

Efecto de los equipos de aplicación para biopesticidas en el control de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) en invernaderos

Effect of application equipment to biopesticides for whitefly control (*Trialeurodes vaporariorum*) in greenhouses

Jorge Volpi A.^{1,*}; Juan Olivet M.²; Mateo Sánchez S.¹

1 Universidad de la Republica. Facultad de Agronomía. Ruta 31 km 21. Salto. Uruguay.

2 Universidad de la Republica. Facultad de Agronomía. Garzón 780. Montevideo. Uruguay.

* Autor correspondiente: volpialvez@gmail.com (J. Volpi A.).

ID ORCID de los autores

J. Volpi A.:  <https://orcid.org/0000-0002-0041-6618>

J. Olivet M.:  <https://orcid.org/0000-0002-1302-9043>

M. Sánchez S.:  <https://orcid.org/0000-0002-3001-437X>

RESUMEN

Las moscas blancas, (Hemiptera: Aleyrodidae) son una de las principales plagas en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L). El control de plagas con hongos entomopatógenos es una opción para reducir el uso de agroquímicos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del equipo de aplicación en el control de *Trialeurodes vaporariorum* mediante la aplicación del entomopatógeno *Isaria javanica*. Se realizaron dos ensayos (otoño y primavera). Se aplicó *I. javanica* con tres equipos, pulverizadora hidráulica con pistola, pulverizadora neumática de espalda, y sistema fijo de nebulización. Se contó el número de adultos y ninfas de mosca blanca en diferentes partes de la planta. En ambos ensayos el mayor control de adultos se observó con la pulverizadora neumática y el control logrado por nebulización y pulverizadora hidráulica fue similar. El control de ninfas fue mayor con pulverizadora neumática, pero también hubo un buen control con nebulización, sobre todo en primavera. Teniendo en cuenta que el número de individuos estuvo por debajo del umbral de aplicación, el control fue adecuado con los tres equipos. En función de ello, si se busca una aplicación rápida y que el operario no ingrese al invernadero el sistema de nebulización es una opción recomendable.

Palabras clave: Tecnología de aplicación; sistema de nebulización; *Solanum lycopersicum*; control biológico; hongo entomopatógeno.

ABSTRACT

The Greenhouse Whitefly (Hemiptera: Aleyrodidae) is one of the main pests in tomato (*Solanum lycopersicum*). Pest control with entomopathogenic fungi is an option to reduce the use of agrochemicals. The objective of this work was to evaluate the effect of the application equipment in the control of *Trialeurodes vaporariorum* through the application of the entomopathogenic *Isaria javanica*. Two trials were carried out (autumn and spring). *I. javanica* was applied with three pieces of equipment: a hydraulic sprayer with a gun, a pneumatic back-mounted sprayer, and a fixed fogger system. The number of adults and nymphs in different parts of the plant were counted. In both trials the greatest control of adults was observed with the pneumatic sprayer and the control achieved by misting and hydraulic spraying was similar. The control of nymphs was greater with a pneumatic sprayer, but there was also good control with fogger, especially in spring. Considering that the number of individuals was below the application threshold, the control was adequate with the three teams. Based on this, if a quick application is sought and the operator does not enter the greenhouse, the fogger system is a recommended option.

Keywords: Application technology; fogger system; *Solanum lycopersicum*; biologic control; entomopathogenic fungi.

Recibido: 15-02-2023.

Aceptado: 04-09-2023.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

Las moscas blancas, (Hemiptera: Aleyrodidae) son una de las plagas más importantes en cultivos a campo y bajo invernaderos a nivel mundial (García et al., 2014; Nasruddin et al., 2021). Ocasiona pérdidas económicas provocadas por el daño directo que se produce cuando se alimenta, o indirecto por sus secreciones que favorecen la formación de fumagina en el follaje, reduciendo la capacidad fotosintética de las hojas (Lugo et al., 2011; Alarcón et al., 2019). Además es vector de virus en varios cultivos (Lugo et al., 2011, Nasruddin et al., 2021).

En América del sur predominan *Trialeurodes vaporariorum* y *Bemisia tabaci* (Krause-Sakate et al., 2020). El tomate (*Solanum lycopersicum* L) es uno de los cultivos más afectados por estas plagas (Rincón et al., 2020). Velásquez-Valle (2020) observó presencia de ambas especies en el cultivo de tomate, pero con predominancia de la especie *T. vaporariorum*.

Según Alarcón et al. (2019) los programas de manejo de la mosca blanca en todo el mundo tienen un fuerte componente de control químico. El uso indiscriminado de plaguicidas químicos genera resistencia de diferentes organismos, por lo que se reduce su efectividad (Wang et al., 2020; Bocco et al., 2021, Jin et al., 2023). En busca de una mejora en la efectividad muchas veces se aumenta la dosis o se mezcla con otros plaguicidas, la mayoría de alta toxicidad (Pacheco et al., 2019). Estos plaguicidas de alta toxicidad pueden afectar la salud de los aplicadores, el ambiente y quienes consumen los frutos de estos cultivos.

Para obtener alimentos que sean libres de residuos para los consumidores, amigables con el ambiente y con el operario, se debe hacer un uso racional y eficiente de los plaguicidas químicos, o sustituirlos por otras alternativas para el control de plagas.

Según Wraight & Ramos (2002) para un control eficiente de las plagas el plaguicida debe llegar al insecto. En el caso de mosca blanca la ovoposición y desarrollo de los primeros estados ninfales se da envés de las hojas, por lo que es necesario llegar hasta ese sitio con el plaguicida para lograr un control efectivo de la plaga (Darshanee et al., 2017). El sistema más utilizado para la aplicación de plaguicidas químicos en invernaderos es la pulverización hidráulica mediante barras verticales con varias boquillas, o pistolas de aplicación manual (Sánchez-Hermosilla et al., 2021).

Según Rincón et al. (2020) la aplicación con pulverizadoras hidráulicas manuales en el cultivo de tomate se obtiene una buena cobertura en el haz de las hojas, pero no en el envés, y tampoco en la parte interna del follaje. La incorporación de una corriente de aire en la aplicación mejora la penetración del plaguicida en la estructura de la planta, sobre todo en cultivos densos (Llop et al., 2015; Rincón et al., 2020). Olivet & Val (2008) evaluando el control de mosca blanca en tomate observaron mayor control de la plaga cuando se aplica el plaguicida con un equipo de pulverización neumático, ya sea con o sin carga electrostática.

Con equipos de aplicación manuales, tanto hidráu-

licos como neumáticos, el operario debe ingresar al invernadero a realizar la aplicación, por lo que el riesgo de contaminación con el plaguicida aplicado es elevado. La mayor exposición se da por el rozamiento con las plantas tratadas o la nube de gotas que queda en el aire cuando se realiza la aplicación (Rincón et al., 2018).

Según Yat et al. (2023), cuando el operario realiza aplicación de plaguicidas con equipos manuales además de estar expuesto al plaguicida debe realizar un esfuerzo mayor al que se realiza con equipos automatizados.

Existen sistemas de aplicación por nebulización en los que no es necesario que el operario ingrese al invernadero, por lo que reducen la exposición del mismo al plaguicida. Según Austerweil & Grinstein (1997) los equipos de nebulización presentan la ventaja de reducir el tiempo de operación, el operario no se expone al plaguicida, la aplicación es más eficiente y se puede automatizar, reduciendo el error que se puede dar cuando la aplicación se realiza manualmente.

Según Olivet et al. (2011) un nebulizador frío, posicionado cerca de un extremo del invernadero y programado para que aplique el plaguicida y este sea conducido por una corriente de aire, presenta la desventaja de que la distribución no es homogénea. La cantidad de producto depositado es máxima en las cercanías del nebulizador disminuyendo drásticamente con el aumento de la distancia al equipo y consecuentemente la disminución del control de las plagas.

Según Sánchez-Hermosilla et al. (2013) los sistemas de enfriamiento de invernaderos por nebulización podrían ser utilizados para aplicación de plaguicidas, pero la distribución de estos genera que se trate toda el área del invernadero, por lo que se produce pérdidas de plaguicida en el suelo de las entrefilas, y la cantidad que llega al objetivo es menor a la que llega cuando se realiza una aplicación de forma manual.

La otra alternativa para producir alimentos libres de residuos y amigables con el ambiente y el operario, es sustituir los plaguicidas químicos por métodos alternativos para el control de plagas. Entre los métodos alternativos se puede realizar el control de plagas mediante enemigos naturales (Jiang et al., 2018, Walia et al., 2021, Deeksha et al., 2023) o utilización de hongos entomopatógenos (Castresana et al., 2019).

Según Ou et al. (2018) los hongos entomopatógenos presentan la ventaja de ser eficientes en el control de plagas y de bajo costo. Según Ferrón (1978) los hongos entomopatógenos son una buena alternativa para el control de plagas, ya que afectan varias etapas del ciclo del insecto, y producen muy baja o nula toxicidad en humanos. Según Pucheta et al. (2006) existen más de 750 especies de hongos entomopatógenos con capacidad de infectar insectos, pero son muy pocos los que se han estudiado y se utilizan comercialmente para ese fin.

Se han reportados varios trabajos de investigación donde se observa la virulencia de los hongos

entomopatógenos con diferentes especies de insectos (Diniz et al., 2022, Topkara et al., 2022, Yanar et al., 2023)

Gebremariam et al. (2022) observaron que aplicando una combinación de hongos entomopatógenos, o los mismos hongos individualmente, se reduce la población de mosca blanca respecto a un testigo, y se obtienen mejoras en rendimiento en el cultivo de tomate tanto en invernadero como a campo.

Se han encontrado hongos de diversos géneros con capacidad de infectar *T. vaporariorum*, como *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Lecanicillium muscarium*, *Lecanicillium lecanii*, *Isaria fumosorosea*, *I. javanica* (Maranhão & Maranhão, 2008, Scorsetti et al., 2008, Malekan et al. 2015, Gebremariam et al. 2022).

Xing et al. (2023) observaron que *I. javanica* presenta alta patogenicidad contra la mosca blanca en ensayos de laboratorio. Murillo et al. (2020) observaron el control de mosca blanca en tomate en invernadero. Estos autores aplicaron de *I. javanica* con aceite de Neem, y observaron que el producto logra un control efectivo de la plaga, mayor al que se obtiene cuando se aplica aceite de Neem solo o con *B. bassiana*.

Sun et al. (2021), observaron que el hongo *I. javanica* tiene un efecto insecticida en mosca blanca *B. tabaci*, pero además cuando la mosca

blanca es portadora del virus del enrollamiento amarillo de la hoja del tomate, en el proceso de infección el hongo afecta al virus, reduciendo la trasmisión del mismo a través del vector. Lee et al. (2019) observó que el hongo *I. javanica* tiene también efecto entomopatógeno sobre pulgón verde (*Myzus persicae*).

Existe poca información sobre tecnologías de aplicación adecuadas para la aplicación de hongos entomopatógenos. Según Feng et al. (1994) los insecticidas biológicos deben ser formulados para que se puedan aplicar con las técnicas que se utilizan para la aplicación de insecticidas químicos. Algunos autores sugieren que los hongos entomopatógenos tienen un comportamiento similar a un insecticida de contacto, ya que el hongo tiene que tomar contacto con el insecto para que se inicie el proceso de infección (Téllez et al., 2009, Altinok et al., 2019). Por lo expresado es necesario evaluar si las tecnologías que se utilizan para aplicación de plaguicidas químicos se adecuan para la aplicación de plaguicidas biológicos.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del equipo de aplicación en el control de *T. vaporariorum* en el cultivo de tomate en invernaderos mediante la aplicación del hongo entomopatógeno *I. javanica*.

MATERIAL Y MÉTODOS

Material experimental

Este trabajo se realizó en un predio comercial de la localidad de Colonia Gestido, Salto, Uruguay, a una altitud de 56 m.s.n.m, con coordenadas geográficas 31°18'08.5"S, 57°51'05.4"W.

Se realizaron dos ensayos en los que se evaluaron tres equipos de aplicación. El primero en un invernadero de 960 m², en el que se realizaron aplicaciones sobre un cultivo de tomate de ciclo corto (ensayo de otoño), que se trasplantó el día 10 de febrero, y se retiró el 1 de setiembre. El segundo ensayo se realizó en un invernadero de 1200 m² sobre un cultivo de ciclo corto (ensayo de primavera) que se trasplantó el 15 de julio y se retiró el 23 de diciembre.

Las cosechas y el manejo general del cultivo estuvo a cargo del personal del predio, las principales medidas de manejo realizadas al cultivo fueron entutorado, extracción de hojas inferiores, y extracción brotes axilares.

En ambos ensayos el cultivo fue conducido en hileras dobles sobre canteros distanciados a 1,6 m. La densidad resultante fue de 31000 plantas ha⁻¹, el cultivar utilizado fue la variedad Elpida (Enza Zaden, España).

Equipos de aplicación evaluados

Se evaluaron 3 equipos que se muestran en la Tabla 1.

Descripción de los equipos

Sistema fijo de nebulización: se utilizó un sistema de aplicación que consiste en una red de tuberías instaladas sobre el cultivo, con nebulizadores fijos. La red estaba formada por tuberías de polietileno de 16 mm de diámetro, distanciadas 1,6 m (una

línea de nebulizadores arriba de cada cantero), con nebulizadores cada 2 m en la tubería (Figura 1A). El nebulizador utilizado fue Tavlit 20 (modelo 4462, Tavlit, Yavne, Israel), caudal 28,3 L h⁻¹ a 400 kPa (Figura 1B). La tasa de aplicación utilizada en el ensayo fue de 1000 L ha⁻¹. Para la inyección del caldo en la red de tuberías se utilizó un equipo de pulverización hidráulica de tiro (Vigneron 600, DSM, Italia) con un depósito para el caldo de 600 L de capacidad, una bomba para el caldo, con un caudal 142 L min⁻¹ (APS 145, Comet, Italia) suficiente para abastecer la red de nebulizadores (Figura 1C).

Tabla 1

Identificación de los tratamientos

Equipo	Identificación
Sistema fijo de nebulización	Nebulizador
Pulverizadora hidráulica convencional con pistola	Pistola
Pulverizadora neumática de espalda	Mochila

Además, se añadió un compresor de aire de 500 L min⁻¹ (CSL 30BR/250 Schulz, Brasil) y un depósito de aire de 250 L, para extracción del líquido sobrante de la aplicación y limpieza final de los nebulizadores. Este compresor es accionado por un motor de combustión interna, el cual se instaló en la parte trasera de la pulverizadora, donde además se instalaron los comandos del equipo. Dado que el diseño de este sistema implica que los comandos se instalen afuera del invernadero, y que la distribución de las parcelas se realizó al azar, se instaló una red de tuberías que llegaba hasta las parcelas con este tratamiento, y en las parcelas en

las que se aplicaba otro tratamiento las tuberías pasaban por las parcela pero no tenían nebulizadores. Se midió el tiempo que requiere realizar la aplicación en un invernadero de 1000 m² con este equipo, siendo el tiempo total 14 minutos.



Figura 1. Equipos utilizados. A: Tuberías con nebulizadores. B: nebulizador Tavlit 20. C: Pulverizadora hidráulica para inyección de caldo en las tuberías y manguera con pistola. D: Aplicación con pistola. E: Pulverizadora neumática de espalda.

Pulverizadora hidráulica convencional con pistola: Este equipo se consideró como referencia por ser el equipo más utilizado en los tratamientos fitosanitarios en invernaderos (Sánchez-Hermosilla et al., 2021). El mismo estaba formado por un pulverizador hidráulico, que cuenta con una pistola de aplicación, con boquilla de cerámica, (modelo 8282003, orificio de 1,5 mm de diámetro, Geoline, Italia), unida al equipo por medio de una manguera, con la cual el operario ingresa al invernadero y realiza la aplicación manualmente (figura 1 D). Las mangueras se unieron al mismo equipo que se utilizó para la aplicación por nebulización (figura 1 C). La pistola se reguló para trabajar con un caudal de 2,5 L min⁻¹ a 550 kPa. La tasa de aplicación fue de 1000 L ha⁻¹, para lo cual el operario trabajó a una velocidad de avance de 0,52 m s⁻¹. El tiempo de aplicación en un invernadero de 1000 m² con este equipo es de 48 minutos.

Pulverizadora neumática de espalda: Se utilizó un pulverizador motorizado de espalda (Modelo L3A, Cifarelli, Italia) (Figura 1 E). La velocidad de avance fue de 0,52 m s⁻¹, y el caudal fue de 0,84 L min⁻¹, logrando una tasa de aplicación de 336 L ha⁻¹. El caldo se concentró de forma de mantener la misma dosis de ingrediente activo que en el resto de los tratamientos. El tiempo de aplicación en un invernadero de 1000 m² con este equipo es de 48 minutos.

Aplicación de fitosanitarios.

Dado que se encontró información sobre el efecto que tiene el hongo *I. javanica* en control de mosca blanca (Murillo et al., 2020; Sun et al., 2021), y que este hongo se encuentra registrado en Uruguay para control de *T. vaporariorum* en tomate (Dirección general de servicios agrícolas (DGSA), 2022), se utilizó el mismo durante todo el período. El producto utilizado fue el insecticida biológico Crebio 5 (hongo entomopatógeno *I. javanica*, cepa 16-6-17, 1x10⁹ conidios gr⁻¹, Cooperativa Punto Verde, Uruguay), junto con el coadyuvante Nu-Film-17 (Pinoleno 96%, Miller chemical & fertilizer

corporation). Las aplicaciones del entomopatógeno iniciaron 30 días luego del trasplante del cultivo y se repitieron semanalmente hasta el fin del ciclo. En total se realizaron 26 aplicaciones en el ensayo de otoño, y 23 aplicaciones en el ensayo de primavera. Las mismas se realizaron al final del día, para evitar que el hongo se esponga a los rayos solares en forma directa durante las horas siguientes a la aplicación. El producto se disolvió en un recipiente y se dejó estacionar durante 15 minutos para luego verterlo en el tanque del equipo de aplicación. La dosis de Crebio 5 y coadyuvante fueron 1kg ha⁻¹ y 0,4 L ha⁻¹ respectivamente. Las aplicaciones del entomopatógeno se realizaron con los tres equipos evaluados.

En el ensayo de otoño se realizaron además 3 aplicaciones del producto Kasumin (Kasugamicina, Clorhidrato 4,14 %, UPL Do Brasil Industria y Comercio de Insumos Agripecuarios, Brasil) para el control de *Cladosporium* (*Cladosporium fulvum*) y prevención de enfermedades bacterianas. El producto utilizado fue recomendado por el fabricante del entomopatógeno, con la precaución de aplicarlo tres días post aplicación del entomopatógeno, por tratarse de un producto parcialmente compatible con el mismo. Las aplicaciones fueron realizadas los días 4/5/2020, 8/06/2020 y 29/06/2020. Dado que el objetivo del ensayo no era estudiar el efecto del equipo de aplicación en el control de enfermedades, las aplicaciones de kasumin se realizaron con el equipo hidráulico en todo el cultivo, sin hacer tratamientos diferenciales por parcela.

Diseño experimental

El diseño experimental fue de parcelas al azar, los tratamientos fueron los tres equipos ya descritos. En el ensayo de otoño se realizaron 4 repeticiones con parcelas de 5 m de ancho y 16 m de largo. En el ensayo de primavera se realizaron 3 repeticiones, con parcelas de 10 m de ancho y 12 m largo. La diferencia en el número y dimensiones de las parcelas se debe a la diferencia en las dimensiones del invernadero utilizado en primavera respecto del utilizado en otoño.

Monitoreo de mosca blanca

Se estudió la evolución de la población de mosca blanca. Para ello se monitoreó semanalmente el cultivo siguiendo la metodología propuesta por Polak & Mitidieri (2005), con adaptaciones en cuanto al número de plantas y estratos evaluados. Bernal et al. (2008) observaron que la distribución de ninfas y adultos de *T. vaporariorum* en tomate va variando según la edad del cultivo y el momento de infección, y que los adultos se encuentran en mayor proporción en la parte superior y media de la planta y las ninfas de los primeros estadios se encuentran en la parte media de la planta y las de los últimos estadios en la parte baja de la planta. Dados estos antecedentes se decidió monitorear los tres estratos en todo el ciclo. Los mismos autores sugieren que la cantidad de individuos por foliolo es muy variable, por lo que se decidió contar el número de individuos en toda la hoja. Para ello se eligieron 6 plantas por parcela y se contó el número de adultos en las tres hojas

superiores del cultivo, y en una hoja del estrato medio. También se contó el número de ninfas en una hoja del estrato medio de la planta y en una hoja del estrato inferior.

En total se realizaron 27 evaluaciones en el ensayo de otoño y 24 evaluaciones en el ensayo de primavera. Para analizar el efecto del equipo de aplicación en todo el ciclo se calculó la variable población, adaptada de la variable citada por González & Moreno (1996). Estos autores la denominaron población día. La misma fue calculada con la siguiente expresión:

$$Pbl.día = \sum_{i=1}^s \frac{pbl_{(i-1)} + pbl_{(i)}}{2} n^{\circ} días_{(i,i-1)}$$

Donde *Pbl* es la población de mosca blanca, ninfas o adultos, contados en cada muestreo en las semanas *i* e *i-1*; y, *n° días*: días transcurridos entre dos muestreos sucesivos.

Polak & Mitidieri (2005) sugieren que el umbral de aplicación para productos químicos en *T. vaporariorum* es de 10 adultos por hoja. En este caso por tratarse de un producto biológico no se esperó dicho umbral para realizar la aplicación, sino que se realizaron aplicaciones semanalmente. De todos modos dicho umbral se tuvo en cuenta para determinar si el control de mosca blanca es adecuado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo otoño

En el ensayo de otoño se observó que la población de adultos de mosca blanca, tanto en la parte superior de la planta como en la parte media, tuvo un comportamiento similar (tabla 2), se observa la mayor población cuando se aplica el entomopatígeno con nebulizador, y la menor se observa cuando se aplica con mochila, siendo intermedia la población con el tratamiento pistola, sin diferenciarse este último de ninguno de los otros tratamientos.

En cuanto a ninfas (tabla 2), el comportamiento fue diferente en los dos estratos evaluados, en la parte media de la planta con nebulizador se observa mayor población, con mochila menor población, y con pistola un valor intermedio. En la parte baja de la planta la población de ninfas fue igual en todos los tratamientos.

Tabla 2

Población observada en los diferentes estratos evaluados en el ensayo de otoño

Equipo	Adultos arriba	Adultos medio	Ninfas medio	Ninfas abajo
Nebulizador	158 a	173 a	569 a	1133 ^{ns}
Pistola	111 ab	140 ab	400 ab	913
Mochila	80 b	97 b	239 b	870
P-valor Anova	0,011	0,045	0,018	0,374
CV (%)	24,34	26,41	32,23	27,70
P-valor Levene	0,15	0,09	0,11	0,19
P-valor Shapiro-Wilks	0,27	0,99	0,24	0,92

Nota: Medias de tratamientos identificadas con igual letra no difieren significativamente entre sí con $p < 0,05$ según test de Tukey. ns Sin diferencias significativas.

Según Sani et al. (2020) y Wraight & Ramos (2002) el entomopatígeno tiene que tomar contacto con el

insecto para que se produzca el proceso de infección, según lo expresado por Llop et al. (2015) cuando se realiza una aplicación con asistencia de aire, se logra mayor penetración en el cultivo y por lo tanto se llega a los sitios donde se encuentra el insecto, lo que explicaría por qué en este ensayo se logra un mayor control de adultos y ninfas en la parte media cuando se aplica con mochila.

Olivet & Val (2008) también observaron mayor control de mosca blanca cuando se aplica con un equipo neumático. Esto puede deberse a una mayor deposición del producto en los sitios en que se encuentra la plaga. Dado que no se observan diferencias en la población de ninfas en la parte inferior de la planta y los valores registrados fueron mayores a los registrados en la parte media, se puede pensar que en la parte baja de la planta la penetración fue menor con todos los tratamientos utilizados. Según Bernal et al. (2008), en los estratos inferiores se encuentra mayor número de ninfas por que se encuentran protegidas en el envés de las hojas inferiores.

Análisis estadístico

Garzón et al. (2008) evaluando la aplicación hidráulica observaron que la cantidad de producto que se deposita en el envés de las hojas en la parte inferior de la planta es muy baja. En este ensayo con los dos tratamientos manuales el equipo debe ser dirigido hacia la base de la planta para cubrir dicha zona, y en el equipo de nebulización el producto es emitido desde la parte superior del cultivo, por lo que en todos los casos el producto se dirige hacia el haz de la hoja, y es más difícil cubrir el envés, que es el sitio donde se localizan las ninfas. En la evolución del número de individuos (Figura 2) se observó que el número de adultos de mosca

blanca en la parte superior de la planta o en la parte media, y las ninfas en la parte media de la planta tienen una evolución similar, hasta el mes de agosto el número fue bajo y a partir de este mes comienza a aumentar el número de individuos. Esta tendencia a observar el mismo comportamiento en adultos y ninfas también fue observada por Olivet & Val (2008) en un ensayo de aplicación de plaguicidas químicos.

Ensayo primavera

Analizando la población de adultos de mosca blanca en el ensayo de primavera (Tabla 3) se observa que

en la parte superior de la planta y en la parte media, tienen un comportamiento similar, mayor población de adultos cuando la aplicación se realizó con pistola, y menor población cuando se aplica con mochila, con una población intermedia en la aplicación con nebulizador, sin diferenciarse este último tratamiento de ninguno de los otros.

En el caso de las ninfas en la parte media, con nebulizador y mochila la población fue similar, ambos menores al tratamiento con pistola (Tabla 3). Al igual que en el ensayo de otoño en la parte inferior no se observaron diferencias estadísticas en la población de ninfas.

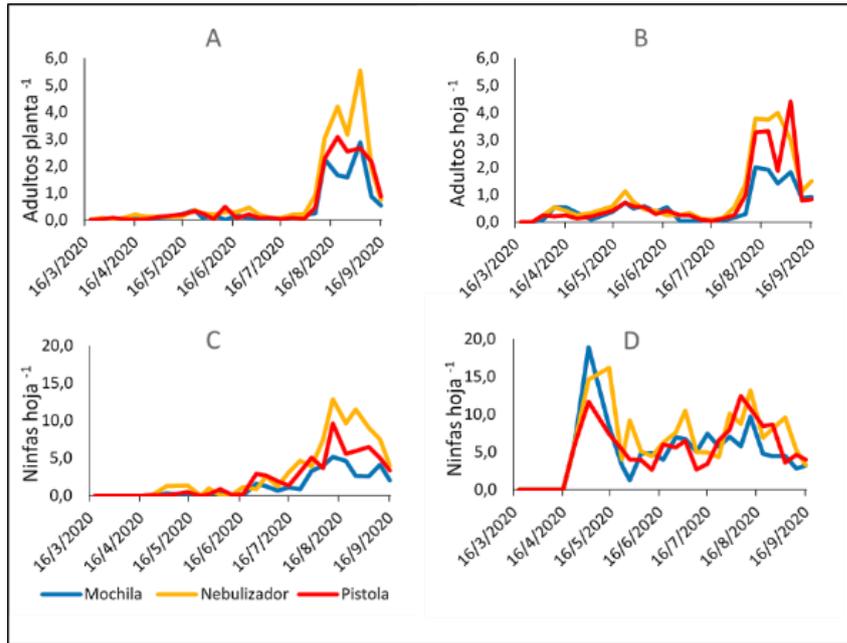


Figura 2. Evolución del número de individuos de mosca blanca en el ensayo de otoño. A: adultos en las tres hojas superiores; B: Adultos en la parte media de la planta; C: ninfas en la parte media de la planta; D: ninfas parte baja de la planta.

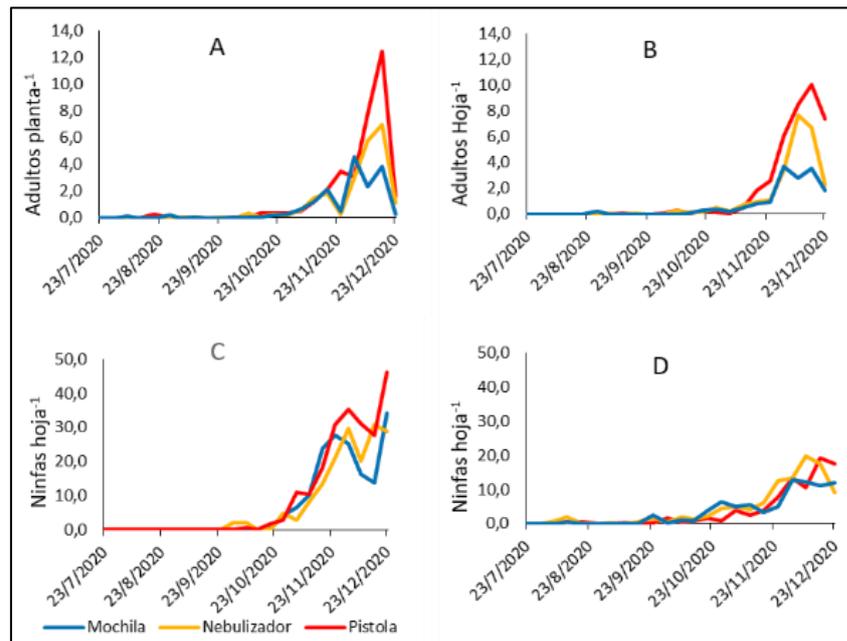


Figura 3. Evolución del número de individuos de mosca blanca en el ensayo de primavera. A: adultos en las tres hojas superiores; B: Adultos en la parte media de la planta; C: ninfas en la parte media de la planta D: ninfas parte baja de la planta

Tabla 3
Población observada en los diferentes estratos evaluados en el ensayo de primavera

Equipo	Adultos arriba	Adultos medio	Ninfas medio	Ninfas abajo
Pistola	229 a	236 a	1349 a	534 ^{ns}
Nebulizador	149 ab	158 ab	1046 b	687
Mochila	113 b	98 b	1016 b	530
P-valor Anova	0,035	0,042	0,002	0,836
CV (%)	25,20	30,75	6,07	61,52
P-valor Levene	0,28	0,31	0,08	0,39
P-valor Shapiro-Wilks	0,38	0,96	0,69	0,59

Nota: Medias de tratamientos identificadas con igual letra no difieren significativamente entre sí con $p < 0,05$ según test de Tukey. ns Sin diferencias significativas.

En este ensayo la población de ninfas en la zona media de la planta fue menor cuando se aplicó con nebulizador y con mochila. Según Spence et al. (2020) para del control de *T. vaporariorum* con el hongo entomopatógeno *B. Bassiana* se debe realizar una cobertura uniforme de la hoja de tomate para controlar tanto adultos como ninfas. Según Téllez et al. (2009) los hongos entomopatógenos tienen un comportamiento similar en cuanto a la necesidad de cobertura del cultivo para controlar el insecto. Sánchez-Hermosilla et al. (2013) obtuvieron mayor deposición sobre las hojas en aplicaciones con pistola, pero la deposición fue más homogénea con el sistema de nebulización. En el ensayo realizado por el mismo autor los nebulizadores estaban distribuidos en líneas cada 5 m, por lo que una línea de nebulizadores cubría más de un cantero; en este ensayo se ubicó una línea de nebulizadores por cada cantero, lo que podría haber proporcionado una mayor cobertura, y mayor homogeneidad en la misma. Esta posible homogeneidad en la cobertura podría explicar el mayor control observado en las ninfas cuando se aplica con nebulizador.

Otro aspecto a tener en cuenta en la aplicación manual es que la calidad de la misma depende de la capacidad del operario que realiza la aplicación (Failla & Romano, 2020). En este caso el operario que realizó la aplicación con pistola fue el mismo en los dos ensayos y la tasa de aplicación fue la misma, trabajando a la misma velocidad y presión, sin embargo los resultados fueron diferentes en ambos ensayos.

La evolución de la cantidad de individuos fue similar a la observada en otoño en todos los estratos evaluados, el número de individuos fue en aumento a partir de la evaluación realizada el día 23 de octubre (Figura 3).

Según Polak & Mitidieri (2005) el umbral de aplicación para productos convencionales es de 10 adultos por hoja, contados en las tres hojas superiores. En ambos ensayos el número de individuos observado en la parte superior (figuras 2 y 3) se encuentran por debajo de ese umbral de aplicación, lo cual hace pensar que el control realizado por el hongo entomopatógeno es

aceptable con cualquiera de las tres tecnologías utilizadas.

De todas formas tanto en el ensayo de otoño como el de primavera, se observaron algunas diferencias en población entre tratamientos. En los dos ensayos se observaron indicios de mayor control de adultos con mochila, ya que la población en otoño fue menor con mochila respecto a nebulizador e igual a pistola, y en el ensayo de primavera fue menor que pistola e igual a nebulizador.

En el caso de las ninfas en el estrato medio, los resultados fueron diferentes entre ensayos, ya que en el ensayo de otoño la mayor población se observó en las parcelas tratadas con nebulizador y en el ensayo de primavera la mayor población se observó en el tratamiento pistola y entre nebulizador y mochila no se observaron diferencias.

En los dos ensayos no se observó diferencias en población de ninfas en la parte baja de la planta. En el ensayo de otoño la población de ninfas en el estrato más bajo fue mayor que en el estrato medio, sugiriendo que no se obtiene un buen control con ninguna de las tecnologías, pero en primavera se observó que la población en el estrato más bajo fue menor que la observada en el estrato medio. Según Bernal et al. (2008), las prácticas de extracción de hojas inferiores provocan una eliminación de las ninfas en ese estrato, y en el ensayo de primavera se realizó dos veces esta práctica, con el objetivo de aumentar el ingreso de luz solar a los frutos, en momentos en los que la población de ninfas era alta, lo cual podría explicar la menor población de ninfas en el estrato inferior. En el ensayo de otoño se realizó extracción de hojas una sola vez a inicios del ciclo, cuando aún no se observaba presencia de ninfas en el cultivo.

En mosca blanca el daño directo producto de la alimentación es producido tanto por ninfas como por adultos, y además en los adultos se puede dar daño indirecto por transmisión de virus, o en ninfas el daño indirecto producido por las excreciones (Lugo et al., 2011; Alarcón et al., 2019). Por lo expresado el control de ambos estadios es importante. En estos ensayos se observó que la mochila es una buena alternativa para el control de individuos adultos y ninfas, pero la tecnología de nebulizador y pistola también realizan un control aceptable de adultos y además en el ensayo de primavera el resultado obtenido con nebulizador no se diferenció del obtenido con mochila.

Como ya se adelantó el tiempo de aplicación con nebulizador para un invernadero de 1000 m² es de 14 minutos, mientras que en la aplicación con mochila o pistola el tiempo de aplicación es de 48 minutos. En función de esta ventaja, que se observaron resultados de control aceptables, y que los operarios no deben ingresar el invernadero durante la aplicación, este sistema ha mostrado un potencial muy interesante para el control de plagas con insecticidas biológicos en invernaderos.

CONCLUSIONES

El mayor control de adultos de mosca blanca se observó con la pulverizadora neumática tanto en el

ensayo de otoño como el de primavera. El control de adultos logrado por el sistema de nebulización y

la pulverizadora hidráulica de pistola fue similar en ambos ensayos. El control de ninfas fue mayor con pulverizadora neumática, pero también hubo un buen control con el sistema de nebulización, sobre todo en primavera. Si bien se observaron diferencias entre tratamientos, teniendo en cuenta que el número de individuos estuvo por debajo del umbral de aplicación tomado como referencia, el

control de mosca blanca fue adecuado con todas las tecnologías de aplicación evaluadas. En función de ello, si se busca hacer una aplicación rápida y que el operario no ingrese al invernadero el sistema de nebulización es una opción recomendable. A futuro sería interesante evaluar esta tecnología para la aplicación de otros biopesticidas, y en cultivos de características diferentes al cultivo de tomate.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, J., Yanqui, F., Moreno, S., et al. (2019). ¿La mariquita de siete puntos (*Coccinella septempunctata*) es efectiva en el control biológico de la mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*)? *Scientia Agropecuaria*, 10(4), 489-495.
- Altinok, H., Altinok, M., & Koca, A. (2019). Modes of action of entomopathogenic fungi. *Current Trends in Natural Sciences*, 8(16), 117-124.
- Austerweil, M., & Grinstein, A. (1997). Automatic Pesticide Application in Greenhouses. *Phytoparasitica*, 25, 71-81.
- Bernal, L., Pesca, L., Rodríguez, D., et al. (2008). Plan de muestreo directo para *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) en cultivos comerciales de tomate. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 266-276.
- Bocco, R., Lee, M., Kim, D., et al. (2021). Endophytic *Isaria javanica* pf185 Persists after Spraying and Controls *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) and *Colletotrichum acutatum* (Glomerellales: Glomerellaceae) in Pepper. *Insects*, 12, 631.
- Castresana, J., Rosenbaum, J., & Rosenbaum, J. (2019). Transición del manejo de plagas convencional hacia el agroecológico mediante la transferencia de técnicas de control integrado de plagas en tomate bajo cubierta en Concordia - Provincia de Entre Ríos, Argentina. *Idezia*, 37(3), 17-27.
- Darshane, W., Ren, H., Ahmed, N., et al. (2017). Volatile-mediated attraction of greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* to tomato and eggplant. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1285.
- Deeksha, Ghongade, D., & Sood, A. (2023). Biological characteristics and parasitization potential of *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera: Aphelinidae) on the whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Hemiptera: Aleyrodidae), a pest of greenhouse crops in north-western Indian Himalayas. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 33, 3.
- Diniz, F., Mendonça, G., Araújo, A., et al. (2022). Native amazonian fungi to control termites *Nasutitermes* sp. (Blattodea: Termitidae). *Acta Biológica Colombiana*, 27(1), 36-43.
- Dirección general de servicios agrícolas (DGSA). (2022). Consulta de productos fitosanitarios. <https://www.mgap.gub.uy/profit/productosweb.aspx>
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., et al. (2008). InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. [PDF] https://www.researchgate.net/publication/283491340_InfoStat_manual_del_usuario
- Failla, S., & Romano, E. (2020). Effect of spray application technique on spray deposition and losses in a greenhouse vegetable nursery. *Sustainability*, 12, 7052.
- Feng, M., Poprawski, T., & Kachaturians, G. (1994). Production, formulation and application of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* for insect control: current status. *Biocontrol Science and Technology*, 4(1), 3-34.
- Ferrón, P. (1978). Biological control of insect pests by entomogenous fungi. *Annual Review of Entomology*, 23, 409-442.
- García, V., Soto, A., & Bacca, T. (2014). Efecto insecticida de productos alternativos en *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 40(2), 143-147.
- Garzón, E., Agüera, I., Cabello, L., et al. (1998). Eficiencia de la pulverización en cultivo de pimiento en invernadero tipo Almería. *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas*, 24, 857-865.
- Gebremariam, A., Mekuriaw, E., Shemakit, F., et al. (2022). Integrated Potential of Microbial, Botanical, and Chemical Pesticides for the Control of Viral Disease Vector Whiteflies (Hemiptera: Aleyrodidae) on Tomato under Greenhouse and Field Perspectives. *International Journal of Agronomy*, 2022, 4686811.
- González, J., & Moreno, R. (1996). Análisis de las tendencias poblacionales de *Bemisia tabaci* (Genn.) (Homoptera: Aleyrodidae) en pimiento bajo plástico en Almería. *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas*, 22, 159-167.
- Jiang, J., Ma, D., Zhang, Z., Yu, C., et al. (2018). Favorable compatibility of nitenpyram with the aphid predator, *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae). *Environmental Science and Pollution Research*, 25(27): 27393-27401.
- Jin, Y., Liu, Y., Gao, Y., et al. (2023). Detoxification enzymes associated with flupyradifurone resistance in greenhouse whitefly. *Journal of applied entomology*, 00, 1 - 11.
- Krause-Sakate, R., Maranhão, L., Silva, E., et al. (2020). Population Dynamics of Whiteflies and Associated Viruses in South America: Research Progress and Perspectives. *Insects*, 11, 847.
- Lee, Y., Han, J., Kang, B., et al. (2019). Dibutyl succinate, produced by an insect-pathogenic fungus, *Isaria javanica* pf185, is a metabolite that controls of aphids and a fungal disease, anthracnose. *Pest Management Science*, 75, 852-858.
- Llop, J., Gil, E., Gallart, M., et al. (2015). Spray distribution evaluation of different settings of a hand-held-trolley sprayer used in greenhouse tomato crops. *Pest Management Science*, 72(3), 505-516.
- Lorenzo, M., Grille, G., Basso, C., et al. (2016). Host preferences and biotic potential of *Trialeurodes vaporariorum* and *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in tomato and pepper. *Arthropod-Plant Interactions*, 10, 293-301.
- Lugo, O., Uriarte, M., García, R., et al. (2011). Geminivirus Transmitidos por Mosca Blanca (*Bemisia tabaci*) en Tomate, en el Valle Agrícola de Culiacán, Sinaloa. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 29(2), 109-117.
- Malekan, N., Hatami, B., Ebadi, R., et al. (2015). Evaluation of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Lecanicillium muscarium* on different nymphal stages of greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* in greenhouse conditions. *Biharean biologist*, 9(2), 108-112.
- Maranhão, E. A., & Maranhão, E. H. (2008). Hongos entomopatógenos: importante herramienta para el control de "moscas blancas" (homoptera: aleyrodidae). *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica*, 5, 209-242.
- Murillo, F., Cabrera, H., Adame, et al. (2020). Evaluación de insecticidas biorracionales en el control de mosca blanca (Hemiptera: Aleyrodidae) en la producción de hortalizas. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 22(1), 39-47.
- Nasruddin, A., Ardi, J., & Melina, M. (2021). Population dynamics of *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) and its populations on different planting dates and host plant species. *Annals of Agricultural Sciences*, 66 (2), 109-114.
- Olivet, J.J., Val, L., & Usera, G. (2011). Distribution and effectiveness of pesticide application with a cold fogger on pepper plants cultured in a greenhouse. *Crop Protection*, 30, 977-985.
- Olivet, J. J., & Val, L. (2008). Tecnología de aplicación para el control de mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) en invernaderos de tomate. *Agrociencia*, 7(2), 40-47.
- Ou, D., Zhang, L., Guo, C., et al. (2018). Identification of a new *Cordyceps javanica* fungus isolate and its toxicity evaluation against Asian citrus psyllid. *Microbiologyopen*, 8, 760.
- Pacheco, M., Reséndiz, J., & Arriola, V. (2019). Organismos entomopatógenos como control biológico en los sectores agropecuario y forestal de México: una revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(56), 4-32.
- Patel, C., Mohan, R., & Muthu, J. (2022). Comparative Study of Morphology and Developmental Biology of Two Agriculturally Important Whitefly Species *Bemisia tabaci* (Asia II 5) and *Trialeurodes vaporariorum* from North-Western Himalayan Region of India. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 65, 22210034.
- Polak, A., & Mitidieri, M. (2005). Producción de tomate diferenciado. Protocolo preliminar de manejo integrado de plagas y enfermedades. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires. Argentina. [PDF].

- https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-mp-protocolo_manejo_de_plagas_tomate_2005.pdf
- Pucheta, M., Flores, A., Rodríguez, S., et al. (2006). Mecanismo de acción de los hongos entomopatógenos. *Interciencia*, 31(12), 856-860.
- Rincón, V., Páez, F., & Sánchez-Hermosilla, J. (2018). Potential dermal exposure to operators applying pesticide on greenhouse crops using low-cost equipment. *Science of the Total Environment*, 630, 1181-1187.
- Rincón, V., Grella, M., Marucco, P., et al. (2020). Spray performance assessment of a remote-controlled vehicle prototype for pesticide application in greenhouse tomato crops. *Science of the Total Environment*, 726, 138509.
- Sánchez-Hermosilla, J., Páez, F., Rincón, V., et al. (2013). Evaluation of a fog cooling system for applying plant-protection products in a greenhouse tomato crop. *Crop Protection*, 48, 76-81.
- Sánchez-Hermosilla, J., Rincón, V., Páez, F., et al. (2021). Evaluation of the Effect of Different Hand-Held Sprayer Types on a Greenhouse Pepper Crop. *Agriculture*, 11, 532.
- Sani, I., Ismail, S., Abdullah, S., et al. (2020). A Review of the Biology and Control of Whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae), with Special Reference to Biological Control Using Entomopathogenic Fungi. *Insects*, 11, 619.
- Scorsetti, A., Humber, R., De Gregorio, C., et al. (2008). New records of entomopathogenic fungi infecting *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum*, pests of horticultural crops, in Argentina. *BioControl*, 53(5), 787-796.
- Spence, L., Chandler, D., Edgington, S., et al. (2020). A standardised bioassay method using a bench-top spray tower to evaluate entomopathogenic fungi for control of the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*. *Pest management*, 76, 2513-2524.
- Sun, S., Wang, Z., Zhang, Z., et al. (2021). The roles of entomopathogenic fungal infection of viruliferous whiteflies in controlling tomato yellow leaf curl virus. *Biological Control*, 156, Artículo 104552.
- Téllez, A., Cruz, M., Mercado, Y., et al. (2009). Mecanismos de acción y respuesta en la relación de hongos entomopatógenos e insectos. *Revista mexicana de micología*, 30, 73-80.
- Topkara, E., Yanar, O., Tuncer, C., et al. (2023). Efficacy of *Beauveria bassiana* and *Beauveria pseudobassiana* isolates against the pine processionary moth, *Thaumetopoea wilkinsoni* Tams, 1926 (Lepidoptera/Notodontidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 32, 3.
- Velásquez-Valle, R. (2020). Presencia de *Bemisia tabaci* Gennadius y *Trialeurodes vaporariorum* Westwood en el norte-centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(1), 213 - 219.
- Walia, A., Verma, S., Sharma, P., et al. (2021). Relative preference and demographic parameters of *Encarsia formosa* Gahan against *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31, 79.
- Wang, R., Wang, J., Zhang, J., et al. (2020). Characterization of flupyradifurone resistance in the whitefly *Bemisia tabaci* Mediterranean (Q biotype). *Pest Management Science*, 76(12), 4286-4292.
- Wraight, S., & Ramos, M. (2002). Application parameters affecting field efficacy of *Beauveria bassiana* foliar treatments against colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata*. *Biological Control*, 23(2), 164-178.
- Xing, P., Diao, H., Wang, D., et al. (2023). Identification, Pathogenicity, and Culture Conditions of a New Isolate of *Cordyceps javanica* (Hypocreales: Cordycipitaceae) From Soil. *Journal of Economic Entomology*, 116(1), 98-107.
- Yanar, O., Topkara, E., Sahi, F., et al. (2023). Efficacy of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium brunneum* isolates against the pine processionary moth, *Thaumetopoea wilkinsoni* Tams, 1926 (Lepidoptera: Notodontidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 32, 32.
- Yat, D., Dubey, K., Potdar, R., et al. (2023). Development of an automated mobile robotic sprayer to prevent workers' exposure of agro-chemicals inside polyhouse. *J Field Robotics*, 1, 20.