia impatiens se encuentra casi a nivel mundial, se considera cosmopolita, pero se desconoce su origen (Menzel *et al.*, 2003; Mohrig *et al.*, 2019; Hurley *et al.*, 2009; Menzel *et al.*, 2006). En México, se reportó por primera vez en viveros por Cibrián *et al.*, (2008).

2.6. Daño en raíz de plántulas de pino

La etapa larval, que reside dentro del medio de cultivo, se alimenta principalmente de material vegetal en descomposición y hongos. Sin embargo, también se

alimentan de raíces de plantas sanas y plántulas, y las coronas de plantas maduras. Por lo tanto, las larvas son las principales causantes del daño directo a las plantas al alimentarse de las raíces, lo que interfiere con la capacidad de las plantas para absorber agua y nutrientes, resultando en marchitez y retraso en el crecimiento. Los adultos de mosco fungoso son principalmente una molestia, ya que causa un daño mínimo directo a la planta (Cloyd, 2015).

Marín-Cruz *et al.*, (2015a), estudiaron el comportamiento alimenticio que presenta la larva en la raíz de *Pinus montezumae*. Primero empiezan por comer la rizodermis, después perforan la exodermis. Esto ocasiona que diversos microorganismos puedan ingresar a la raíz, tomando un papel importante en la muerte de la planta. Las larvas se alimentan del parénquima cortical, que es una zona más rica en reservas de la raíz. Las larvas detienen su consumo de la raíz en la endodermis, que es un tejido de protección y que puede estar lignificado; sin embargo, cuando este comienza a pudrirse es consumido por las larvas. Por último, se alimentan del xilema y el floema. De esta manera queda la raíz como un tubo, con un centro que está formado por la medula lignificada y una parte exterior que constituye la exodermis lignificada. Además, observaron que las plántulas de *P. montezumae* atacadas por larvas, al no tener una apropiada comunicación con la raíz, presentan síntomas de daños en la parte aérea que se manifiestan como marchitez, escaso crecimiento, pérdida de acículas y de vigor. Los síntomas pueden ser confundidos con alguna enfermedad causada por hongos (Cibrián *et al.*, 2008; Marín-Cruz *et al.*, 2015a).

Marín-Cruz *et al.*, (2015a) señalan que las raíces concentran el ataque de larvas en los primeros 3 cm a 5 cm partiendo del cuello de la raíz hacia la cofia. Esta zona corresponde en las plántulas al área de maduración de la raíz, lugar de almacenamiento de reservas. El mayor número de larvas dentro de la raíz que estos autores encontraron, fue en esta zona. Hasta 35 larvas por raíz de todos los instares.

2.7. Métodos de control

Existen diferentes métodos de control de plagas que son aplicados a la regulación de mosco fungoso negro: Control cultural, control biológico, control químico, y trampas amarillas (puede ser considerado como control cultural).

2.7.1. Control biológico

Actualmente existen una gran cantidad de alternativas para el control biológico de plagas, en este caso en particular también se han probado diferentes organismos para controlar a *B. impatiens*.

Wright y Chambers (1994) estudiaron el potencial que tiene el acaro *Hypoaspis miles*, en el control de *B. paupera*, (= *B. impatiens*), encontraron que todos los estadios larvarios fueron atacados por *H. miles*, pero la cantidad consumida fue dependiente del tamaño de la presa. *H. miles* consumió entre 7.7 ± 1.8 larvas de primer estadio y 0.6 ± 0.2 larvas de cuarto estadio por día. Cuando estaban hambrientos, los ácaros femeninos buscaban activamente comida, pero cuando se alimentaron se volvieron menos activos y pusieron numerosos huevos. Las larvas del primer instar fueron consumidas completamente por *H. miles*, pero a medida que los estadios de las larvas aumentaron de tamaño, las cápsulas de la cabeza y algunos otros órganos permanecieron intactos. El número de huevos de *Bradysia* comidos durante un período de dos días fue insignificante y los ácaros se comportaron como si no hubiera comida disponible. *H. miles* no siempre atacaban a las larvas de cuarto estadio, que eran hasta 7 veces el tamaño del acaro, pero cuando fueron atacadas, una sola larva sirvió de alimento por al menos 2 días. Por otro lado, observaron que la fase de pupa no fue atacada, por lo que señalan que las etapas inmóviles de sus presas no son reconocidas por este depredador. Los autores concluyen que es una especie con gran potencial para el control biológico de *Bradysia*, sobre todo por la facilidad de producción, podrían producirse 50, 000 individuos/litro, además, es una especie tolerante a la falta de alimento y puede utilizarse para la prevención de Sciaridos en la etapa del establecimiento de las plántulas en viveros.

Jess y Bingham (2004) observaron que *Hypoasis aculeifer* tuvo una mayor eficiencia que *H. miles* para atacar larvas de *B. impatiens*, esto debido a su tamaño más pequeño, ya que esta característica le confiere una mayor facilidad para penetrar el sustrato y encontrar más eficientemente a su presa, además, se identificó que tiene una mayor depredación a pesar de introducirse en las últimas etapas de las larvas. Mas recientemente Kim *et al.*, (2016) llevaron a cabo un estudio donde comparó la eficiencia de *H. aculeifer* y métodos de control culturales sobre *B. impatiens* en cultivos hidropónicos de fresa, encontró que el acaro tiene una mejor eficiencia liberando 60 individuos de este por metro cuadrado, haciendo cuatro liberaciones durante todo el periodo que lleva el cultivo de fresa.

Freire *et al.*, (2007) utilizaron el ácaro depredador *Stratiolaelaps scimitus* (Laelapidae) como agente de control de *Bradysia matogrossensis* en cultivos del hongo *Agaricus blazei* en Brasil, ya que esta plaga causa grandes problemas sobre el cultivo de este hongo, encontraron buenos resultados controlando gran parte de la población hasta tal punto que no genere daños considerables sobre la producción del hongo.

Castilho *et al.*, (2009) en un estudio sobre el ácaro predador *Stratiolaelaps scimitus* en *Bradysia matogrossensis* en la producción de *Agaricus bisporus* encontraron una alta efectividad del ácaro sobre la producción de la mosca fungosa, ya sea, con una aplicación o dos.

Szafranek *et al.*, (2013) probaron diferentes presas para el ácaro depredador *Parasitus bituberosus*, algunas de las presas fueron huevos y larvas de mosca de la familia Sciaridae, como resultado obtuvieron que el ácaro prefirió las larvas de Cecidae y Sciaridae en lugar de los huevos. Cabe destacar que *P. bituberosus* tardó más tiempo en comer las larvas de mosca que en comer nematodos, debido al tamaño.

Harris *et al.*, (1995) probaron que la especie de nematodo *Steinernema feltiae* es más eficiente para controlar larvas de *Bradysia* que otros organismos como *S. carpocapsae* o que la bacteria *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis*. De igual

manera, identificaron que las pupas son más susceptibles a ser infectadas por *S. feltiae*.

Jagdale *et al.*, (2004) encontraron que la efectividad de *S. feltiae* en el control de plagas está fuertemente influenciada por la temperatura. Obtuvo en invernadero y en cámaras de crecimiento de 73 a 80% de reducción de la población de *Bradysia coprophila*.

Por otro lado, las larvas del primer estadio son más susceptibles a *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* (Bti) que los instares posteriores ya que no tienen que consumir tanta bacteria para ser afectados negativamente. Además, se debe tomar en cuenta las condiciones ambientales del lugar ya que la eficiencia de Bti puede verse afectada y disminuir (Cloyd y Dickinson, 2006). Marín-Cruz *et al.*, (2015b) no encontraron resultados estadísticamente satisfactorios sobre Bti para controlar a *B. impatiens* a comparación de productos químicos.

Para seleccionar las cepas de *B. thuringiensis* que tienen un efecto insecticida sobre el mosquito fungoso negro, Jang *et al.*, (2018) encontraron 16 cepas, algunas de ellas tuvieron más del 70% de efecto insecticida.

Marín-Cruz *et al.*, (2017) señalan que *Beauveria bassiana* tiene potencial como agente de biocontrol en *Bradysia impatiens*, esto debido a los metabolitos, enzimas, y conidios que presenta. Encontraron también el efecto insectistático en las larvas debido a los metabolitos, es importante ya que este modo de acción fue reportado por primera vez en este estudio. La acción insecticida fue producida por los conidios, en este caso la insectistática fue en menor medida.

2.7.2. Control químico

Cloyd y Dickinson (2006) en su estudio de los efectos de *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* e insecticidas neonicotinoides en la mosquita fungosa *Bradysia coprophila* obtuvieron como resultado que los insecticidas neonicotinoides (dinotefuran, imidacloprid, thiamethoxam y clothianidin) son altamente eficaces para el segundo y tercer instares, como estos químicos tienen el mismo modo de acción es necesario que se utilicen en rotación para evitar el potencial de resistencia.

Algunos insecticidas pueden no ser eficaces en todas las etapas, debido a las poblaciones superpuestas, para esto es recomendable incluirlas en un plan de manejo en conjunto con otro método (Cloyd y Dickinson, 2006).

Marín-Cruz *et al.*, (2015b) encontraron en su estudio sobre mosco fungoso en *Pinus montezumae* que el insecticida Imidacloprid fue el mejor para combatir esta plaga en dosis medias y altas, al igual que oxamil, spirotetramad y carbofuran y clorpirifos. Los autores mencionan que el carbofuran en dosis altas puede ser tóxico para las plántulas de *P. montezumae*, pero en dosis bajas no controla al mosco fungoso.

Jang *et al.*, (2018) probaron diferentes productos tanto insecticidas químicos como algunos de control biológico como *Bacillus thuringiensis*. Entre los insecticidas que tuvieron mejores resultados fueron: clorfenapir exhibió una actividad insecticida de 100%, y fenazaquin, acetamiprid, dinotefuran, fenthion y thiamethoxam exhibieron más del 90% de actividad insecticida.

Xun *et al.*, (2019) recomiendan integrar el control biológico con químico aplicando dos rondas de *S. feltiae* + imidacloprid o *S. feltiae* + *H. indica* + imidacloprid en un año para el control efectivo de *B. odoriphaga* en el campo.

2.7.3. Utilización de Trampas

El-Sayed *et al.*, (2006) citado por Castresana (2016) mencionan que, aunque presenta una alternativa de control de plagas en superficies extensas, es un método caro por la gran cantidad de trampas que se requieren cuando se hace trampeo a cielo abierto.

Se han realizado estudios probando diferentes tipos de trampas para el monitoreo de moscos fungosos, como a continuación se desarrolla. Cloyd *et al.*, (2007) utilizaron diferentes frecuencias e intensidades de luz en compartimentos con *Bradysia coprophila*, para evaluar tarjetas pegajosas de 2.5 x 2.5 cm, sin embargo, no se profundiza en la utilización de trampas y el tamaño utilizado es tan pequeño que no brindaría información suficiente sobre la población presente en un vivero forestal. Chen *et al.*, (2004) compararon Trampas Amarillas Pegajosas (TAP) de 440 cm² adicionadas con luz LED contra trampas de las mismas dimensiones sin

LED, capturaron un mayor número de individuos de *B. coprophila* en trampas con luz. También capturaron individuos de mosca blanca, chicharritas, catarinas, trips, avispas parasitoides y escarabajos.

En otros estudios, Shoji *et al.*, (2014) señalan que tuvieron una mayor captura de ciáridos con luz ultravioleta, en comparación con trampas con luz verde y blanca. Según Yoon *et al.*, (2018) para capturar a *Lycoriella ingenua* y *Bradysia difformis* (= *B. impatiens*), las trampas deben estar colocadas en las partes más bajas para aumentar la captura de individuos, sin embargo, la colocación y altura debe ser en función del tipo de planta, debido al comportamiento de las especies, ya que su vuelo es corto y se percibe más como un salto (Wilkinson y Daugherty, 1970). Mohrig y Blasco-Zumeta, (1995) evaluaron tipos de trampas para monitorear ciáridos, las más eficientes fueron trampas circulares tipo plato de color amarillo, azul y blanco, y trampas de luz, teniendo un pico de captura entre los meses de junio y julio en la región de Zaragoza, España.

Por otro lado, Troya *et al.*, (2016) utilizaron trampas de caída, trampas malaise y trampas de golpeteo, la mayor captura fue de dípteros y entre ellos se encontraban organismos de la familia Sciaridae, pero no se utilizaron TAP para probar su efectividad. Moravvej *et al.*, (2022) utilizaron TAP similares a la trampa bandera, pero de mayor tamaño, y hallaron nuevos registros de especies de ciáridos en Irán, como *Bradysia cellarum*, *B. ocellaris*, *B. tilicola*, entre otras. Esto indica que las trampas también son una herramienta eficiente para coleccionar insectos para su identificación morfológica y molecular, como lo señala Arimoto (2022) ya que es posible la identificación molecular de *Bradysia odoriphaga* con ejemplares de TAP ya que después de cierto tiempo aún mantienen el ADN sin modificarse.

En un contexto más general, Heinz *et al.*, (1992) evaluaron trampas amarillas pegajosas de 11.5 x 14 cm (161 cm²) para monitorear poblaciones de insectos himenópteros, trips, dípteros y hemípteros; proponen evaluar solamente una franja vertical de 2.3 cm de ancho de las trampas y posteriormente extrapolar los datos para obtener la captura total, al contar solamente 20% de la superficie de la trampa se reduce hasta el 80% del tiempo de conteo.

El color de las trampas afecta en gran medida a las tasas de captura, pero para identificar el color óptimo de las trampas es en función de la plaga y la planta, además la eficacia de una trampa depende de atraer y capturar las plagas objetivo (Dearden *et al.*, 2023). Se ha comprobado que el color amarillo en las trampas pegajosas es uno de los más eficientes y por lo tanto uno de los más utilizados para el monitoreo de plagas. Prema *et al.*, (2018) encontraron medias de captura de trips superiores en TAP en comparación con colores azul, blanco, verde y rojo. Por su parte, Murtaza *et al.*, (2019) evaluaron trampas de diferentes colores, la más eficiente fue la trampa amarilla para capturar trips. Para *Frankliniella occidentalis* el amarillo y el azul en las trampas son los más eficientes (Dearden *et al.*, 2023).

Carrillo-Arámbula *et al.*, (2022) evaluaron trampas pegajosas de diferentes colores en trips fitófagos y el efecto de las trampas sobre organismos benéficos en agroecosistemas de mango en Tapachula, Chiapas, encontraron que la trampa blanca tuvo captura alta en individuos de especies del género *Frankliniella* y la captura más baja en insectos benéficos en comparación con otros colores, mientras que la trampa amarilla tuvo una mayor captura de especies del género *Scirtothrips* y bajo efecto en insectos polinizadores, sin embargo, tuvo un impacto importante en enemigos naturales de trips, estos resultados son contradictorios con los hallados por Dearden *et al.*, (2023), pero puede deberse a que existe una gama extensa de colores amarillos por lo que seguramente varía la frecuencia de onda del color amarillo utilizado, además, la planta también puede influir en la reflectancia del color atrayente.

Las TAP son herramientas versátiles que pueden utilizarse con diferentes objetivos, Baideng *et al.*, (2017) las utilizaron para evaluar dos sistemas de producción de tomate, el primero convencional y el segundo con manejo integrado de plagas (MIP), utilizando alternativas como control de plagas con insecticidas botánicos, y hallaron que en el sistema de producción con MIP hubo un menor número de especies de plagas y de individuos capturados en las trampas.

Böckmann y Meyhöfer (2016) señalan que existe una correlación entre los individuos capturados en una trampa pegajosa con la población total dentro de un

cultivo, sin embargo, en condiciones de vivero no hay manera de corroborar el tamaño total de la población; encontraron que el hemíptero depredador *Macrolophus pygmaeus* respondió mejor al color azul que al amarillo, a diferencia de la plaga *Trialeurodes vaporariorum* que prefiere el color amarillo, por lo que recomiendan utilizar ambos colores para monitorear la interacción plaga–depredador.

Atakan y Pehlivan (2015) probaron trampas pegajosas de colores blanco, amarillo, azul y verde para observar la atracción de insectos polinizadores del manzano, los colores azul y verde no mostraron atraerlos, el color amarillo en un nivel medio y el color blanco tuvo mayor captura, consideran que la utilización de trampas blancas debe hacerse de manera cuidadosa sobre todo en temporada de floración para no mermar las poblaciones de polinizadores.

Lima *et al.*, (2020) llevaron a cabo una revisión exhaustiva de métodos de monitoreo de plagas mediante detección automática utilizando trampas con cámaras especializadas, por ejemplo, con luz infrarroja, además investigaron sobre el uso de redes neuronales artificiales que son capaces de identificar especies de insectos al agrupar ciertas características en las imágenes como texturas y patrones de coloración. En estas evaluaciones han logrado identificar plagas de diferentes ordenes con precisión de más de 90%, entre los Órdenes identificados con esta tecnología se encuentran Coleóptera, Lepidóptera, Hemíptera, Hymenóptera, Megalóptera, Neuróptera, Odonata y Orthóptera. En Dípteros solamente se ha probado esta tecnología en moscas de la fruta, además, se trata de un método altamente eficiente pero costoso y aunque se ha intentado reducir el costo no ha logrado ser tan barato como la utilización de TAP.

2.8. Literatura citada

Arimoto, M. (2022). Review: Development of Molecular Identification Methods for a Sciarid Fly, *Bradysia odoriphaga* (Diptera: Sciaridae). *Japan Agricultural Research Quarterly*, 56(1), 19-24.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jarq/56/1/56_19/_pdf/-char/ja

- Atakan, E. y Pehlivan, S. (2015). Attractiveness of various colored sticky traps to some pollinating insects in apple. *Turkish Journal of Zoology*, 39(3), 474-481. <https://doi.org/10.3906/zoo-1403-62>
- Baideng, E.L., Memah, V., y Tallei, T.E. (2017). Monitoring of species and population of important insect pest of tomato plants using yellow sticky trap during conventional and integrated pest management system. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 34(1), 5404-5412. <https://m.elewa.org/Journals/wp-content/uploads/2017/09/4.Baideng.pdf>
- Braun, S.E; Sanderson, J.P; Nelson, E.B; Daughtrey, M.L; y Wraight, S.P. (2009). Fungus Gnat Feeding and Mechanical Wounding Inhibit *Pythium aphanidermatum* Infection of Geranium Seedlings. *Phytopathology*, 99:1421-1428. <https://naldc.nal.usda.gov/download/38780/PDF>
- Braun, S.E., Castrillo, L.A., Sanderson, J.P., Daughtrey, M.L., Wraight, S.P. (2010). Transstadial transmission of *Pythium* in *Bradysia impatiens* and lack of adult vectoring capacity. *Phytopathology*, 100(12):1307-14. doi:10.1094/PHYTO-04-10-0117
- Braun, S.E., Sanderson, J.P., Wraight, S.P. (2012). Larval *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae) potential for vectoring *Pythium* root rot pathogens. *Phytopathology*, 102(3):283-9. doi:10.1094/PHYTO-09-11-0262.
- Böckmann, E., y Meyhöfer, R. (2016). Sticky trap monitoring of a pest-predator system in glasshouse tomato crops: are available trap colours sufficient? *Journal of Applied Entomology*, 141(5), 339–351. doi:10.1111/jen.12338
- Carrillo-Arámbula, L., Infante, F., Cavalleri, A., Gómez, J., Ortiz, J.A., Fanson, B.G., y González, F.J. (2022). Colored sticky traps for monitoring phytophagous thrips (Thysanoptera) in mango agroecosystems, and their impact on beneficial insects. *PLoS One*, 17(11), 1-20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276865>
- Castilho, R.C., de Moraes, G.J., Silva, E.S., Freire, R.A.P., y Da Eira, F.C. (2009). The predatory mite *Stratiolaelaps scimitus* as a control agent of the fungus gnat *Bradysia matogrossensis* in commercial production of the mushroom *Agaricus bisporus*. *International Journal of Pest Management*, 55(3), 181–185. doi:10.1080/09670870902725783
- Castresana, J. E. (2016). Efectividad de las trampas adhesivas amarillas para el control de la mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) en el cultivo de tomate *Lycopersicon esculentum* (Miller) (Solanaceae) en el norte de la provincia de Entre Ríos. Tesis de Maestría. *Universidad de la Plata*, Argentina. <https://doi.org/10.35537/10915/52897>

- Chen, T., Chu, C., Henneberry, T.J., y Umeda, K. (2004). Monitoring and Trapping Insects on Poinsettia with Yellow Sticky Card Traps Equipped with Light-emitting Diodes. *HortTechnology*, 14(3), 337-341. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.14.3.0337>
- Cibrián, T. D., García, D. S. y Don Juan, M. B. (2008). Manual de identificación y manejo de plagas y enfermedades en germoplasma y planta producida en viveros. *Comisión Nacional Forestal*. México. 143 p.
- Cloyd, R.A., y Dickinson, A. (2006). Effect of *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* and neonicotinoid insecticides on the fungus gnat *Bradysia* sp. nr. *coprophila* (Lintner) (Diptera: Sciaridae). *Pest Management Science*, 62(2), 171–177. doi:10.1002/ps.1143
- Cloyd, R.A., Dickinson, A., Larson, R.A., y Marley, K.A. (2007). Phototaxis of Fungus Gnat, *Bradysia* sp. nr *coprophila* (Lintner) (Diptera: Sciaridae), Adults to Different Light Intensities. *HortScience*, 42(5), 1217-1220. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.5.1217>
- Cloyd, R. (2015). Ecology of Fungus Gnats (*Bradysia* spp.) in Greenhouse Production Systems Associated with Disease-Interactions and Alternative Management Strategies. *Insects*, 6(2), 325–332. doi:10.3390/insects6020325
- Dearden, A.E., Wood, M.J., Frend, H.O., Butt, T.M., y Allen, W.L. (2023). Visual modelling can optimise the appearance and capture efficiency of sticky traps used to manage insect pests. *Journal of Pest Science*, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s10340-023-01604-w>
- Freire, R. A. P., de Moraes, G. J., Silva, E. S., Vaz, A. C., y de Campos Castilho, R. (2007). Biological control of *Bradysia matogrossensis* (Diptera: Sciaridae) in mushroom cultivation with predatory mites. *Experimental and Applied Acarology*, 42(2), 87–93. doi:10.1007/s10493-007-9075-0
- Gardiner, R., Jarvis, W.R., Shipp, L. (2008). Ingestion of *Pythium* spp. by larvae of the fungus gnat *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae). *Annals of Applied Biology*, 116, 205-212. Doi:10.1111/j.1744-7348.1990.tb06600.x
- Gillespie, D. R; y Menzies, J. G. (1993). Fungus gnats vector *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-lycopersici*. *Annals of Applied Biology*, 123: 539-544. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1993.tb04926.x>
- Harris, M. A., Oetting, R. D., & Gardner, W. A. (1995). Use of entomopathogenic nematodes and a new monitoring technique for control of fungus gnats, *Bradysia coprophila* (Diptera: Sciaridae), in floriculture. *Biological Control*, 5(3), 412-418. <https://doi.org/10.1006/bcon.1995.1049>

- Heinz, K.M., Parrella, M.P., y Newman, J.P. (1992). Time-Efficient Use of Yellow Sticky Traps in Monitoring Insect Populations. *Journal of Economic Entomology*, 85(6), 2263–2269. <https://doi.org/10.1093/jee/85.6.2263>
- Hurley, B. P; Slippers, B; Coutinho, T. A; Wingfield, B. D; Govender, P y Wingfield, M. J. (2007). Molecular detection of fungi carried by *Bradysia difformis* (Sciaridae: Diptera) in South African forestry nurseries. *Southern Hemisphere Forestry Journal*, 69(2): 103–109. <https://doi.org/10.2989/SHFJ.2007.69.2.5.291>
- Jagdale, G. B; Casey, M. L; Grewal, P. S. y Linqvist, R. K. (2004). Application rate and timing, potting medium, and host plant effects on the efficacy of *Steinernema feltiae* against the fungus gnat, *Bradysia coprophila*, in floriculture. *Biological Control*, 29(2): 296–305. DOI:10.1016/S1049-9644(03)00164-6
- James, R. L., Dumroese, R. K. & Wenny, D. L. (1995). *Botrytis cinerea* carried by adults Fungus gnats (Diptera; Sciaridae) in container nurseries. *Tree Planter's Notes*, 46: 49-53. https://www.researchgate.net/profile/R-Kasten-Dumroese/publication/272819455_Botrytis_cinerea_carried_by_adult_fungus_gnats_Diptera_Sciaridae_in_container_nurseries/links/54f4fb4c0cf2ba6150643a8b/Botrytis-cinerea-carried-by-adult-fungus-gnats-Diptera-Sciaridae-in-container-nurseries.pdf
- Jarvis, W. R; Shipp, J. L. y Gardiner, R. B. (1993). Transmission of *Pythium aphanidermatum* to greenhouse cucumber by the fungus gnat *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae). *Annals of Applied Biology*, 122: 023-029. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1993.tb04010.x>
- Jess, S., y Bingham, J. F. W. (2004). Biological control of sciarid and phorid pests of mushroom with predatory mites from the genus *Hypoaspis* (Acari: Hypoaspidae) and the entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae*. *Bulletin of Entomological Research*, 94(02), 159–167. doi:10.1079/ber2003286
- Jänsch, S; Bauer, J; Leube, D; Otto, M; Römbke, J; Teichmann, H. y Waszak, K. (2018). A new ecotoxicological test method for genetically modified plants and other stressors in soil with the black fungus gnat *Bradysia impatiens* (Diptera): current status of test development and dietary effects of azadirachtin on larval development and emergence rate. *Environmental Sciences Europe*, 30:38. <https://doi.org/10.1186/s12302-018-0167-8>.
- Kalb, D. W., y Millar, R. L. (1986). Dispersal of *Verticillium albo-atrum* by the Fungus Gnat (*Bradysia impatiens*). *Plant Disease* 70:752-753. https://www.apsnet.org/publications/plantdisease/backissues/Documents/1986Articles/PlantDisease70n08_752.PDF

- Kennedy, M.K. 1974. Survival and Development of *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae) on Fungal and Non-fungal Food Sources. *Annals of the Entomological Society of America*, 67 (5): 745-749. doi:10.1093/aesa/67.5.745
- Kim, H.H., Jeon, H.Y., Yang, C.Y., Kang, T.J., y Han, Y.K. (2009). Transmission of *Fusarium oxysporum* by the Fungus Gnat, *Bradysia difformis* (Diptera: Sciaridae). *Research in Plant Disease*, 15(3), 262-265. <https://doi.org/10.5423/rpd.2009.15.3.262>
- Kim, Hyeong-Hwan; Yoon, Jung-Beom; Kim, Dong-Hwan; Yang, Chang-Yeol y Kang, Taek-Jun. (2016). Biological Control of *Bradysia difformis* using the Predatory Mite (*Hypoaspis aculeifer*) in Hydroponically Cultivated Strawberry. *Korean Journal of Applied Entomology*, 55(4): 489-494. DOI: <http://dx.doi.org/10.5656/KSAE.2016.06.1.036>
- Lima, M., Leandro, M.E., Valero, C., Pereira-Coronel, L.C., & Gonçalves-Bazzo, C.O. (2020). Automatic Detection and Monitoring of Insect Pests—A Review. *Agriculture*, 10(5), 161. <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture10050161>
- Marín-Cruz, V.H., Cibrián-Tovar, D., Méndez-Montiel, J.T., Pérez-Vera, O.A., Cadena-Meneses, J.A., Huerta, H., Rodríguez-Yam, G., y Cruz-Rodríguez, J.A. (2015a). Biología de *Lycoriella ingenua* y *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae). *Madera y bosques*, 21(1), 113-128. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712015000100009&lng=es&tlng=es
- Marín-Cruz, V.H., Cibrián-Tovar, D., Méndez-Montiel, J.T., Pérez-Vera, O.A., y Cadena-Meneses, J.A. (2015b). Control del mosco fungoso negro, *Lycoriella ingenua* (Dufour, 1839) y *Bradysia impatiens* (Johannsen, 1912) (Diptera: Sciaridae) en *Pinus montezumae* Lamb. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(27), 90-101. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322015000100008&lng=es&tlng=es.
- Marín-Cruz, V. H., Rodríguez-Navarro, S., Barranco-Florido, J. E., & Cibrián-Tovar, D. (2017). Actividad insecticida e insectistática de *Beauveria bassiana* en *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(3): 329-340. DOI: 10.5154/r.rchscfa.2016.10.053
- Meers, T. L. y Cloyd, R. A. (2005). Egg-Laying Preference of Female Fungus Gnat *Bradysia* sp. nr. *coprophila* (Diptera: Sciaridae) on Three Different Soilless Substrates. *Journal of Economic Entomology*, 98(6): 1937-1942. Doi:10.1603/0022-0493-98.6.1937

- Menzel, F., Smith, J. E. y Colauto, N. B. (2003). *Bradysia difformis* Frey and *Bradysia ocellaris* (Comstock): Two Additional Neotropical Species of Black Fungus Gnats (Diptera: Sciaridae) of Economic Importance: A Redescription and Review. *Annals of the Entomological Society of America*, 96(4), 448–457. [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2003\)096\[0448:BDFABO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2003)096[0448:BDFABO]2.0.CO;2)
- Menzel, F., Smith, J. E. y Chandler, P. J. (2006). The sciarid fauna of the British Isles (Diptera: Sciaridae), including descriptions of six new species. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 146: 1–147. http://www.online-keys.net/sciaroidea/2000_/Menzel_et_al_2006_Sciaridae_sp_n_checklist_G B.pdf
- Mohrig, W., y Blasco-Zumeta, J. (1995). The sciarid fauna (Diptera, Sciaridae) of a *Juniperus thurifera* L. forest of the Monegros region (Zaragoza, Spain) with description of ten new species. *Miscellània Zoològica*, 18, 99-116. <https://raco.cat/index.php/Mzoologica/article/view/90452>
- Mohrig, W; Kauschke, E. y Broadley, A. (2019). Revision of black fungus gnat species (Diptera, Sciaridae) described from the Hawaiian Islands by D.E. Hardy and W.A. Steffan, and a contribution to the knowledge of the sciarid fauna of the Galápagos Islands. *Zootaxa*, 4590(4): 401–439. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4590.4.1>.
- Moravvej, G., Heidari-Latibari, M. y Ghafouri-Moghaddam, M. (2022) New record of black fungus gnat (Diptera: Sciaroidea, Sciaridae) from Iran, with a first record for the fauna of the Middle East. *Journal of Insect Biodiversity and Systematics*, 8(2), 207–218. <https://doi.org/10.52547/jibs.8.2.207>
- Murtaza, G., Ramzan, M., Ghani, M.U., Munawar, N., Majeed, M., Perveen, A., y Umar, K. (2019). Effectiveness of different traps for monitoring sucking and chewing insect pests of crops. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences*, 12(6), 15-21. doi:10.21608/eajbsa.2019.58298
- Prema, M.S., Ganapathy, N., Renukadevi, P., Mohankumar, S., y Kennedy, J.S. (2018). Coloured sticky traps to monitor thrips population in cotton. Red, 625, 740nm. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(2), 948-952. www.entomoljournal.com
- Shoji, S., Yoko, K., Yoko, K., Ryo N., Yuri I. y Mitsuyoshi S. (2014). Trap Catches of Dipteran Insects using Ultraviolet LED (Light Emitting Diode) and Water-pan Trap. *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology*, 58(1), 32-35. <https://doi.org/10.1303/jjaez.2014.32>
- Szafranek, P., Lewandowski, M., y Kozak, M. (2013). Prey preference and life tables of the predatory mite *Parasitus bituberosus* (Acari: Parasitidae) when offered various prey combinations. *Experimental and Applied Acarology*, 61(1), 53–67. doi:10.1007/s10493-013-9701-y

- Troya, A., Bersosa, F. y Espinoza, L. (2016). Insectos de los remanentes de bosques secos andinos del norte de Ecuador. *Ecosistemas*, 25(2), 79-82. doi:10.7818/ECOS.2016.25-2.10
- Wilkinson, J.D. y Daugherty, D.M. (1970). The Biology and Immature Stages of *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae). *Annals of the Entomological Society of America*, 63(3), 656-660. <https://doi.org/10.1093/aesa/63.3.656>
- Wright, E. M., y Chambers, R. J. (1994). The biology of the predatory mite *Hypoaspis miles* (Acari: Laelapidae), a potential biological control agent of *Bradysia paupera* (Dipt.: Sciaridae). *Entomophaga*, 39(2), 225–235. doi:10.1007/bf02372360
- Xun, Yan; Zhao, Guo-Yu y Han, Ri-Chou. 2019. Integrated Management of Chive Gnats (*Bradysia odoriphaga* Yang & Zhang) in Chives Using Entomopathogenic Nematodes and Low-Toxicity Insecticides. *Insects*, 10: 161. doi:10.3390/insects10060161
- Yoon, J.B., Kim, H.H., Kim, D.H., Yang, C.Y. y Seo, M.H. (2018). Optimal height of installing sticky traps for monitoring fungus gnats. *Journal of Mushrooms*, 16(1), 57-60. <http://dx.doi.org/10.14480/JM.2018.16.1.57>

CAPÍTULO 3. MONITOREO DE MOSCO FUNGOSO NEGRO (*Bradysia impatiens* JOHANNSEN) CON TRAMPAS AMARILLAS PEGAJOSAS EN VIVEROS FORESTALES

Monitoring of black fungus gnat (*Bradysia impatiens* Johannsen) with yellow sticky traps in nurseries

Pablo Martínez-Gil¹, David Cibrián-Tovar^{1*}, Antonio Villanueva-Morales¹, Víctor Hugo Marín-Cruz², Evert Villanueva-Sánchez³, Herón Huerta-Jiménez⁴

1. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Carretera México–Texcoco Km. 38.5, CP 56230, Texcoco, Estado de México, México.

2. Universidad para el Bienestar Benito Juárez García. Sede Milpa Alta, CDMX, México.

3. CONAHCYT-Universidad Autónoma Chapingo. Laboratorio Nacional de Investigación y Servicio Agroalimentario y Forestal. Carretera México–Texcoco Km. 38.5, CP 56230, Texcoco, Estado de México, México.

4. Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológicos, Secretaría de Salud, Francisco de P. Miranda 177, Lomas de Plateros, Álvaro Obregón, CP 01480 Ciudad de México, CDMX, México

*Corresponding author: dcibrian48@gmail.com; tel.: +52 595 95 17399

Aspectos destacados:

Se ofrece una metodología de evaluación de poblaciones del mosco fungoso negro *Bradysia impatiens*, plaga que puede causar hasta el 30% de mortalidad en viveros forestales.

Se optimiza la forma y tamaño de trampas amarillas pegajosas para el monitoreo del mosco fungoso negro.

Se identificó por primera vez en un vivero forestal a la mosca *Coenosia attenuata* como depredador del *B. impatiens*, siendo la segunda referencia de su presencia en México.

Se identificó la diversidad de insectos capturados en las trampas para hacer estimaciones precisas de la población de mosco fungoso negro.

3.1. Resumen:

Introducción: *Bradysia impatiens* es una plaga de importancia en los viveros forestales tecnificados de México debido a su capacidad de ocasionar mortalidad de planta, sin embargo, los estudios sobre monitoreo de adultos son escasos.

Objetivos: Determinar la trampa más adecuada para el monitoreo de la plaga, caracterizar niveles poblacionales de ella, identificar organismos asociados, entre ellos sus enemigos naturales.

Materiales y métodos: Se evaluaron Trampas Amarillas Pegajosas (TAP), se contaron adultos de *B. impatiens* y organismos asociados; los datos se analizaron con modelos lineales generalizados mediante regresión binomial negativa.

Resultados y discusión: Se identificó que la trampa bandera es la más eficiente para la captura de adultos de la plaga. Se calificaron subjetivamente tres niveles poblacionales: baja (captura semanal ≤ 30 adultos), media (30-60 adultos) y alta (>60 adultos); esto se vio reflejado en la condición de salud de la planta. Se encontró a *Coenosia attenuata* como enemigo natural de la plaga.

Conclusiones: La trampa bandera es la más efectiva para monitorear a *B. impatiens*, es de bajo costo, fácil de manipular, contar y conservar; por lo que se recomienda para ser usada por los viveristas. Los niveles poblacionales son indicadores de la densidad de la plaga presente y el daño potencial a la planta. El depredador *C. attenuata* se registra por primera vez en Tlaxcala y se verificó alimentándose de adultos de *B. impatiens*.

Palabras clave: *Coenosia attenuata*; enemigos naturales; nivel poblacional; plaga forestal; regresión binomial negativa

3.2. Abstract:

Introduction: *Bradysia impatiens* is an important pest in technified forest nurseries in Mexico due to its capacity to cause plant mortality; however, studies on adult monitoring are scarce.

Objectives: To determine the most adequate trap for monitoring the pest, characterize its population levels, identify associated organisms, including its natural enemies.

Materials and methods: Sticky Yellow Traps were evaluated; adults of *B. impatiens* and associated organisms were counted; data were analyzed with generalized linear models using negative binomial regression.

Results and discussion: The flag trap was identified as the most efficient trap for capturing adults of the pest. Three population levels were subjectively rated: low (weekly capture ≤ 30 adults), medium (30-60 adults) and high (> 60 adults); this was reflected in the health condition of the plant. *Coenosia attenuata* was found to be a natural enemy of the pest.

Conclusions: The flag trap is the most effective for monitoring *B. impatiens*, it is low cost, easy to handle, count and conserve; therefore, it is recommended for use by nurserymen. Population levels are indicators of the density of the pest present and potential damage to the plant. The predator *C. attenuata* is recorded for the first time in Tlaxcala and was verified feeding on adults of *B. impatiens*.

Key words: *Coenosia attenuata*; natural enemies; population level; forest pest; negative binomial regression

3.3. Introducción

El mosquito fungoso negro, *Bradysia impatiens* Johannsen, es la principal plaga de los viveros forestales tecnificados de México, además de tener importancia en invernaderos de hortalizas y plantas ornamentales (Marín-Cruz *et al.*, 2022; Villanueva-Sánchez *et al.*, 2013); en viveros de pinos se ha cuantificado hasta 30% de mortalidad (Marín-Cruz *et al.*, 2015), siendo las especies cespitosas las más atacadas, de un rango de 17 especies de pinos que son hospedantes (Marín-Cruz *et al.*, 2022). Adultos y larvas de *B. impatiens* son vectores de patógenos de plantas, algunos de los hongos transmitidos son: *Pythium*, *Botrytis*, *Verticillium*, *Thielaviopsis*, *Cylindrocladium*, *Sclerotinia* y varias especies de *Fusarium*, entre ellas destaca *Fusarium circinatum* Nirenberg & O'Donnell y *F. oxysporum* Schltdl (Wilkinson y Daugherty, 1970, Kim *et al.*, 2009; Villanueva-Sánchez *et al.*, 2013; Marín-Cruz *et al.*, 2015; García-Díaz *et al.*, 2017).

La aplicación de métodos de monitoreo en viveros permite obtener información para la toma de decisiones, sobre la aplicación oportuna de tratamientos de combate contra plagas, el monitoreo es útil para conocer el tamaño poblacional de una plaga, mismo que al relacionarlo con impactos y costos permite definir el nivel de daño y umbral económicos (Stern *et al.*, 1959). Santos *et al.*, (2012), señalan que para obtener el nivel de daño económico es necesario obtener parámetros sobre daño por unidad de plaga y la pérdida en rendimiento del cultivo como una función del daño total.

Existen diferentes tipos de métodos de trampeo de plagas, que deben cumplir con requisitos para considerarse como efectivos, deben ser específicos, de bajo costo, fáciles para establecer, manejar y evaluar, en el caso de trampas pegajosas de color deben tener estabilidad a través del tiempo en el color y el pegamento en condiciones naturales (Barrera *et al.*, 2006).

Las trampas amarillas son las más eficientes para atraer ciáridos, se utilizan diferentes modelos y tamaños, casi siempre tamaños grandes de difícil manipulación (Mohrig y Blasco-Zumeta, 1995; Cloyd *et al.*, 2007; Yoon *et al.*, 2018; Moravvej *et al.*, 2022); como antecedente al presente estudio, Martínez-Gil *et al.*, (2021) (datos no publicados) utilizaron trampas amarillas pegajosas de tamaño carta de 603 cm² de superficie e identificaron la necesidad de utilizar trampas de menor superficie para manipular, observar y registrar con mayor rapidez y precisión los ejemplares capturados. Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar dos tipos de trampas amarillas pegajosas (TAP) y seleccionar la más eficiente para monitorear a *B. impatiens*, con el propósito de proponerla como herramienta de toma de decisiones en viveros forestales, y clasificar niveles poblacionales de acuerdo a la captura de la plaga.

3.4. Materiales y métodos

La investigación se dividió en dos etapas, la primera evaluó dos tipos de trampas amarillas y una incolora; la segunda, después de decidir la mejor, consistió en comparar la captura de *B. impatiens* en cuatro viveros forestales para determinar niveles poblacionales de la especie.

3.4.1. Primera etapa: Comparación de trampas

En el vivero Atlangatepec, Tlaxcala, ubicado en las coordenadas: 19° 32' 27.6" N, 98° 10'48" O y altitud de 2510 msnm; se tiene la producción de maguey *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck, en 2022 se tuvo una meta de 500,000 plantas, se utilizan charolas de plástico de 54 cavidades de 190 ml, el sustrato utilizado es 25% de corteza de pino, 25% peat moss, 25% perlita y 25% vermiculita.

El vivero cuenta con módulos de producción con mesas metálicas portacharolas de 1.47 m de ancho, 48.1 m de largo y 70 cm de alto, donde se colocan las charolas, tiene una capacidad de 384 charolas por mesa, se aplica tezontle al suelo para evitar el crecimiento de maleza. La producción tiene protección de malla sombra y plástico de invernadero. Dentro del vivero también se produce agave mezcalero y árboles frutales como guayaba y granada.

3.4.1.1. Tipos de trampas

Trampa circular. Se hace con tapas de plástico para recipientes comerciales, miden 12.1 cm de diámetro con una superficie de 114 cm². Una sirve de fondo, se pinta con pintura en aerosol amarillo-seguridad acrílico, se seca y se cubre con otra, pero sin el borde, la cubierta se impregna con aceite de motor o pegamento comercial para insectos cuya base es polibuteno y aromina, la trampa se fija con grapas en un palo de madera. Las trampas con capturas se pueden apilar una sobre otra para su almacenaje, mientras se puedan revisar (Figura 1).



Figura 1. Procedimiento de elaboración de trampas circulares.

Trampa circular transparente. Se utilizó como testigo en relación al factor del color amarillo como atrayente de mosco fungoso negro.

Trampa rectangular. Es una trampa de policarbonato tamaño carta (21.59 x 27.94 cm), disponible en las tiendas de productos insecticidas, cuenta con pegamento en el lado amarillo, está reticulada, con líneas cada 2.4 cm, está cubierta con papel encerado, lo que permite despegar y volver a pegar con facilidad. Para propósitos de agilizar y mejorar la manipulación de la trampa, cada hoja se cortó en cuatro secciones, resultando trampas de 10.77 x 13.97 cm con 150 cm² de área, cada una se engrapó en un palo de la longitud requerida, según la altura de la planta. Para instalarla, el palo de soporte se insertó en los tubetes, se dobló el papel encerado y se fijó con clips de oficina. Tiene la ventaja de que la captura queda protegida al

regresar el papel encerado a su posición original y fijarlo con los mismos clips. El conteo de insectos se facilitó por el reticulado de la trampa (Figura 2).

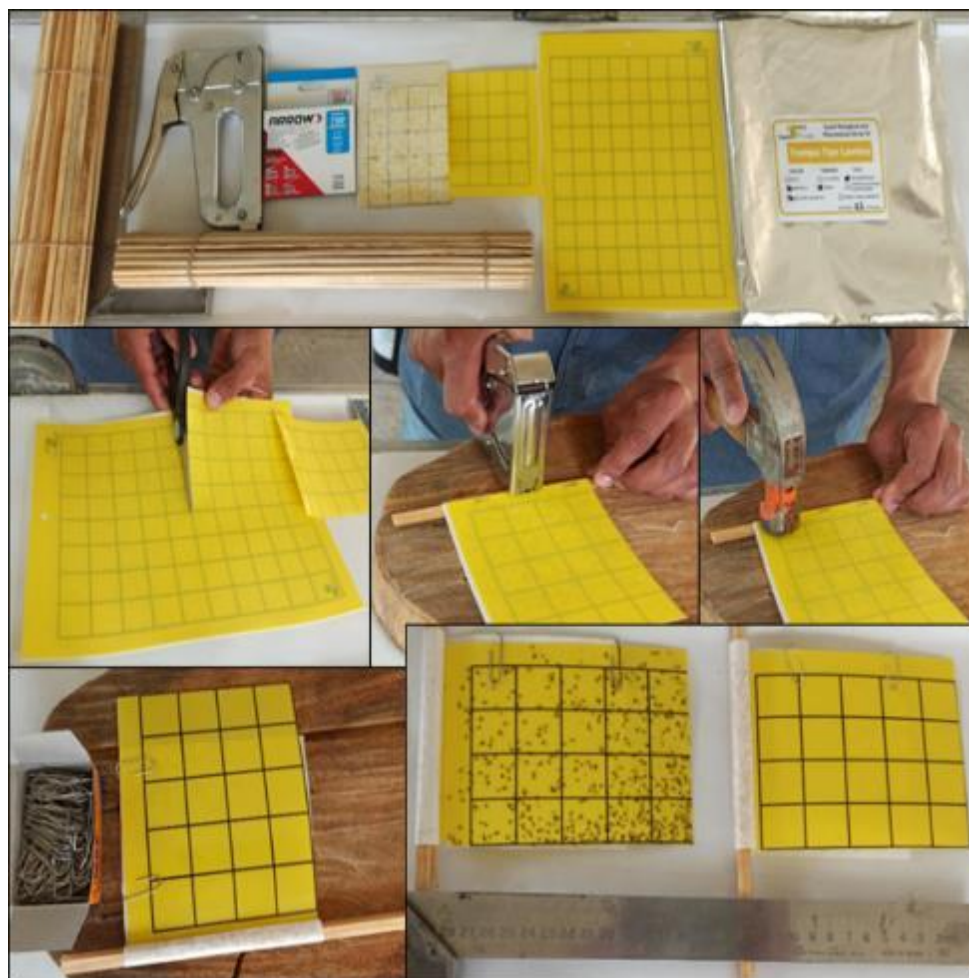


Figura 2. Modificación del tamaño y montaje de la trampa comercial.

3.4.1.2. Instalación de las trampas

Las trampas se instalaron a una altura máxima de 10 cm por encima del ápice de las plantas, el 4 de marzo de 2022 y se cambiaron durante tres semanas consecutivas (10, 17 y 24 de marzo).

- Trampa amarilla circular doble, con orientación hacia el sur y norte (Tipo A y Tipo B, respectivamente), con una superficie de 114 cm². Se eligieron esas dos orientaciones porque de ellas provienen las principales rachas de viento, siendo un factor importante en la captura de artrópodos voladores.
- Trampa transparente circular (Testigo) con 114 cm² en orientación sur.

- Trampa amarilla rectangular (Trampa bandera) en orientación sur.

Se colocaron 30 trampas de cada tipo, con un diseño al azar-sistemático, es decir, se eligió el orden de manera aleatoria y se colocaron en ese orden de forma sistemática en las platabandas de maguey, la altura a la que se colocaron fue de ≤ 10 cm desde la parte más alta de las plantas, debido a que *B. impatiens* tiene un comportamiento de vuelo corto y salta alrededor de las plantas y charolas (Wilkinson y Daugherty, 1970) (Figura 3).



Figura 3. Vivero Atlangatepec, Tlaxcala. A) Daños en *Agave salmiana*, B) Trampa circular amarilla, orientación norte y sur, C) Trampa testigo, D) Trampa bandera, E) Acomodo de trampas de manera sistemática.

Las trampas fueron cambiadas en las fechas mencionadas y fueron transportadas al Laboratorio de Entomología Forestal de la División de Ciencias Forestales en la Universidad Autónoma Chapingo. De cada trampa se registró el número de

individuos de *Bradysia impatiens* (machos y hembras por separado). El conteo se realizó con microscopio estereoscópico Leica® y aguja de disección. La identificación de la especie se realizó morfológicamente antes de llevar a cabo el conteo. También se contabilizaron los organismos asociados que fueron capturados, se identificaron a nivel de orden, familia, género o especie según sus características morfológicas, su condición de conservación y complejidad en la trampa. Además, se colectaron con un aspirador entomológico para su identificación morfológica.

3.4.1.3. Análisis estadístico

Los conteos de individuos capturados de *Bradysia impatiens* se analizaron mediante el ajuste de modelos lineales generalizados con el software R (R Core Team, 2021). Específicamente, se usó Regresión Binomial Negativa para modelar los conteos absolutos y Regresión Binomial Negativa para Tasas para modelar el número de individuos capturados por cm². La función de enlace correspondiente al modelo de Regresión Binomial Negativa es la siguiente:

$$\log(\mu_{ij}) = C + T_j \quad (1)$$

Donde:

μ_{ij} : Es el conteo medio esperado de la i -ésima replicación del j -ésimo tipo de trampa ($i=1, \dots, 30$)

C : Es una constante

T_j : Es el efecto del j -ésimo tipo de trampa ($j=1, 2, 3, 4$)

Para el modelo de Regresión Binomial Negativa para Tasas la función de enlace es:

$$\log\left(\frac{\mu_{ij}}{A_j}\right) = C^* + T_j^* \quad (2)$$

Donde:

A_j : Es el área en cm² del j -ésimo tipo de trampa.

C^* : Es una constante

T_j^* : Es el efecto del j -ésimo tipo de trampa

3.4.1.4. Detección de enemigos naturales de *Bradysia impatiens*.

En las trampas instaladas en 2022 en Atlangatepec, se detectaron moscas de la familia Muscidae, las cuales no se consideraron de importancia en su momento; sin embargo, luego de conocer la detección de *Coenosia attenuata* en invernaderos de Jalisco como depredadora de *Bradysia impatiens* (Bautista-Martínez *et al.* 2017) y de revisar las trampas previamente evaluadas en la primera mitad de 2022, se encontraron ejemplares de esa especie; por ello y para constatar su presencia en Tlaxcala, del 2 al 9 de junio de 2023 se instalaron 20 trampas en el vivero de Atlangatepec. Las capturas se registraron y se identificaron a *C. attenuata* y *Kleidotoma* sp. como enemigos naturales de *B. impatiens*.

3.4.2. Segunda etapa: Muestreo con trampa bandera

La mejor trampa se utilizó para muestrear dos viveros de Toluca, Estado de México (Central e Invernadero), se instalaron el 31 de marzo de 2022; y dos viveros de Morelia, Michoacán (Morelos y Asociación de Silvicultores) el 1 de abril de 2022, obteniendo dos fechas de colecta el 21 de abril y 11 de mayo para los viveros del Estado de México, y el 22 de abril y 12 de mayo para los viveros de Michoacán, con una diferencia de 3 semanas por cada fecha debido a la baja captura semanal. Estos viveros producen planta de diferentes especies de pino, entre las más importantes *Pinus devoniana* Lindley, una especie cespitosa que presenta fuerte atracción del ataque de *B. impatiens*. Sin embargo, no se consideró a la especie como un factor importante ya que todas son hospedantes de la plaga como lo reporta la literatura.

Se instalaron 15 trampas en cada vivero por cada fecha, con un total de 120 trampas evaluadas en los cuatro viveros. Se trasladaron al laboratorio y se contaron con la misma metodología que se señala en la primera etapa, pero en este caso se diferenciaron entre organismos de diferentes clases y órdenes dentro de Artrópoda. De los resultados obtenidos se propusieron niveles poblacionales conforme a la condición fitosanitaria de los viveros.

3.4.2.1. Análisis estadístico

Se ajustó un modelo de Regresión Binomial Negativa a los datos de conteos, con la siguiente función de enlace:

$$\log(\mu_{ij}) = \alpha + V_j \quad (3)$$

Donde:

μ_{ij} : Es el conteo medio esperado en la i -ésima trampa del j -ésimo vivero ($i=1,\dots,60$)

α : Es una constante

V_j : Efecto del j -ésimo vivero ($j=1,2,3,4$)

Cabe aclarar que para el análisis estadístico se utilizaron los datos de las tres semanas de captura, y para definir los niveles poblacionales se calculó la captura semanal dividiendo los datos brutos entre el número de semanas que estuvieron establecidas las trampas, suponiendo que la captura semanal es uniforme.

3.5. Resultados

3.5.1. Primera parte

Se tuvieron registros del número de individuos capturados de *Bradysia impatiens* (Figura 4), y de otros dípteros de tamaño y coloración similar. El análisis estadístico se centró en *B. impatiens*, con un porcentaje de captura de 67.05% del total de organismos. Del total de la captura de la plaga, el 40.01% fue en la trampa bandera, 24.89% en la B (circular amarilla con orientación norte), 22.28% en la A (circular amarilla con exposición sur), y 12.80% en la testigo (circular sin color).



Figura 4. *Bradysia impatiens*. A) Hembra en el cuello de la raíz de *Agave salmiana*, B) Macho capturado en trampa bandera.

Primeramente, se ajustó el modelo con la regresión de Poisson a los datos de conteos, pero se encontró evidencia de sobre dispersión, al ser la varianza de los datos notablemente mayor que su media, lo cual limita la apropiabilidad del uso del modelo Poisson, que requiere que la media y varianza sean aproximadamente iguales. Esto se corrigió utilizando un modelo alternativo al Poisson que no requiere que varianza y media sean iguales, la regresión binomial negativa con función de enlace dada en la ecuación (1). Resultados de este ajuste respecto a la comparación de medias (Cuadro 1) arrojaron diferencias estadísticas entre las TAP contra la testigo, la A y B, fueron estadísticamente iguales ($p=0.3046$) y la trampa bandera fue superior a las demás.

El total de *B. impatiens* es la captura acumulada en las tres semanas, de igual manera el total representa el acumulado de organismos capturados. Para obtener la captura de *B. impatiens* por día se dividió la captura semanal por trampa entre el número de días, y se calculó la media por tipo de trampa.

Cuadro 1. Comparación de medias de captura de *Bradysia impatiens* por tipo de trampa.

Tipo de trampa	Media	Error estándar	Tukey	Total B.i	Total	B.i/Día
Bandera	160.60	12.11	a	14,454	21,012	25
B	97.11	8.43	b	8,740	13,016	14
A	79.48	6.91	b	7,153	11,651	12
Testigo	52.33	5.64	c	4,710	6,694	8

3.5.1.1. Corrección por diferencia de área

El análisis estadístico anterior se realizó con los conteos brutos por trampa, sin considerar la diferencia de tamaños, se corrigió ajustando una regresión binomial negativa para tasas con función de enlace en la ecuación (2). Se consideró como tasa de captura por centímetro cuadrado a la captura total de *B. impatiens* dividido entre el área de las trampas. Los resultados del ajuste del modelo mostraron los

mismos resultados a los del Cuadro 1, sin embargo, se descarta el error por diferencia de área.

3.5.1.2. Organismos asociados

Se capturaron dípteros de diferentes familias, tales como *Coenosia attenuata* (Muscidae), *Dasyhelea* sp. (Ceratopogonidae), Chironomidae, Psychodidae, Ephydriidae y Syrphidae. De las anteriores, *C. attenuata* es la única de importancia forestal (Figura 5), como depredador de *B. impatiens*. Adicionalmente, se capturó a *Kleidotoma* sp. (Hymenoptera: Figitidae), la cual es reportada como parasitoide de *B. impatiens* y de otros dípteros, incluyendo a *C. attenuata* (Buffington *et al.*, 2020).

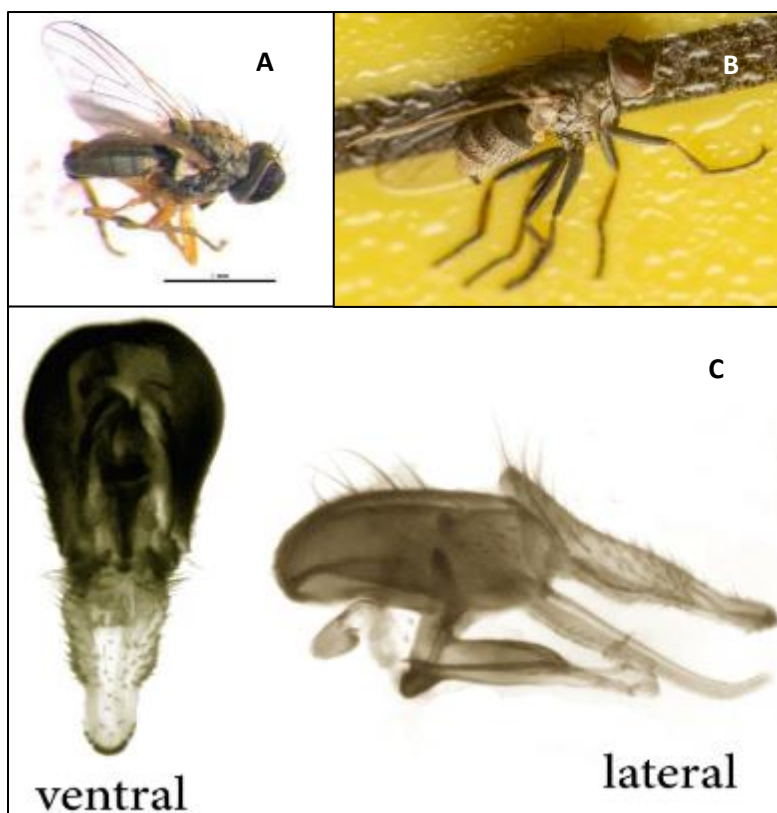


Figura 5. *Coenosia attenuata*. A) Adulto macho, B) hembra y C) genitalia de macho en vista ventral y lateral.

C. attenuata: Es una mosca pequeña de color gris claro. Los machos son más pequeños que las hembras. Las patas son amarillentas en los machos, en hembras son grisáceas. El abdomen es uniformemente gris claro en los machos y presenta algunas manchas más oscuras (Figura 5); en las hembras el abdomen presenta tres

rayas transversales negras distintas (Kaldor *et al.*, 2022). Se reportó por primera vez en México depredando a moscos fungosos y otras plagas en Zapopan, Jalisco (Bautista-Martínez *et al.*, 2017). Este es el primer reporte en Tlaxcala y Estado de México, el segundo a nivel nacional.

Dasyhelea sp. (Ceratopogonidae): Los mosquitos picadores de *Dasyhelea* (Figura 6-A) son un grupo grande, con morfología y biología diversas, tienen una distribución cosmopolita, sin embargo, no son de importancia forestal (Lu *et al.*, 2020).

Psychodidae: Esta familia presenta una gran variedad de hábitos alimenticios, algunos son saprofitos y micófagos (Figura 6-B), las hembras en ocasiones son hematófagas, lo que trae problemas de salud al ser humano, por lo que, aunque no tiene importancia forestal, presenta un problema médico al ser transmisores de enfermedades (Godínez-Álvarez y Ibáñez-Bernal, 2010).

Chironomidae: Son insectos de amplia distribución en cuerpos de agua, se alimentan de materia orgánica y en ocasiones son considerados como indicadores de contaminación acuática (Figura 6-C) (Oviedo-Machado y Reinoso-Flórez, 2009).

Ephydriidae: Son una familia diversa y ampliamente distribuida, no tienen importancia forestal, pero algunas son consideradas plagas agrícolas (Figura 6-D) (Mathis *et al.*, 2016).

Syrphidae: Es una familia muy diversa con presencia en diferentes hábitats del mundo (Figura 6-E). La subfamilia Syrphinae posee un gran número de especies que son depredadoras de hemípteros como las familias Aphididae, Coccoidea y Aleyrodidae (Arcaya-Sánchez *et al.*, 2017).



Figura 6. Otros dípteros capturados en las trampas amarillas pegajosas. A) *Dasyhelea* sp., B) Psychodidae, C) Chironomidae, D) Ephydriidae y E) Syrphidae.

Kleidotoma sp. (Figura 7): Las hembras buscan activamente a larvas de dípteros en ambientes como las heces de animales y materia orgánica en descomposición, por lo que hay una alta probabilidad de que parasite larvas de *B. impatiens* (Fontal y Nieves-Aldrey, 2004). Sin embargo, de la mayoría de las especies no se conocen los hospedantes. Aunque puede jugar un papel importante como parasitoide de la plaga, también se encuentra reportado parasitando a *C. attenuata* (Buffington *et al.*, 2020) y a Efídridos (Beardsley, 1990).



Figura 7. Macho de *Kleidotoma* sp. (Hymenoptera: Figitidae). Fotografía e identificación: U.M. Barrera-Ruíz.

En la detección de enemigos naturales se observó que la captura de *C. attenuata* en la trampa bandera fue 1.78% (113 de 6,327), en el caso de *Kleidotoma* sp. fue de 11.49% (727 de 6,327), y *B. impatiens* tuvo una captura de 68.92% (4,361 de 6,327).

3.5.2. Segunda parte

En este ensayo con trampa bandera, los datos de conteos de *Bradysia impatiens* se ajustaron a un modelo de regresión binomial negativa con función de enlace en la ecuación (3). La comparación de medias entre viveros muestra como los del Estado de México son diferentes a los de Michoacán, particularmente, el vivero central que tuvo una mayor cantidad de mosco fungoso negro capturado durante el periodo de evaluación, mientras que entre los viveros de Michoacán no existieron diferencias (Cuadro 2). La captura media por trampa refleja la capacidad de la herramienta y varía de acuerdo al vivero; en el vivero Central se obtuvo la media superior (209 adultos/trampa/3 semanas).

Para el cálculo de la captura de *B. impatiens* se dividió cada dato obtenido de tres semanas, entre el número de días de exposición de las trampas, y se calculó la media de las dos fechas evaluadas.

Cuadro 2. Comparación de medias de Tukey por vivero. Datos de 30 trampas, dos cambios de 15 trampas cada tres semanas.

Vivero	Media	Error	Tukey	Total B.i	Total	B.i/Día
Central	209.86	38.93	a	6,296	11,532	10
Invernadero	90.90	20.92	b	2,727	11,274	4
Morelos	38.26	2.75	c	1,148	2,301	2
A. Silvicultores	32.96	3.44	c	989	2,635	2

3.5.2.1. Niveles poblacionales

Según los datos obtenidos en los muestreos se identificaron niveles poblacionales de manera arbitraria, una población baja es representada por una captura semanal <30 adultos por trampa; de 30 a 60 adultos, la población es media y si sobrepasa 60 adultos, es alta (Figura 8).

Niveles poblacionales por semana de *B. impatiens* en viveros forestales

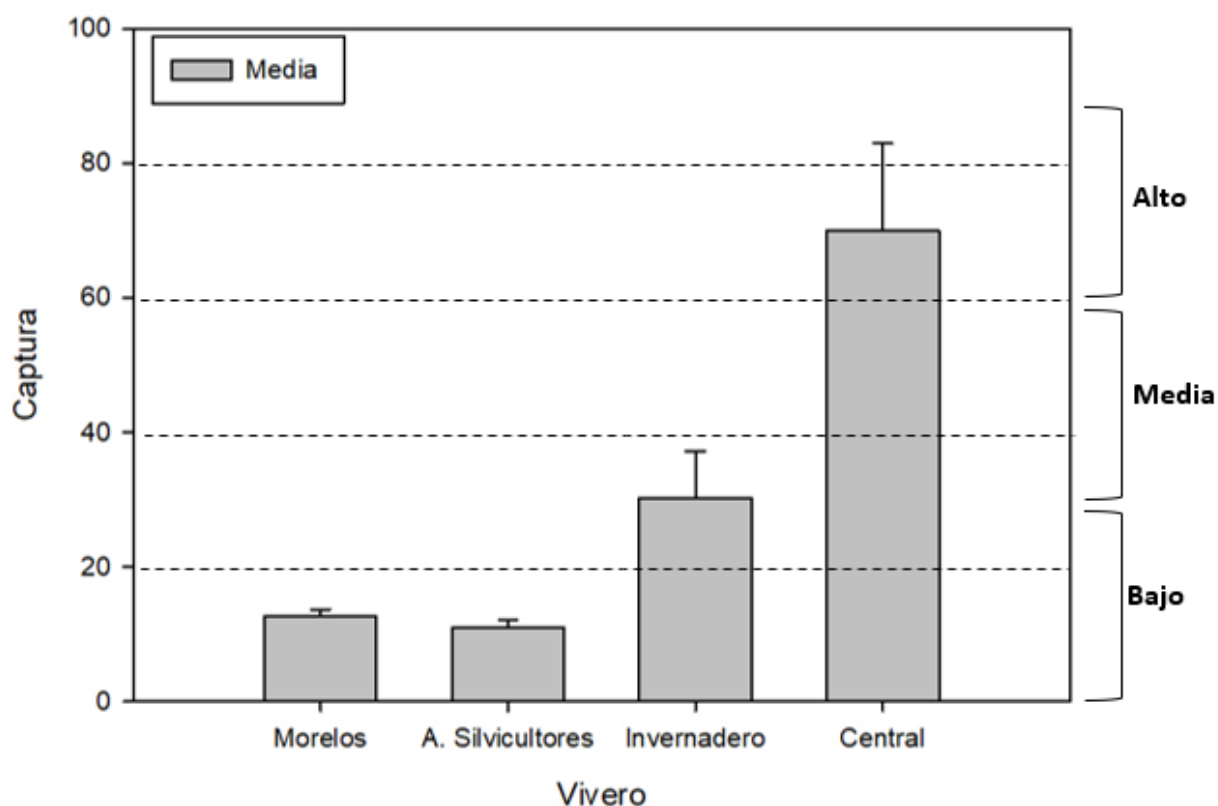


Figura 8. Niveles poblacionales en los viveros muestreados con la trampa bandera.

3.5.2.2. Organismos asociados

Se capturaron individuos de otros insectos, algunos sin relación con el mosquito fungoso, pero en el vivero central se encontró también a la mosca cazadora *Coenosia attenuata* (Diptera: Muscidae). Otros dípteros capturados fueron de Psychodidae y Ceratopogonidae (*Dasyhelea* sp.). Además, se capturaron Himenópteros, Hemípteros, Coleópteros, mosca blanca, Cicadélidos y Arácnidos.

3.5.3. Captura general de la trampa bandera

En el vivero Atlangatepec, la media porcentual de la captura de *B. impatiens* en la trampa bandera es de 68.78% (14,454 adultos de una captura de 21,012 organismos totales en las tres semanas, 30 trampas por fecha, con un acumulado de 90 trampas), en el vivero Morelos es de 49.89% (1,148 de 2,301) y 37.53% (989 de 2,635) en el de la Asociación de Silvicultores, y en los viveros Central e Invernadero fue de 54.59% (6,296 de 11,532) y 24.18% (2,727 de 11,274) respectivamente (seis semanas acumuladas, con 30 trampas acumuladas por vivero).

La trampa bandera en Atlangatepec capturó en promedio por día 14 machos y 11 hembras, en el vivero Morelos y el de la Asociación de Silvicultores se capturaron 1 macho y 1 hembra por día, en el vivero Central se capturaron 7 machos y 3 hembras por día, y en el vivero Invernadero se capturaron 3 machos y 1 hembra por día en promedio y con números redondeados.

3.6. Discusión

La forma de las trampas evaluadas fue decidida respecto a los materiales disponibles, se prefirió utilizar productos de fácil adquisición, modificándolos para su elaboración final. El costo de la trampa bandera fue solo la cuarta parte de cada trampa original, por lo que se cumplió con lo establecido por Barrera *et al.*, (2006) para considerar eficiente a un método de monitoreo. Durante la experiencia de campo fue evidente que utilizar trampas grandes resulta complicado para el evaluador, ya que son difíciles de contar y existe mayor probabilidad de equivocarse. Mohrig y Blasco-Zumeta (1995) encontraron que trampas de forma circular, pero no pegajosas, han sido más eficientes que otras para capturar

ciáridos, en nuestro caso, la trampa rectangular tuvo mayores capturas por centímetro cuadrado que las circulares, aunque estas últimas también son funcionales para detectar niveles poblacionales. En las trampas transparentes hubo menores capturas que en las amarillas, logrando evaluar la influencia del color amarillo como atrayente de los adultos de *B. impatiens*, lo cual es concordante con lo mencionado por Cloyd *et al.*, (2007); Atakan y Pehlivan (2015); Arismendi *et al.*, (2009); Murtaza *et al.*, (2019); Prema *et al.*, (2018).

En la comparación de tipo de trampas, uno de los factores que se consideró fue la orientación de las trampas, debido a que en la zona de estudio (Atlangatepec, Tlaxcala) las principales rachas de viento provienen del sur y norte, por ello se eligieron para la disposición de la trampa circular amarilla (A y B), sin embargo, se observó que el viento se presentó con mayor frecuencia e intensidad de sur a norte, por lo que se decidió colocar las trampas bandera y testigo hacia la orientación sur, pero los resultados mostraron que hubo mayor captura en la orientación norte en la trampa B, debido posiblemente a que el viento tuvo un papel de repeler la presencia de *B. impatiens*, ya que como señala Wilkinson y Daugherty (1970), los adultos poseen un vuelo débil, es por estos resultados que para monitorear a esta especie se recomienda colocar las trampas en orientaciones donde no haya presencia de viento excesivo.

En el estudio se utilizaron tamaños relativamente pequeños, 114 cm² y 150 cm², en forma circular y rectangular respectivamente, y a pesar de ser superficies pequeñas, cuando se tuvieron grandes números de insectos, resultó complicado contar el total, por lo que se tuvieron que tomar muestras de las superficies, en el caso de la trampa circular secciones en forma de pastel y en el caso de las rectangulares hileras del reticulado. En otros estudios generalmente las trampas utilizadas para monitoreo son grandes de difícil evaluación por ejemplo 440 cm² (Chen *et al.*, 2004), en algunos casos son similares a los tamaños probados (161 cm²). Heinz *et al.*, (1992) sugieren contar el 20% de la captura para agilizar la evaluación.

La altura de las trampas estuvo en función de la altura de la planta (Yoon *et al.*, 2018), pero no sobrepasó los 10 cm por encima del ápice de las plantas, debido a

que *B. impatiens* tiene un comportamiento de vuelo corto que se percibe como salto, y además prefiere mantenerse en sitios húmedos y sombreados bajo la protección del follaje de la planta (Wilkinson y Daugherty, 1970).

Los niveles poblacionales clasificados como bajo, medio y alto, fueron elegidos de manera arbitraria, considerando la condición fitosanitaria de los viveros, por lo que son valores de referencia que pueden ser ajustados con la cuantificación de daños por *B. impatiens* y con los costos de combate, podrían ser usados como base para tomar decisiones sobre tamaño poblacional de la plaga. Con esta estimación se sugiere iniciar actividades preventivas cuando el nivel poblacional alcanza el nivel medio, y aplicar métodos de combate conforme lo indica el Comité de Acción contra la Resistencia a los Insecticidas (IRAC, por sus siglas en inglés).

Marín-Cruz *et al.*, (2015) encontraron una proporción de sexos de 2.41 hembras por cada macho, en este estudio se capturó un mayor número de machos (0.9 hembras por macho), pudiera ser que el peso de los huevos en las hembras les impide volar con facilidad a diferencia de los machos.

Es posible que el desplazamiento de *B. impatiens* en el país se facilite con el transporte de planta infestada (Marín-Cruz *et al.*, 2022), que, a su vez, trae consigo el movimiento de *C. attenuata*, especie que ahora encontramos en el Estado de México y Tlaxcala. Zou *et al.*, (2021) reportan a *C. attenuata* atacando *Bradysia impatiens*, siendo capaz de ingerir desde 12 a 24 adultos por individuo de *C. attenuata* al día.

Por otro lado, *Kleidotoma* sp., tiene el potencial de parasitar a muchas especies de dípteros, inclusive puede estar mermando la población de mosca cazadora, reduciendo su capacidad depredadora (Buffington *et al.*, 2020).

La mosca *Dasyhelea* sp., y las de Chironomidae y Ephydriidae se capturaron en las TAP, su parecido en tamaño, color y forma con *B. impatiens* pueden confundir al viverista al momento de contar la captura en las trampas, por lo que es necesaria la capacitación del personal de los viveros en la identificación de los adultos, incluso los adultos de Psychodidae y Syrphidae pueden confundir al evaluador y llevarlo a

tomar decisiones equivocadas (Godínez-Álvarez, y Ibáñez-Bernal, 2010; Arcaya-Sánchez *et al.*, 2017).

3.7. Conclusiones

La trampa bandera es la mejor y más eficiente herramienta para monitorear *B. impatiens* en viveros forestales, debido a su facilidad de evaluación, capacidad de captura de adultos y bajo costo.

Los niveles poblacionales encontrados son un primer acercamiento a la estimación del umbral económico para la plaga, sin embargo, hace falta investigación para relacionarlos con costos de combate y cuantificar los daños por una densidad poblacional determinada.

La mosca depredadora *Coenosia attenuata* tiene un porcentaje de captura bajo en las trampas amarillas pegajosas, por lo que estas herramientas no representan una amenaza para sus poblaciones.

Los organismos asociados capturados presentan un porcentaje de captura considerable con respecto a la plaga objetivo, además tienen una apariencia y tamaño muy similares al mosco fungoso negro por lo que pueden confundirse fácilmente, por ello tomar muestras representativas y obtener el porcentaje aproximado de la plaga y organismos asociados ayudará a tener mejores estimaciones de la población de interés.

Hace falta proponer un plan de Manejo Integrado de Plagas para *Bradysia impatiens*, donde se incluya la herramienta evaluada, y el depredador *C. attenuata* como control biológico. Además, se debe estudiar a *Kleidotoma* sp. para identificar su potencial como parasitoide de la plaga y de *C. attenuata*.

Conflicto de intereses

Declaramos no tener conflictos de intereses.

3.8. Literatura citada

Arismendi, N., Carrillo, R., Andrade, N., Riegel, R., y Rojas, E. (2009). Evaluación del color y la posición de trampas en la captura de cicadélidos en *Gaultheria*

- phillyreifolia* (Ericaceae) afectadas por fitoplasmas. *Neotropical Entomology*, 38(6), 754–761. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2009000600008>
- Atakan, E. y Pehlivan, S. (2015). Attractiveness of various colored sticky traps to some pollinating insects in apple. *Turkish Journal of Zoology*, 39(3), 474-481. <https://doi.org/10.3906/zoo-1403-62>
- Barrera, J.F., Montoya, P., y Rojas, J. (2006). Bases para la aplicación de sistemas de trampas y atrayentes en manejo integrado de plagas. En “Trampas y atrayentes en detección, monitoreo y control de Plagas de importancia económica”. Barrera J. F y P. Montoya (eds.) *Sociedad Mexicana de Entomología y el Colegio de la Frontera Sur*. Manzanillo, Colima, México. ISBN 970-9712-28-4. pp. 1-16. https://www.researchgate.net/publication/237736490_Bases_para_la_aplicacion_de_sistemas_de_trampas_y_atrayentes_en_manejo_integrado_de_plagas
- Bautista-Martínez, N., Illescas-Riquelme, C.P., García-Ávila, C.J. (2017). First Report of “Hunter-Fly” *Coenosia attenuata* (Diptera: Muscidae) in Mexico. *Florida Entomologist*, 100(1), 174-175. <https://doi.org/10.1653/024.100.0126>
- Carrillo-Arámbula, L., Infante, F., Cavalleri, A., Gómez, J., Ortiz, J.A., Fanson, B.G., y González, F.J. (2022). Colored sticky traps for monitoring phytophagous thrips (Thysanoptera) in mango agroecosystems, and their impact on beneficial insects. *PLoS One*, 17(11), 1-20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276865>
- Chen, T., Chu, C., Henneberry, T.J., y Umeda, K. (2004). Monitoring and Trapping Insects on Poinsettia with Yellow Sticky Card Traps Equipped with Light-emitting Diodes. *HortTechnology*, 14(3), 337-341. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.14.3.0337>
- Cloyd, R.A., Dickinson, A., Larson, R.A., y Marley, K.A. (2007). Phototaxis of Fungus Gnat, *Bradysia* sp. nr *coprophila* (Lintner) (Diptera: Sciaridae), Adults to Different Light Intensities. *HortScience*, 42(5), 1217-1220. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.5.1217>
- García-Díaz, S.E., Aldrete, A., Alvarado-Rosales, D., Cibrián-Tovar, D., Méndez-Montiel, J.T., Valdovinos-Ponce, G., y Equihua-Martínez, A. (2017). Efecto de *Fusarium circinatum* en la germinación y crecimiento de plántulas de *Pinus greggii* en tres sustratos. *Agrociencia*, 51(8), 895-908. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000800895&lng=es&tlng=es
- Godínez-Álvarez, A., y Ibáñez-Bernal, S. (2010). Catálogo de Psychodidae (Diptera) de la Colección de Artrópodos con Importancia Médica del INDRE, Secretaría de Salud, México. *Acta zoológica mexicana*, 26(1), 99-121.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372010000100008&lng=es&tlng=es

- Heinz, K.M., Parrella, M.P., y Newman, J.P. (1992). Time-Efficient Use of Yellow Sticky Traps in Monitoring Insect Populations. *Journal of Economic Entomology*, 85(6), 2263–2269. <https://doi.org/10.1093/jee/85.6.2263>
- Kaldor A.D., McHugh J.V., Schmidt J.M., Luo X., Gariepy T.D., Blaauw B.R. (2022). First Documented Wild Population of the "Hunter Fly", *Coenosia attenuata* Stein (Diptera: Muscidae) in North America. *Insects*, 13(11), 970. doi:10.3390/insects13110970.
- Kim, H.H., Jeon, H.Y., Yang, C.Y., Kang, T.J., y Han, Y.K. (2009). Transmission of *Fusarium oxysporum* by the Fungus Gnat, *Bradysia difformis* (Diptera: Sciaridae). *Research in Plant Disease*, 15(3), 262-265. <https://doi.org/10.5423/rpd.2009.15.3.262>
- Lu, X., Duan, C., Ning, Y., Jiang, X.H., Hou, X.H. (2020). Morphology of the immature stages of *Dasyhelea silvatica* Wang, Zhang & Yu with redescrptions of adults (Diptera, Ceratopogonidae). *Zookeys*, 961:119-127. doi:10.3897/zookeys.961.53882.
- Marín-Cruz, V.H., Cibrián-Tovar, D., Méndez-Montiel, J.T., Pérez-Vera, O.A., Cadena-Meneses, J.A., Huerta, H., Rodríguez-Yam, G., y Cruz-Rodríguez, J.A. (2015). Biología de *Lycoriella ingenua* y *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae). *Madera y bosques*, 21(1), 113-128. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712015000100009&lng=es&tlng=es
- Marín-Cruz, V.H., Cibrián-Tovar, D., García-Díaz, S.E., Pérez-Vera, O.A., Huerta-Jiménez, H. y Magdaleno-Hernández, E. (2022). Identificación y distribución del mosquito fungoso negro, *Bradysia impatiens* Johannsen, 1912 (Diptera: Sciaridae) en viveros de clima templado. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(73), 175-196. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i73.1261>
- Mathis, W.N., Júnior, F.D.A.R., y Couri, M.S. (2016). Family Ephydriidae. *Zootaxa*, 4122(1), 752-770. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4122.1.64>
- Moravvej, G., Heidari-Latibari, M. y Ghafouri-Moghaddam, M. (2022) New record of black fungus gnat (Diptera: Sciaroidea, Sciaridae) from Iran, with a first record for the fauna of the Middle East. *Journal of Insect Biodiversity and Systematics*, 8(2), 207–218. <https://doi.org/10.52547/jibs.8.2.207>
- Mohrig, W., y Blasco-Zumeta, J. (1995). The sciarid fauna (Diptera, Sciaridae) of a *Juniperus thurifera* L. forest of the Monegros region (Zaragoza, Spain) with description of ten new species. *Miscellània Zoològica*, 18, 99-116. <https://raco.cat/index.php/Mzoologica/article/view/90452>

- Murtaza, G., Ramzan, M., Ghani, M.U., Munawar, N., Majeed, M., Perveen, A., y Umar, K. (2019). Effectiveness of different traps for monitoring sucking and chewing insect pests of crops. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences*, 12(6), 15-21. doi:10.21608/eajbsa.2019.58298
- Oviedo-Machado, N., y Reinoso-Flórez, G. (2018). Aspectos ecológicos de larvas de Chironomidae (Diptera) del río Opia (Tolima, Colombia). *Revista Colombiana de Entomología*, 44(1), 101-109. <https://doi.org/10.25100/socolen.v44i1.6546>
- Prema, M.S., Ganapathy, N., Renukadevi, P., Mohankumar, S., y Kennedy, J.S. (2018). Coloured sticky traps to monitor thrips population in cotton. Red, 625, 740nm. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(2), 948-952. www.entomoljournal.com
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Santos, A.O., Herney-Varón, D.E., Gaigl, A., y Floriano, A. (2012). Nivel de daño económico para *Neohydatothrips signifer* (Thysanoptera: Thripidae) en maracuyá en el Huila, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 38(1), 23-29. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-04882012000100004&lng=en&tlng=es
- Stern, V., Smith, R., van-den-Bosch, R. y Hagen, K. (1959). The integration of chemical and biological control of the spotted alfalfa aphid: The integrated control concept. *Hilgardia*, 29(2), 81-101. doi:10.3733/hilg.v29n02p081
- Villanueva-Sánchez, E., Ibáñez-Bernal, S., Lomelí-Flores, J.R., y Valdez-Carrasco, J. (2013). Identificación y caracterización de la mosca negra *Bradysia difformis* (Diptera: Sciaridae) en el cultivo de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima*) en el centro de México. *Acta zoológica mexicana*, 29(2), 363-375. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372013000200008&lng=es&tlng=es
- Wilkinson, J.D. y Daugherty, D.M. (1970). The Biology and Immature Stages of *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae). *Annals of the Entomological Society of America*, 63(3), 656-660. <https://doi.org/10.1093/aesa/63.3.656>
- Yoon, J.B., Kim, H.H., Kim, D.H., Yang, C.Y. y Seo, M.H. (2018). Optimal height of installing sticky traps for monitoring fungus gnats. *Journal of Mushrooms*, 16(1), 57-60. <http://dx.doi.org/10.14480/JM.2018.16.1.57>
- Zou, D., Coudron, T.A., Zhang, L., Xu, W., Xu, J., Wang, M., Xiao, X., Wu, H. (2021). Effect of Prey Species and Prey Densities on the Performance of Adult *Coenosia attenuata*. *Insects*, 12(8): 669. doi:10.3390/insects12080669.

CAPITULO 4. EFECTIVIDAD BIOLÓGICA DE INSECTICIDAS QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS EN EL COMBATE DEL MOSCO FUNGOSO NEGRO (*Bradysia impatiens* JOHANNSEN) EN VIVEROS FORESTALES

Biological effectiveness of chemical and biological insecticides against the black fungus gnat (*Bradysia impatiens* Johannsen) in forest nurseries

Pablo Martínez-Gil¹, David Cibrián-Tovar^{1*}, Antonio Villanueva-Morales¹, Víctor Hugo Marín-Cruz², Evert Villanueva-Sánchez³

¹Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Carretera México–Texcoco Km. 38.5, CP 56230, Texcoco, Estado de México, México.

²Universidad para el Bienestar Benito Juárez García: Unidad Milpa Alta, CDMX, México.

³Laboratorio Nacional de Investigación y Servicio Agroalimentario y Forestal, CONACYT–UACH. Carretera México–Texcoco Km. 38.5, CP 56230, Texcoco, Estado de México, México.

*Corresponding author: dcibrian48@gmail.com; tel.: +52 595 95 17399

Aspectos destacados:

El mosco fungoso negro es la principal plaga en viveros forestales y puede causar grandes pérdidas económicas.

Imidacloprid es el tratamiento químico más efectivo para reducir la población de la plaga de la manera correcta para evitar resistencia del insecto.

Bti y *Steinernema feltiae* son tratamientos biológicos con efectividad comparable con tratamientos químicos, incluso mejor que algunos.

La utilización de enemigos naturales de plagas puede reducir considerablemente el uso de productos sintéticos contaminantes.

4.1. Resumen

Introducción: El mosco fungoso negro tiene gran importancia en la sanidad de los viveros forestales de México, lo que justifica su combate mediante diferentes tácticas.

Objetivos: Identificar el tratamiento de combate más efectivo para regular la población de la plaga, y probar tratamientos biológicos como una alternativa para combatir al mosco fungoso negro.

Materiales y métodos: Se evaluó la efectividad de productos biológicos y químicos; se aplicaron en cuatro bloques completos al azar definidos por sus condiciones ambientales en el vivero de Atlangatepec, Tlaxcala, con producción de *Agave salmiana*. Se evaluaron con la emergencia de adultos una semana después de la aplicación de los tratamientos y fueron analizados con modelos lineales generalizados mixtos.

Resultados y discusión: El tratamiento más eficiente fue imidacloprid con la mayor diferencia estadística en la comparación de medias con respecto al testigo, seguido por Bti y *S. feltiae*; los productos químicos abamectina, tiametoxan y permetrina, tuvieron una efectividad baja, y *B. bassiana* tuvo la mayor similitud al testigo de todos los tratamientos. Por otra parte, imidacloprid ya había sido evaluado en laboratorio contra *B. impatiens* y se habían obtenido los mismos resultados en otras investigaciones; la mayoría de los tratamientos ya habían sido probados en laboratorio, al contrastar los resultados se encuentran diferencias, esto es atribuido a las condiciones ambientales de los viveros, donde no se pueden controlar las variables climáticas.

Conclusiones: Imidacloprid, Bti y *S. feltiae* son los tratamientos más efectivos y los que deben proponerse en un MIP.

Palabras clave: enemigos naturales; plaga; GLIMMIX; regresión binomial negativa; resistencia a insecticidas

Key words: natural enemies; pest; GLIMMIX; negative binomial regression; insecticide resistance

4.2. Abstract

Introduction: The black fungus gnat is of great importance in the health of forest nurseries in Mexico, which justifies its combat through different tactics.

Objectives: To identify the most effective control treatment to regulate the pest population, and to test biological treatments as an alternative to combat the black fungus gnat.

Materials and methods: The effectiveness of biological and chemical products was evaluated; they were applied in four randomized complete blocks defined by their environmental conditions in the nursery of Atlangatepec, Tlaxcala, with production of *Agave salmiana*. They were evaluated with the emergence of adults one week after the application of the treatments and were analyzed with generalized linear mixed models.

Results and discussion: The most efficient treatment was imidacloprid with the greatest statistical difference in the comparison of means with respect to the control, followed by Bti and *S. feltiae*; the chemicals abamectin, thiamethoxan and permethrin, had low effectiveness, and *B. bassiana* had the greatest similarity to the control of all treatments. On the other hand, imidacloprid had already been evaluated in the laboratory against *B. impatiens* and the same results had been obtained in other investigations; most of the treatments had already been tested in the laboratory; when contrasting the results, differences were found, this is attributed to the environmental conditions of the nurseries, where climatic variables cannot be controlled.

Conclusions: Imidacloprid, Bti and *S. feltiae* are the most effective treatments and the ones that should be proposed in an IPM.

4.3. Introducción

Los moscos fungosos pertenecen a la familia Sciaridae, son organismos sumamente evolucionados, cuya alimentación se centra en hongos y materia orgánica (Wilkinson y Daugherty, 1970), sin embargo, tienen la capacidad de cambiar sus hábitos para alimentarse de raíces y tallos de plantas pequeñas, además tienen la habilidad de dispersar enfermedades fitopatológicas ocasionadas por hongos que son vectorizados a plantas, como numerosos autores lo señalan, por ejemplo *Pythium* (Braun et al., 2012; Gardiner et al., 1990), *Verticillium albo atrum* (Kalb y Millar, 1986), *Fusarium oxysporum* (Gillespie y Menzies, 1993).

Asimismo, se trata de un organismo que continúa evolucionando y que, además, a corto plazo presenta una gran plasticidad para modificar su ciclo biológico según las condiciones ambientales (Wilkinson y Daugherty, 1970), puede modificar su alimentación y recientemente Budziszewska *et al.*, (2021), encontraron potencial en *Bradysia impatiens* como vector del virus del atrofiamiento de cacahuete mediante ingesta de cepas del virus por parte de larvas del mosquito, que luego fueron establecidas en la planta para poder evaluar la transmisión del virus, encontraron que el virus fue dispersado de manera exitosa a planta de *Nicotiana benthamiana*, sin embargo, no expresó síntomas de la enfermedad, pero el potencial de ser vector del virus se mantiene latente, por lo tanto, esta plaga va tomando cada vez más importancia en diferentes campos.

En México, *B. impatiens* es el ciárido con mayor distribución (Marín-Cruz *et al.*, 2022), pero su importancia va más allá de un problema fitosanitario nacional, dado que su distribución es cosmopolita; en Brasil se ha encontrado atacando cultivos de fresas en invernaderos, donde se reporta la presencia del mosquito en un 90.79% con respecto a 9.21% de *B. ocellaris* (Duarte *et al.*, 2022). Debido a su importancia económica en diferentes ámbitos se ha justificado su combate, sin embargo, pocos trabajos han evaluado el efecto a nivel de campo, invernadero o vivero, como es el caso de esta investigación, en la cual se evalúa la efectividad biológica de tres productos biológicos y cuatro químicos en el combate y regulación de la población plaga, para así proponer su utilización en el programa de manejo integrado de la plaga.

El objetivo de este estudio fue evaluar tratamientos de combate de dos tácticas, biológico y químico, para conocer cuál es el producto comercial más eficiente, que permita mantener la población del mosquito fungoso en un nivel aceptable, además de resaltar la importancia de los productos biológicos y su efectividad si se aplican adecuadamente, lo que permitirá reducir la utilización de agroquímicos y evitar contaminación ambiental, resistencia a insecticidas y salvaguardar la salud humana.

4.4. Materiales y métodos

En el vivero forestal de Atlangatepec, Tlaxcala, con producción de 500,000 de plantas de maguey pulquero (*Agave salmiana*), se establecieron bloques completos al azar donde se aplicaron 7 tratamientos de combate más el testigo, los primeros tres tratamientos son productos biológicos, los siguientes cuatro son químicos, todos productos comerciales (Cuadro 1).

Cuadro 3. Tratamientos evaluados, su nombre comercial, ingrediente activo y dosis.

Trat.	Nombre Comercial	Ingrediente Activo	Dosis recomendada	Concentración	Dosis por litro de agua
1	Beauveria-bassiana®	<i>Beauveria bassiana</i> 1%	1×10^{12} conidios / ha	1×10^{10} conidios / l	10 ml
2	Gnatrol®	<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>israelensis</i> (374 g de i. a. /Kg)	8-16 g/m ²	1.87 g/l	5 ml
3	Entonem®	<i>Steinernema feltiae</i> 50 millones de nematodos por bolsa	500,000 nematodos/m ²	50 nematodos / 1 cm ²	*
4	AGRIMEC® 1.8% CE	Abamectina (18 g de i. a. / l)	1.5 l/ha	0.27 g/l	0.015ml
5	CONFIDOR® 350 SC	Imidacloprid (350 g de i.a./l)	1.5 l/ha	5.25 g/l	15 ml
6	ENGEO®	Tiametoxan (141g de i. a. /l)	0.4 ml/ha	0.56 g/l	4 ml
7	MATAGUS® 34	Permetrina (340 g de i.a./l)	0.6 l / ha	2.04 g/l	4 ml
8	Testigo	Agua destilada	---	----	1 l

4.4.1. Descripción de tratamientos

Beauveria bassiana es un hongo entomopatógeno del grupo Ascomycota que actúa al ser ingerido por el insecto, produce enzimas y metabolitos secundarios que pueden inhibir la reproducción o el ciclo biológico del mosquito (Marín-Cruz *et al.*, 2017).

Bacillus thuringiensis es una bacteria grampositiva que produce endosporas con actividad insecticida, además, posee variedades o subespecies que tienen la capacidad de atacar a organismos de grupos particulares, entre ellos el orden Díptera, esto es ocasionado por genes llamados Cry y Cyt (Wang *et al.*, 2020), en el caso de dípteros, la especie más apropiada es Bti ya que se ha probado su efectividad en el mosquito, donde se obtuvieron resultados favoreciendo al organismo entomopatógeno (Marín-Cruz *et al.*, 2015).

Steinernema feltiae es un nematodo entomopatógeno comercializado para combatir diferentes especies de plagas (Chen *et al.*, 2020), la etapa que lleva a cabo la búsqueda e infección se llama juvenil infectivo o dauer, el cual tiene la capacidad de realizar búsqueda activa e ingresar al hospedero para convertirse en una fase parasítica, además, en simbiosis con bacterias que viven dentro de su cuerpo son capaces de causar la mortalidad del organismo en un tiempo relativamente corto (Mashela *et al.*, 2020).

Abamectina es un insecticida del grupo de los moduladores alostéricos de los canales de cloruro activados por glutamato, del subgrupo de Avermectinas y Milbemicinas (IRAC, 2023).

Imidacloprid y Tiametoxan son insecticidas del grupo de los moduladores competitivos del receptor nicotínico de acetilcolina, más específicamente de los neonicotinoides (IRAC, 2023).

Permetrina, insecticida del grupo de los moduladores del canal de sodio, y del subgrupo de los piretroides y piretrinas, todos los insecticidas químicos probados en esta investigación atacan a los sistemas nervioso y muscular (IRAC, 2023).

4.4.2. Evaluación y análisis estadístico

La evaluación se hizo una semana después de la aplicación, se tomó una muestra del 10% de la población total, las plantas junto con el cepellón fueron colocadas dentro de bolsas Ziploc donde se mantuvo la humedad adecuada para favorecer la emergencia de adultos. Se cuantificaron los adultos emergidos diariamente por cada tratamiento en los 4 bloques, se capturaron y guardaron en alcohol al 70%. La

identificación morfológica fue realizada por el Dr. Víctor Hugo Marín Cruz y el M.C. Herón Huerta Jiménez.

Se registró el número de individuos adultos y larvas emergidos en las muestras de cada tratamiento. El análisis estadístico se realizó en SAS mediante modelos lineales generalizados mixtos, utilizando el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + T + \beta + \epsilon$$

Donde:

Y_{ij} : es la j-ésima observación del i-ésimo tratamiento

μ : es la media general

T: es el efecto de los tratamientos

β : es el efecto de los bloques

ϵ : es el error aleatorio

4.5. Resultados

Todos los tratamientos fueron efectivos respecto al testigo, sin embargo, el que tuvo mayor efectividad fue imidacloprid, con una media de emergencia de adultos de apenas 1.025, contra 16.5 adultos como media del testigo. Estadísticamente, el tratamiento con imidacloprid (5) fue considerablemente diferente a todos los demás; cabe señalar que los tratamientos biológicos de *Bacillus thuriangiensis* var. *israelensis* y *Steinernema feltiae* tuvieron una capacidad de combate mayor al resto de tratamientos exceptuando a imidacloprid.

En orden de importancia, los tratamientos más efectivos fueron imidacloprid (5), Bti (2), *S. feltiae* (3), abamectina (4) y permetrina (7). Los que tuvieron un efecto bajo fueron tiametoxan (6) y *Beauveria bassiana* (1), los cuales tuvieron resultados similares al testigo, en el cuadro 2 los tratamientos con diferentes letras de agrupamiento tienen diferencias estadísticas con $p=0.05$.

Cuadro 4. Comparación de medias de tratamientos.

Tratamiento	Media	Error estándar media	Estimador	Tukey-Kramer		
8	16.4103	1.9359	2.7979	A		
1	10.7135	0.8949	2.3715	B	A	
6	9.6391	1.1034	2.2658	B	A	C
7	8.9502	1.4846	2.1917	B	A	C
4	8.1394	0.2353	2.0967	B	A	C
3	5.9946	1.7273	1.7909	B	C	
2	4.7858	1.6441	1.5657	C		
5	1.0127	2.8839	0.01264	D		

Los tratamientos con menor media son los más eficientes para el combate.

4.6. Discusión

Marín-Cruz *et al.*, (2015), evaluaron 18 tratamientos de combate más el testigo en vivero, pero de manera experimental, ya que se trató de una pequeña muestra. En gran medida se trató de la evaluación de la efectividad de insecticidas químicos para combatir a *B. impatiens*, donde resultó ser más eficiente el insecticida de los neonicotinoides imidacloprid, en sus tres niveles de dosis: baja, media y alta; cabe aclarar que todos los tratamientos fueron eficientes respecto al testigo, además, *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* estuvo entre los mejores productos por lo que se recomendó continuar con su evaluación en combate de la plaga. Respecto a las dosis utilizadas, para imidacloprid se utilizó la dosis recomendada en el producto 0.5 ml/l⁻¹, mientras que las dosis alta y baja fueron de 0.6 ml/l⁻¹ y 0.4 ml/l⁻¹ respectivamente, la dosis utilizada en esta investigación fue de 15 ml/l⁻¹ la cual es la recomendada por el producto utilizado actualmente, y de igual manera se llegó al resultado de que fue el más eficiente para el combate del mosco. Por otro lado, Bti tuvo mayor eficiencia en esta evaluación que en la reportada por Marín-Cruz *et al.*, (2015), al ser el segundo más eficiente solamente superado por Imidacloprid; lo anterior indica que su eficiencia no se ve afectada considerablemente por condiciones ambientales no controladas.

Respecto al combate biológico con nematodos entomopatógenos, fue el tercer tratamiento más eficiente. Chen *et al.*, (2020), probaron diferentes especies de nematodos entomopatógenos en el combate de *Bradysia odoriphaga*, entre ellos *Steinernema feltiae*, *S. carpocapseae*, *Heterorhabditis bacteriophora*, *H. indica*, todos fueron eficientes respecto al testigo; esto podría ser un antecedente para poder abrirse a otras opciones y probar otras especies de nematodos contra *B. impatiens*, aunque ciertamente la especie más comercializadas es *S. feltiae*, la cual ha resultado ser la mejor para combatir al mosquito, superando a *S. carpocapseae* y *Heterorhabditis bacteriophora*. Continuando en el campo de acción del combate biológico, Zou *et al.*, (2021) reportan a *Coenosia attenuata* atacando *Bradysia impatiens*, este insecto puede ser un depredador importante ya que se señala que es capaz de ingerir desde 12 a 24 adultos por individuo de *Coenosia* al día. Esta especie fue encontrada en el vivero estudiado capturada por trampas amarillas pegajosas evaluadas en otra investigación, por lo que debería incluirse en el programa de manejo de la plaga.

Marín-Cruz *et al.*, (2017) probaron productos sintetizados de cepas nativas de *Beauveria bassiana*, enzimas, metabolitos y extracto crudo, con una concentración de 1×10^7 conidios/ml⁻¹, obteniendo resultados sobre mortalidad y malformaciones sobre individuos de *B. impatiens*, teniéndose como una alternativa además del mismo agente entomopatógeno. Sin embargo, el bioensayo fue llevado a cabo en condiciones de laboratorio, todas las variables ambientales se mantuvieron constantes y se aplicaron los productos directamente sobre la plaga, situación difícil de replicar en los viveros forestales, pero vale la pena probarlo para poder observar su efectividad. Más recientemente, Ríos *et al.*, (2020) con dos aplicaciones de *B. bassiana* con una dosis de 1×10^7 , sobre *Bemisia tabaci*, tuvo baja virulencia. Vianna *et al.*, (2018) aplicaron *B. bassiana* con 1×10^8 para combatir al gusano cogollero (*Helicoverpa gelotopoeon*) y obtuvieron buenos resultados en condiciones de laboratorio, pero no ha sido probado en campo. Comparando los resultados de los autores con los obtenidos en esta investigación, la concentración aplicada fue de 1×10^{12} conidios/ml, superior a las reportadas por los anteriores autores, no obstante,

fue el tratamiento con menor eficiencia en el combate, por lo que no resultó ser una buena opción para el combate en vivero.

Gou *et al.*, (2022), evaluaron isotiocianato de alilo en diferentes condiciones de CO₂, para determinar el nivel de concentración letal para *Bradysia impatiens* en laboratorio, determinaron que mediante fumigación puede ser una alternativa para reducir la tasa de pupación, tasa de emergencia de adultos y oviposición, además se acortó la vida de hembras y machos adultos, no obstante el método de fumigación en un ambiente de producción en vivero puede resultar complicado de aplicar y por ende se vería afectada la efectividad.

Cloyd (2015) propone utilizar diversas tácticas en invernaderos para mitigar el impacto de las diferentes especies de *Bradysia* que son plaga en estos agroecosistemas, entre ellos se encuentran el combate cultural, biológico y químico principalmente, sin embargo, se centran en las actividades preventivas, las propuestas son interesantes porque se trata de integrar diferentes tácticas, estudiadas por diferentes autores, en un plan de manejo integrado de plagas.

4.7. Conclusiones

El tratamiento más eficiente fue imidacloprid, confirmado por otros autores, pero es necesario manejar la resistencia del mosco al insecticida para evitar generarla y ocasionar problemas mayores. El resto de tratamientos con base en productos químicos no deben considerarse para combatir a la plaga, ya que podría generar más problemas que soluciones, además de gastos no justificados.

Los tratamientos de *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* y *Steinernema feltiae* fueron los siguientes mejores respectivamente, por lo que se debe promover su utilización antes de llegar al combate químico con imidacloprid, o hacerlo de manera alternada y cuidar la compatibilidad de los productos utilizados.

Los tratamientos con menor eficiencia fueron *Beauveria bassiana*, abamectina, tiametoxan y permetrina, los cuales no deben ser utilizados sin justificación para combatir a *B. impatiens* en viveros forestales.

Conflicto de intereses

Declaramos no tener conflictos de intereses.

4.8. Literatura citada

- Braun, S.E., Sanderson, J.P., y Wraight, S. P. (2012). Larval *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae) potential for vectoring *Pythium* root rot pathogens. *Phytopathology* 102:283-289. <https://apsjournals.apsnet.org/doi/pdf/10.1094/PHYTO-09-11-0262>
- Budziszewska, M., Frąckowiak, P., Obrępańska-Stęplowska, A. (2021). Analysis of the Role of *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae) as a Vector Transmitting Peanut Stunt Virus on the Model Plant *Nicotiana benthamiana*. *Cells*. 18;10(6):1546. doi:10.3390/cells10061546.
- Chen, C., Ma, H., Ma, M., Li, J., Zheng, S., Song, Q., Gu, X., Shapiro-Ilan, D., Ruan, W. (2020). An innovative strategy for control of fungus gnats using entomopathogenic nematodes alone or in combination with waterlogging. *Journal of Nematology*. 52:1-9. doi:10.21307/jofnem-2020-057.
- Cloyd, R.A. (2015). Ecology of Fungus Gnats (*Bradysia* spp.) in Greenhouse Production Systems Associated with Disease-Interactions and Alternative Management Strategies. *Insects*. 6(2):325-32. doi:10.3390/insects6020325.
- Duarte, A., Pinto-Duarte, J.L., Da Silva-Grinberg, P. y Silva-da Cunha, U. (2022). *Bradysia* aff. *impatiens* and *Bradysia* aff. *ocellaris* in the semi-hydroponic strawberry production system in Southern Brazil. *Ciência Rural* 52(7), 1-8. <http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210268>
- Gardiner R.B., Jarvis W.R., Shipp J.L. (1990). Ingestion of *Pythium* spp. by larvae of fungus gnat *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae) *Annals of Applied Biology*. 116:205–212. doi:10.1111/j.1744-7348.1990.tb06600.x.
- Gillespie D.R., Menzies J.G. (1993). Fungus gnats vector *Fusarium oxysporum* f. sp. *Radicis-lycopersici*. *Annals of Applied Biology*. 123:539–544. doi:10.1111/j.1744-7348.1993.tb04926.x.
- Gou, Y.P., Quandahor, P., Mao, L., Li, C.C., Zhou, J.J., Liu, C.Z. (2022). Responses of Fungi Maggot (*Bradysia impatiens* Johannsen) to Allyl Isothiocyanate and High CO₂. *Frontiers in Physiology*. 13:879401. doi:10.3389/fphys.2022.879401.
- IRAC: Insecticide Resistance Action Committee. (2023). Mode of Action Classification. Edition: 10.5. <https://irac-online.org/documents/moa-brochure/?ext=pdf>

- Kalb, D.W., Millar, R.L. (1986). Dispersal of *Verticillium albo atrum* by the fungus gnat (*Bradysia impatiens*). *Plant Disease*, 70:752–753. doi:10.1094/PD-70-752.
- Marín-Cruz, V.H., Cibrián-Tovar, D., Méndez-Montiel, J.T., Pérez-Vera, O.A., y Cadena-Meneses, J.A. (2015). Control del mosco fungoso negro, *Lycoriella ingenua* (Dufour, 1839) y *Bradysia impatiens* (Johannsen, 1912) (Diptera: Sciaridae) en *Pinus montezumae* Lamb. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(27), 90-101. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322015000100008&lng=es&tlng=es.
- Marín-Cruz, V.H., Rodríguez-Navarro, S., Barranco-Florido, J.E., y Cibrián-Tovar, D. (2017). Insectistatic and insecticide activity of *Beauveria bassiana* in *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(3), 329-340. doi:10.5154/r.rchscfa.2016.10.053
- Marín-Cruz, V.H., Cibrián-Tovar, D., García-Díaz, S.E., Pérez-Vera, O.A., Huerta-Jiménez, H. y Magdaleno-Hernández, E. (2022). Identificación y distribución Del Mosquito Fungoso Negro, *Bradysia impatiens* Johannsen, 1912 (Diptera: Sciaridae) En Viveros De Clima Templado. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales* 13 (73). México, ME:175-96. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i73.1261>.
- Mashela, P.W., Shokoohi, E., Pofu, K.M. (2020). Morphological adjustment in free-living *Steinernema feltiae* infective juveniles to increasing concentration of Nemafric-BL phytonematicide. *PLoS One*. 15(1): e0227448. doi:10.1371/journal.pone.0227448.
- Ríos, R., Vargas-Flores, J., Sánchez-Choy, J., Oliva-Paredes, R., Alarcón-Castillo, T., y Villegas, P. (2020). *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* como controladores compatibles y eficientes de insectos plaga en cultivos acuapónicos. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 419-426. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.14>
- Vianna, F., Pelizza, S., Russo, L., Allegrucci, N. y Scorsetti, A. (2020). Endophytic *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) alters *Helicoverpa gelotopoeon*'s (D.) (Lepidoptera: Noctuidae) life cycle and reproductive parameters. *Journal of Plant Protection Research*. ISSN 1427-4345. doi:10.24425/jppr.2018.124643
- Wang, F.F., Qu, S.X., Lin, J.S., Li, H.P., Hou, L.J., Jiang, N., Luo, X., Ma, L. (2020). Identification of Cyt2Ba from a New Strain of *Bacillus thuringiensis* and Its Toxicity in *Bradysia difformis*. *Current Microbiology*. 77(10):2859-2866. doi:10.1007/s00284-020-02018-y.

Zou, D., Coudron, T.A., Zhang, L., Xu, W., Xu, J., Wang, M., Xiao, X., Wu, H. (2021). Effect of Prey Species and Prey Densities on the Performance of Adult *Coenosia attenuata*. *Insects*. 12(8):669. doi:10.3390/insects12080669.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES GENERALES

Las trampas amarillas pegajosas son una herramienta de fácil acceso para los viveristas y representa una opción viable y eficiente de monitoreo para el mosco fungoso negro, y de esta manera estimar el nivel poblacional presente, lo que en el futuro al relacionarlos con costos e impactos permitirá tomar decisiones de prevención y combate, contribuyendo en gran medida a la reducción de la mortalidad de la planta forestal en viveros forestales tecnificados. Sin embargo, resulta exhaustiva la labor de contar las trampas y obtener una estimación que se acerque a la realidad, debido a la diversidad de especies de artrópodos asociados a la producción de planta en viveros, por lo que se recomienda realizar estudios que retomen los resultados obtenidos en esta investigación.

Asimismo, estudiar la mosca depredadora debe ser un objetivo primordial para poder utilizarla de manera adecuada y obtener buenos resultados en el control biológico de *Bradysia impatiens*. Esto a su vez puede integrarse con los resultados obtenidos en el capítulo 4, utilizando principalmente los productos comerciales biológicos que tuvieron los mejores resultados, y de esta manera avanzar hacia un combate más ecológico, dejando de lado, solamente para emergencias los productos químicos, para evitar resistencia a los mismos, contaminación y aumento de costos de combate a largo plazo.