

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR
DE SALVATIERRA**



**“CONTROL BIOLÓGICO DE ARAÑA ROJA
(*Tetranychus urticae* y *Tetranychus cinnabarinus*)
EN EL CULTIVO DE PIMIENTO MORRÓN (*Capsicum
annuum* L.) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO”**

**TITULACIÓN INTEGRAL
(TESIS)**

Elaborada por:

JAIME NAVA REYES

Para obtener el título de:

INGENIERO EN INNOVACIÓN AGRÍCOLA SUSTENTABLE

Director de Tesis:

M.E. WALTER MANUEL ZÚÑIGA MALDONADO

Salvatierra, Gto.

Mayo, 2024

FORMATO DE LIBERACIÓN DEL PROYECTO DE TITULACIÓN INTEGRAL

Salvatierra, Guanajuato. 31 /Mayo/2024.

C. Lizbeth Estefanía Escobar Paniagua

Jefe de la División de Estudios Profesionales

Presente. -

Por este medio le informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral

Nombre del estudiante: Jaime Nava Reyes

Carrera: Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable

No. de Control: AG19110156

Nombre del Proyecto: Control biológico de araña roja (*Tetranychus urticae* y *Tetranychus cinnabarinus*) en el cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) bajo condiciones de invernadero

Producto: Tesis

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

A T E N T A M E N T E

M.E. Walter Manuel Zúñiga Maldonado

Coordinador de Ingeniería en Innovación agrícola Sustentable

Director de Tesis	Revisor 1	Revisor 2
M.E. Walter Manuel Zúñiga Maldonado	Ing. Mayra Gabriela Rosas Gallardo	Ing. Víctor Antonino Cortés Pérez
Nombre y Firma	Nombre y Firma	Nombre y Firma



Manuel Gómez Morín No. 300 Comunidad de Janicho, Salvatierra, Guanajuato, C.P.
38933 Tels. 466 688 06 31 y 466 663 98 00 Ext. XXXX, e-mail:
marosas@itess.edu.mx. tecnm.mx | www.itess.edu.mx





**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE SALVATIERRA
COORDINACIÓN DE INNOVACIÓN EN AGRÍCOLA SUSTENTABLE**

TESIS
Presentada por:

JAIME NAVA REYES

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial
para obtener el título de

INGENIERO EN INNOVACIÓN AGRÍCOLA SUSTENTABLE

Aprobado por

M.E. Walter Manuel Zúñiga Maldonado
Director(a) de Tesis

Ing. Mayra Gabriela Rosas Gallardo

Revisor

Ing. Víctor Antonino Cortés Pérez

Revisor

M.E. Walter Manuel Zúñiga Maldonado
Coordinador de Innovación en Agrícola Sustentable

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Bulmaro Nava Arreguín y Sonia Reyes Cisneros que estuvieron incondicionalmente para mí en todo momento a largo de esta etapa. Les agradezco por todo su amor, cariño, compañía, consejos, motivación, apoyo emocional y sobre todo económico.

A mi profe el M.E. Walter Manuel Zúñiga Maldonado, por su constante apoyo, confianza, dedicación y orientación a lo largo de esta travesía.

A la empresa Santi-Agro Maravatío S.A. de C.V., por darme la oportunidad de desarrollar este proyecto en sus instalaciones.

A mis hermanos Eric, Omar, Mitzi y Kevin que siempre creyeron en mí y me brindaron su apoyo cuando más los necesite.

A mi cuñada, Mayra y mis sobrinos Axel, Natalia y Renata por todo su amor, paciencia y apoyo.

A la Ing. Mayra Gabriela Rosas Gallardo, por su paciencia, orientación, asesoramiento y por brindarme sus conocimientos durante este proceso.

Al Ing. Víctor Antonino Cortés Pérez, por su tiempo dedicado en la revisión, orientación y asesoramiento de este trabajo.

A mi novia Adi, por sus palabras de aliento, todo su apoyo, paciencia, amor y motivación brindada a lo largo de este proceso.

A mi compañero Pedro Morales Ávila, por el apoyo brindado y su amistad.

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado con mucho cariño, respeto y admiración a mis padres Bulmaro Nava Arreguín y Sonia Reyes Cisneros por todo su amor y apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida. Espero siempre ser un orgullo para ustedes y poder recompensarles tanto como me han dado.

ÍNDICE

RESUMEN	xii
SUMMARY	xiii
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Planteamiento del problema	5
1.4 Justificación	6
1.5 Objetivos.....	7
1.5.1 Objetivo General.....	7
1.5.2 Objetivos Específicos	7
1.6 Hipótesis	7
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	8
2.1 Generalidades del cultivo	8
2.1.1 Origen.....	8
2.1.2 Usos	8
2.1.3 Propiedades nutritivas	9
2.1.4 Importancia económica	9
2.1.5 Taxonomía	11
2.2 Morfología.....	11
2.2.1 Planta	11
2.2.2 Raíz	11
2.2.3 Hoja	12
2.2.4 Flor	12
2.2.5 Fruto.....	12
2.3 Requerimientos edafoclimáticos	13
2.3.1 Temperatura.....	13

2.3.2	Humedad relativa	13
2.3.3	Luminosidad	14
2.3.4	Riegos	14
2.3.5	Fertilización	15
2.3.6	Suelo	16
2.3.7	Plagas y enfermedades.....	17
2.3.8	Cosecha	21
2.4	Plagas importantes del pimiento.....	21
2.4.1	Araña roja de dos puntos (<i>Tetranychus urticae</i>).....	22
2.4.2	Araña roja (<i>Tetranychus cinnabarinus</i>).....	24
2.4.3	Detección e inspección de araña roja.....	26
2.4.4	Importancia económica	27
2.5	Control biológico	27
2.6	Depredadores biológicos	27
2.6.1	<i>Neoseiulus californicus</i> (ácaro depredador)	28
2.6.2	<i>Phytoseiulus persimilis</i> (ácaro depredador).....	29
2.6.3	<i>Amblyseius swirskii</i> (ácaro depredador).....	30
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....		32
3.1	Sitio experimental	32
3.2	Material vegetal	33
3.3	Diseño experimental.....	33
3.4	Establecimiento y manejo del experimento	34
3.4.1	Limpieza del terreno	34
3.4.2	Preparación del terreno	34
3.4.3	Desinfección del suelo.....	35
3.4.4	Prueba de fitotoxicidad	35
3.4.5	Trasplante	36
3.4.6	Liberación de los ácaros depredadores.....	36
3.4.7	Parámetros a evaluar	42

3.4.8 Muestreo	43
3.5 Toma de datos.....	43
3.6 Análisis estadístico	45
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1 Resultados.....	46
4.1.1 Temperatura promedio	46
4.1.2 Humedad relativa promedio (%).....	48
4.1.3 Superficie afectada (%)	50
4.1.4 Promedio de araña roja	52
4.1.5 Promedio de ácaros depredadores	56
4.1.6 Promedio de <i>Neoseiulus californicus</i>	58
4.1.7 Promedio de <i>Phytoseiulus persimilis</i>	61
4.1.8 Promedio de <i>Amblyseius swirskii</i>	64
4.2 Discusión.....	67
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69
5.1 Conclusiones	69
5.2 Recomendaciones.....	70
CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFÍA CITADA	71
CAPÍTULO 7. ANEXOS	78
7.1 GLOSARIO.....	84

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Producción de pimienta en el mundo (HortolInfo, 2020).	9
Tabla 2.2 Producción agrícola de chile morrón en México (SIAP, 2022).	10
Tabla 2.3 Taxonomía del pimienta morrón (Borbor y Suárez, 2007).	11
Tabla 2.4 Requerimientos de temperatura en pimienta (InfoAgro, 2003).	13
Tabla 2.5 Lamina de riego para pimienta morrón (Proain, 2020).	15
Tabla 2.6 Plagas en el cultivo de pimienta (Infoagro, 2003; Reyes, 2015; Intagri, 2016; Di Fabio, Lozoya, y Dos Santos, 2017; UNALM, 2017).	17
Tabla 2.7 Enfermedades en el cultivo de pimienta (Infoagro, 2003; INIFAP, 2013; Di Fabio <i>et al.</i> 2017).	19
Tabla 3.1 Tratamientos	33
Tabla 3.2 Liberación de ácaros depredadores.	41
Tabla 4.1 Mediana de temperaturas registradas por unidad de producción.	46
Tabla 4.2 Mediana de humedad relativa (%) registrada por unidad de producción.	48
Tabla 4.3 Mediana de Superficie afectada (%) por unidad de producción.	50
Tabla 4.4 Escala de acción para la araña roja en pimienta.	51
Tabla 4.5 Promedios de araña roja por unidad de producción.	52
Tabla 4.6 Adaptación de <i>Neoseiulus californicus</i>	58
Tabla 4.7 Adaptación de <i>Phytoseiulus persimilis</i>	61
Tabla 4.8 Adaptación de <i>Amblyseius swirskii</i>	64

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 Temperaturas registradas por unidad de producción.....	47
Gráfico 4.2 Humedades relativas (%) registradas por unidad de producción.....	49
Gráfico 4.3 Porcentaje de superficie afectada por araña roja en las unidades de producción.....	51
Gráfico 4.4 Evolución de araña roja en la unidad de producción APM1-2.	53
Gráfico 4.5. Evolución de araña roja en la unidad de producción Campo Bello. ...	54
Gráfico 4.6. Evolución de araña roja en la unidad de producción Dianis.	54
Gráfico 4.7. Evolución de araña roja en la unidad de producción TDH-1.....	55
Gráfico 4.8. Afectación del extracto de canela y jabón potásico en la población de ácaros depredadores.	57
Gráfico 4.9. Establecimiento del ácaro depredador <i>Neoseiulus californicus</i> en la UP “APM 1-2”.....	59
Gráfico 4.10. Establecimiento del ácaro depredador <i>Neoseiulus californicus</i> en la UP “Campo Bello”.	59
Gráfico 4.11. Establecimiento del ácaro depredador <i>Neoseiulus californicus</i> en la UP “Dianis”.....	60
Gráfico 4.12. Establecimiento del ácaro depredador <i>Neoseiulus californicus</i> en la UP “TDH1”.....	60
Gráfico 4.13. Establecimiento del ácaro depredador <i>Phytoseiulus persimilis</i> en la UP “APM 1-2”.....	62
Gráfico 4.14. Establecimiento del ácaro depredador <i>Phytoseiulus persimilis</i> en la UP “Campo Bello”.	62
Gráfico 4.15. Establecimiento del ácaro depredador <i>Phytoseiulus persimilis</i> en la UP “Dianis”.....	63
Gráfico 4.16. Establecimiento del ácaro depredador <i>Phytoseiulus persimilis</i> en la UP “TDH1”.....	63
Gráfico 4.17. Establecimiento del ácaro depredador <i>Amblyseius swirskii</i> en la UP “APM 1-2”.....	65

Gráfico 4.18. Establecimiento del ácaro depredador <i>Amblyseius swirskii</i> en la UP "Campo Bello".	65
Gráfico 4.19. Establecimiento del ácaro depredador <i>Amblyseius swirskii</i> en la UP "Dianis".	66
Gráfico 4.20. Establecimiento del ácaro depredador <i>Amblyseius swirskii</i> en la UP "TDH1".	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Área de estudio, Santiago Maravatío, Gto (Google maps 2023).....	32
Figura 3.2 Preparación del terreno para el cultivo de pimiento.	34
Figura 3.3 Plántulas de pimiento establecidas como prueba de fitotoxicidad.	35
Figura 3.4 Trasplante del cultivo de pimiento.	36
Figura 3.5. Monitoreo de araña roja en el cultivo de pimiento.	37
Figura 3.6 Realización de labores culturales.	37
Figura 3.7 Liberación de ácaros depredadores.	38
Figura 3.8. Caja de liberación (D-box) para organismos benéficos.	38
Figura 3.9. Spidex vital: botella grande de 500 ml con 10,000 adultos de <i>Phytoseiulus persimilis</i> mezclados con aserrín.	39
Figura 3.10. Spical Mite-plus: sobres de papel gancho con 100 ácaros depredadores de <i>Neoseiulus californicus</i> en todas sus etapas mezclados con salvado.	39
Figura 3.11 Swirski Mite: sobres de papel gancho con 250 ácaros depredadores de <i>Amblyseius swirskii</i> en todas sus etapas mezclados con salvado.	40
Figura 3.12. Muestreo Aleatorio Sistematizado.	43
Figura 3.13. Monitoreo simultáneo de ácaros depredadores y araña roja en pimiento.	44
Figura 3.14. Monitoreo de termohigrómetro Elitech para recolección de datos de humedad relativa y temperatura.	45

RESUMEN

La araña roja es un ácaro fitófago de gran importancia económica que afecta significativamente a diversos cultivos, entre ellos, el pimiento morrón. En este sentido, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de un programa de control biológico con los ácaros depredadores *Neoseiulus californicus*, *Phytoseiulus persimilis* y *Amblyseius swirskii* sobre la población de araña roja en el cultivo de pimiento morrón bajo invernadero. El estudio se efectuó en los invernaderos de la empresa Santi-Agro Maravatío S.A. de C.V., ubicada en el municipio de Santiago Maravatío, Guanajuato. Para ello se destinaron cuatro diferentes unidades de producción (APM1-2, Campo bello, Dianis y TDH1) donde además de monitorear la temperatura y humedad relativa, se realizaron liberaciones de ácaros se forma semanal y monitoreos directos en intervalos de una semana para determinar la incidencia de la araña roja en el cultivo, así como el establecimiento de los ácaros implementados. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el porcentaje de superficie afectada por araña roja registrada en las diferentes unidades de producción, ya que durante la semana 10 todas las UP superaron el Nivel de daño económico (> 4.66 arañas/hoja), siendo la UP "TDH1" la más afectada. En cuanto al establecimiento de los ácaros depredadores las especies *N. californicus*, y *A. swirskii*, se establecieron de mejor forma en la unidad de producción "Campo Bello" bajo las condiciones de 25.39 °C y 71.04% de humedad relativa (H.R). Mientras que el ácaro *P. persimilis*, se estableció de manera sobresaliente bajo las condiciones de 25.2 °C y 70.2% de H.R en la UP "TDH1". Con la implementación del programa de control biológico en las unidades de producción, los pesticidas fueron reemplazados por productos biorracionales (extracto de canela y jabón potásico) y el volumen aplicado disminuyó de 2,400 litros semanales por UP a tan solo 400 litros.

SUMMARY

The red spider is a phytophagous mite of great economic importance that significantly affects various crops, including bell pepper. In this sense, the objective of the present study was to determine the effect of a biological control program with the predatory mites *Neoseiulus californicus*, *Phytoseiulus persimilis* and *Amblyseius swirskii* on the red spider population in the greenhouse bell pepper crop. The study was carried out in the greenhouses of the company Santi-Agro Maravatío S.A. de C.V., located in the municipality of Santiago Maravatío, Guanajuato. For this purpose, four different production units were allocated (APM1-2, Campo Bello, Dianis and TDH1) where, in addition to monitoring temperature and relative humidity, weekly mite releases and direct monitoring were carried out at one-week intervals to determine the incidence of red spider in the crop, as well as the establishment of the implemented mites. The results showed significant differences ($p < 0.05$) between the percentage of surface affected by red spider registered in the different production units, since during week 10 all the UPs exceeded the Economic Damage Level (> 4.66 spiders/leaf). UP "TDH1" being the most affected. Regarding the establishment of predatory mites, the species *N. californicus* and *A. swirskii*, were best established in the "Campo Bello" production unit under the conditions of 25.39 °C and 71.04% relative humidity (RH). While the mite *P. persimilis* developed outstandingly under the conditions of 25.2 °C and 70.2% RH in the UP "TDH1". With the implementation of the biological control program in the production units, pesticides were replaced by biorational products (cinnamon extract and potassium soap) and the volume applied decreased from 2,400 liters per week to only 400 liters.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Introducción

La producción de pimiento morrón en México ha ido en aumento en los últimos 20 años. Este cultivo se produce en 19 de los 32 estados de la república mexicana y gran parte de la producción se exporta a mercados internacionales, principalmente Estados Unidos de América (SIAP, 2019).

El rendimiento promedio nacional de pimiento morrón es de 81.94 toneladas por hectárea. Guanajuato muy de lejos de Sinaloa y Sonora, es el tercer estado con mayor superficie sembrada de pimiento morrón produciendo un total de 45,108 toneladas en una superficie de 469 hectáreas. El rendimiento promedio de este estado es de 96 toneladas por hectárea, más que Sinaloa y Sonora (SIAP, 2019).

En la empresa Santi-Agro Maravatío S.A. de C.V. se han enfocado totalmente en el monocultivo, es decir, año tras año se dedican solamente a la producción de pimiento morrón bajo invernadero. Sin embargo, durante los últimos años se han venido presentando diversas problemáticas entre las cuales destaca la presencia de araña roja, acaro fitófago de pequeño aspecto y gran capacidad de reproducción que le permite infestar cultivos en pocos días. Dicha plaga se sitúa principalmente en el envés de las hojas donde encuentra un microclima con las condiciones idóneas para su alimentación y reproducción.

La araña roja afecta gravemente al cultivo succionando la savia de sus hojas, las cuales poco a poco manifiestan una decoloración en forma de puntos hasta que finalmente se produce una defoliación en las plantas. Esto es notoriamente reflejado

en la disminución de la actividad fotosintética que finalmente se traduce en un menor rendimiento y en casos extremos la pérdida total del cultivo.

Para su control suelen utilizarse diferentes ingredientes activos, sin embargo, con el tiempo esta plaga ha desarrollado una gran resistencia a los acaricidas químicos debido a su elevada capacidad de reproducción que le permite causar grandes daños en poco tiempo.

Cabe recordar que, históricamente, la araña roja ha sido la plaga 'estrella', contra la que el único remedio duradero ha sido el control biológico, con ácaros depredadores como *Phytoseiulus persimilis* y *Neoseiulus californicus* (Van der Blom, 2017).

Conociendo la importancia de los ácaros depredadores en el control de ácaros fitófagos en diferentes especies de plantas y su disponibilidad a nivel comercial, para este trabajo se planteó el objetivo de Determinar el efecto de un programa de control biológico con *Neoseiulus californicus*, *Phytoseiulus persimilis* y *Amblyseius swirski* sobre la población de araña roja en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*) bajo invernadero.

1.2 Antecedentes

El cultivo de pimiento en invernadero es un sistema muy simple, que puede no llegar a satisfacer los requerimientos necesarios para el establecimiento y mantenimiento de las poblaciones de muchas especies de enemigos naturales. El efecto de los enemigos naturales no es instantáneo como el de los insecticidas. Normalmente, transcurren varias semanas desde la introducción de un enemigo hasta que empieza a reducirse la densidad de la plaga. Es por ello que hay varios aspectos fundamentales para el buen manejo de los sistemas biológicos. Uno de ellos es el conocimiento de la abundancia de las plagas y enemigos naturales en el cultivo, así como su dinámica a lo largo del tiempo y la interacción entre las especies (Sanchez, 2021).

El manejo integrado de plagas consiste en la combinación y utilización de diferentes técnicas de control para disminuir las poblaciones de plagas por debajo de los niveles de daño económico y a su vez reducir el uso de plaguicidas. (Carrizo, 2017), afirma que entre estas técnicas se encuentra el control biológico que consiste en la regulación de la población de un organismo por medio de otro y parte del principio de que en la naturaleza todo organismo tiene uno o más antagonistas que lo eliminan o compiten con él.

Bouagga, Urbaneja, & Pérez, (2018) en su investigación de “Mejora del manejo de plagas en pimiento mediante la gestión de las defensas propias de la planta mediadas por depredadores zoofitófagos” establecen que, para minimizar el ataque de fitófagos plaga, las plantas poseen distintos tipos de mecanismos de defensa. Estas defensas pueden estar siempre presentes en la planta (constitutivas) o pueden activarse únicamente cuando una planta es atacada por un fitófago (inducibles). En trabajos previos hemos demostrado que varias especies de depredadores zoofitófagos utilizadas en estrategias de control biológico de plagas también son capaces de inducir defensas en tomate. Estas defensas inducibles son sin duda un valor añadido que poseen estos agentes de control biológico y que, gestionadas adecuadamente, podrían ofrecer una excelente oportunidad para aumentar la resiliencia de los cultivos. En este trabajo se resume la situación actual en la que se encuentra el estudio de inducción de defensas mediadas por depredadores zoofitófagos en el cultivo del pimiento.

Samaneh, Hamidreza, Azadeh, Arash, & Yaghoub, (2023) En su trabajo titulado “Eficacia de la liberación única y combinada de *Phytoseiulus persimilis* y *Amblyseius swirskii* en diferentes proporciones de liberación para el control de *Tetranychus urticae* y *Frankliniella occidentalis* en plantas de rosas” probaron la liberación única y combinada de *Phytoseiulus persimilis* y *Amblyseius swirskii* para el control de *Tetranychus urticae* en plantas de rosas. La eficacia de los depredadores se evaluó en proporciones depredador: presa en experimentos de laboratorio, y tasas de liberación de depredadores en experimentos de microcosmos. En todos los

tratamientos, la liberación de depredadores disminuyó significativamente la población de *T. urticae*, concluyendo así que *P. persimilis* y *A. swirskii* pueden liberarse simultáneamente a razón de 20 y 100 individuos por m², respectivamente, para el control exitoso de *T. urticae*.

Pérez Mayorga, (2018) implemento un control biológico para disminuir el nivel de infestación de la plaga *Tetranychus urticae* en el cultivo de clavel (*Dianthus caryophyllus*) bajo invernadero, mediante la utilización de los ácaros depredadores *Neoseiulus californicus* y *Phytoseiulus persimilis*, liberándose aproximadamente 40 individuos/m² de *Neoseiulus californicus* con frecuencia semanal y 20 Individuos/m² de *Phytoseiulis persimilis* con frecuencia mensual. Para verificar el establecimiento de los depredadores en los bloques se realizó monitoreo directo de los mismos en conjunto con el monitoreo de la plaga. Luego con la información adquirida durante la ejecución del proyecto se realizó el análisis de varianza para un diseño estadístico de bloques completamente al azar, para lo cual se determinó tener dos tratamientos cada uno con 10 repeticiones, Tratamiento uno (T1): Control convencional Tratamiento dos (T2): Control biológico. Al finalizar el proyecto se llegó a la conclusión de que el tratamiento dos (T2) presento disminución en el 79% de pérdidas de flores por causa del ácaro plaga, lo cual genera gran beneficio económico a la empresa Agrícola Cardenal Facatativá.

Castresana & Cédola, (2020) realizaron un relevamiento de ácaros benéficos en cultivos de tomate *Solanum lycopersicum* L., pimiento *Capsicum annuum* L., frutilla *Fragaria x ananassa* Duch y tabaco, *Nicotiana tabacum* L. en los departamentos de Concordia y Federación, provincia de Entre Ríos, Argentina. Un total de 9 especies pertenecientes a las familias, Phytoseiidae, Macrochelidae y Laelapidae fueron registradas. Realizaron monitoreos en dos establecimientos hortícolas de producción comercial bajo invernaderos, en forma semanal mediante la metodología de Polack y Mitidieri (2005) que consiste en revisar 20 hojas tomadas al azar de la parte media de la planta, logrando identificar 9 especies de ácaros

depredadores pertenecientes a las familias *Phytoseiidae*, *Macrochelidae*, *Laelapidae* y *Uropodidae*.

En agricultura ecológica es común, para el control de *Tetranychus urticae*, la lucha biológica con fitoseidos. Así pues, resulta importante saber, no solo, la población de la plaga, sino también de sus enemigos naturales. Además, para el control eficaz de dichos fitófagos mediante la suelta de depredadores, se necesita conocer con relativa precisión la población de plaga ya que esto es determinante a la hora de realizar sueltas de un tipo u otro de fitoseidos. Quilis Sandemetro, (2018) afirman que especies de fitoseidos como el *Amblyseius californicus* soportan mejor las bajas densidades de plaga a cambio de una capacidad depredadora menor; por otra parte, la especie *Phytoseiulus persimilis* necesita de poblaciones de *Tetranychus urticae* más elevadas, pero es capaz de depredar numerosos ácaros fitófagos. Es por esto, que, según la densidad de plaga, se realizan sueltas de una especie u otra.

1.3 Planteamiento del problema

En los últimos años, una plaga especialmente grave en cultivos como pimiento ha sido araña roja, *Tetranychus urticae*. Muchos agricultores han tenido malos resultados con la suelta de ácaros depredadores y han acudido a acaricidas químicos, de los que algunos son relativamente compatibles con algunas especies de agentes de control biológico. Cabe recordar que, históricamente, la araña roja ha sido la plaga 'estrella', contra la que el único remedio duradero ha sido el control biológico, con ácaros depredadores como *Phytoseiulus persimilis* y *Neoseiulus californicus* (Van der Blom, 2017).

Generalmente para el control de araña roja se han utilizado infinidad de acaricidas de síntesis química, los cuales poco a poco han dejado de ser eficaces debido a la generación de resistencia por parte de la plaga. Además, se su alta residualidad, también su uso se ha visto restringido por las nuevas regulaciones al uso de

insecticidas y por las propias tendencias del mercado, que vienen reclamando productos libres de residuos químicos, por lo que es necesario buscar alternativas adecuadas para el control de este tipo de organismos patógenos.

1.4 Justificación

El control biológico es uno de los pilares más importantes en el manejo integrado de plagas para la protección fitosanitaria en los sistemas de producción agrícola ya que presenta una gran cantidad de ventajas como lo es el desplazamiento de insecticidas, nula residualidad del producto, rara generación de resistencia por parte de las plagas, relación costo/beneficio favorable, así como la obtención de alimentos libres de pesticidas que benefician la calidad de vida del productor y los consumidores.

Calvo & Soriano, (2018) afirman que la liberación de parasitoides y depredadores, así como la aplicación de organismos entomopatógenos constituyen un método eficaz de control biológico de *T. urticae*. Existen multitud de enemigos naturales que aparecen atacando poblaciones de *T. urticae* de los cuales, los más utilizados dentro de las estrategias de control biológico, son los ácaros fitoseidos *Phytoseiulus persimilis* y *Neoseiulus californicus*.

Phytoseiulus persimilis es un depredador específico de tetraníquidos, por lo que es difícil proveer en el cultivo una fuente de alimento que mejore su establecimiento. Sin embargo, es considerado como el depredador más eficaz frente a araña roja y, en cultivos hortícolas, es el enemigo natural más utilizado para este fin. Tiene un rápido desarrollo y una elevada fecundidad y tasa de depredación cuando se alimenta de *T. urticae* (Van der Blom, 2017).

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

- Determinar el efecto de un programa de control biológico con *Neoseiulus californicus*, *Phytoseiulus persimilis* y *Amblyseius swirski* sobre la población de araña roja en el cultivo de pimiento morrón bajo invernadero.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Identificar temperaturas y humedades relativas óptimas para el desarrollo de un programa de control biológico para disminuir el nivel de daño económico ocasionado por *Tetranychus urticae* y *Tetranychus cinnabarinus* en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*) bajo invernadero.
- Identificar la efectividad de los diferentes tratamientos para el control biológico de araña roja.
- Determinar el nivel de daño de la araña roja en el cultivo.

1.6 Hipótesis

Hipótesis nula: Los ácaros depredadores se establecerán adecuadamente en todas las unidades de producción.

Hipótesis alterna: Los ácaros depredadores no se establecerán adecuadamente en las unidades de producción.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Generalidades del cultivo

2.1.1 Origen

El pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) es una planta del género *Capsicum* que incluye aproximadamente 25 especies y tiene su origen en las regiones tropicales y subtropicales de América (Ayala *et al.* 2015).

Es una de las solanáceas más cultivada en el mundo, especialmente por los países del mediterráneo. Los investigadores afirman que, por la gran diversidad de especies silvestres encontradas en México, este pudo ser un importante centro de origen del pimiento (Reche Mármol, 2010).

2.1.2 Usos

La fruta del pimiento se consume mayormente madura, ya sea en su etapa verde o cuando ha desarrollado su color característico al madurar. Los pimientos de la especie *C. annuum* no son picantes por lo que se pueden comer crudos en ensalada o cocidos de varias formas. Además, la fruta completamente madura se puede secar y moler para utilizar este polvo como colorante vegetal y condimento (Fornaris, 2005).

En México es utilizado como especia o condimento, posee alto valor nutritivo y bajo contenido en grasas, así como gran cantidad de agua, rico en vitaminas, minerales, carbohidratos y fibra (SADER, 2022).

2.1.3 Propiedades nutritivas

El pimiento destaca por su alto contenido en vitamina C, vitamina B2, B6, beta carotenos y vitamina E. Por ello, es adecuado para prevenir enfermedades degenerativas y crónicas. Específicamente, la beta caroteno ayuda a prevenir el cáncer, las hemorragias cerebrales, las cataratas, y las enfermedades cardíacas (Martínez *et al* 2016).

2.1.4 Importancia económica

2.1.4.1 Internacional

El país de China ocupa el primer lugar a nivel mundial en la producción de chile morrón con una producción de 16,650,855 toneladas. En cambio, México se posiciona en segundo lugar con una producción de 2,818,443 toneladas, seguido de Indonesia que, con una producción total de 2,772,594 toneladas se posicionan como tercer máximo productor (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Producción de pimiento en el mundo (HortolInfo, 2020).

País	Producción (Ton)	Superficie (Ha)	Rendimiento (kg/m²)
China	16,650,855	734.961	2.27
México	2,818,443	157.911	1.78
Indonesia	2,772,594	314.772	0.88
Turquía	2,636,905	91.491	2.88
España	1,472,850	21.750	6.77
Egipto	1,055,605	58.402	1.81
Nigeria	762,174	101.350	0.75

2.1.4.2 Nacional

En México los principales estados productores de chile morrón corresponden a Sinaloa y Sonora con una producción de 272,791.10 y 104,518.50 toneladas respectivamente. Mientras que Guanajuato ocupa el tercer lugar a nivel nacional con una producción total de 54,219.13 toneladas (Tabla 2.2).

Tabla 2.2 Producción agrícola de chile morrón en México (SIAP, 2022).

Entidad	Superficie Sembrada (ha)	Producción	Rendimiento (udm/ha)
Sinaloa	3,876.00	272,791.10	70.42
Sonora	1,377.00	104,518.50	75.9
Guanajuato	554.86	54,219.13	97.72
Jalisco	472	52,504.72	111.24
Querétaro	108.35	22,737.14	209.85
Coahuila	193	18,595.70	96.35
Baja California Sur	228.5	16,397.35	71.76
Hidalgo	42	5,174.80	123.21

En el periodo enero-noviembre de 2021, el valor de las exportaciones de pimienta fresco sumó mil 366 millones de dólares, lo que implicó un alza de 5.4% en comparación con igual lapso de un año atrás. Casi el 50% de su producción en el país se realiza bajo la modalidad de agricultura protegida, lo que posibilita que se encuentre en el mercado prácticamente en todas las épocas del año (SADER, 2022).

2.1.5 Taxonomía

Tabla 2.3 Taxonomía del pimiento morrón (Borbor y Suárez, 2007).

Reino	<i>Vegetal</i>
Clase	<i>Angiospermae</i>
Subclase	<i>Dicotyledoneae</i>
Orden	<i>Tubiflorae</i>
Familia	<i>Solanaceae</i>
Genero	<i>Capsicum</i>
Especie	<i>Annuum</i>

2.2 Morfología

2.2.1 Planta

Está constituida por un tallo principal de consistencia herbácea que después se lignifica y que, a partir de dicho tallo principal, cuando alcanza la altura de unos 40 cm se bifurca en 2-3 ramas que a su vez se ramifican en forma dicotómica. Su altura puede llegar en cultivos al aire libre a un metro de altura y en invernadero fácilmente a 2 metros, todo en función de la variedad, época y condiciones climáticas (Reche Mármol, 2010).

2.2.2 Raíz

Pivotante y profunda (dependiendo de la profundidad y textura del suelo), con numerosas raíces adventicias que horizontalmente pueden alcanzar una longitud comprendida entre 50 centímetros y 1 metro (InfoAgro, 2003).

La raíz es el órgano subterráneo de la planta que extrae las sustancias nutritivas del suelo (Reche Mármol, 2010).

2.2.3 Hoja

Entera, lampiña y lanceolada, con un ápice muy pronunciado y un pecíolo largo y poco aparente. El haz es liso y suave de color verde más o menos intenso y brillante. La inserción de las hojas en el tallo tiene lugar de forma alterna y su tamaño es variable en función de la variedad, existiendo cierta correlación entre el tamaño de la hoja adulta y el peso medio del fruto (InfoAgro, 2003).

2.2.4 Flor

Las flores aparecen solitarias en cada nudo del tallo, con inserción en las axilas de las hojas. Son pequeñas y constan de una corola blanca. La polinización es autógama (InfoAgro, 2003). Son generalmente hermafroditas y cuentan con cinco estambres (estructura masculina) y un pistilo (estructura femenina) en cada flor (Fornaris, 2005).

2.2.5 Fruto

La fruta crece mayormente solitaria, de forma colgante o erecta. Se cataloga como una baya hueca, con dos a cinco lóbulos o celdas que se encuentran separadas por paredes internas cruzadas (Fornaris, 2005).

InfoAgro (2003) afirma que se trata de una baya hueca, semicartilaginosa y deprimida, de color variable (verde, rojo, amarillo, naranja, violeta o blanco).

2.3 Requerimientos edafoclimáticos

2.3.1 Temperatura

El pimiento, sobre todo las variedades "dulces", tienen unas exigencias en temperaturas mayores que el tomate. Su desarrollo óptimo se produce a temperaturas diurnas entre 20 y 25°C y nocturnas de 16-18°C. Por debajo de 15°C su desarrollo se ve afectado y deja de crecer a los 10°C (Iglesias, 2006) (Tabla 2.4).

Tabla 2.4 Requerimientos de temperatura en pimiento (InfoAgro, 2003).

Fases del cultivo	Temperatura (°C)		
	Óptima	Mínima	Máxima
Germinación	20-25	13	40
Crecimiento vegetativo	20-25 (día) ,16-18 (noche)	15	32
Floración y fructificación	26-28 (día) 18-20 (noche)	18	35

2.3.2 Humedad relativa

El cultivo del pimiento exige una humedad ambiental del 50 al 70% para el desarrollo vegetativo y del 60% durante las primeras etapas del crecimiento de la planta, aunque en el período de crecimiento puede admitir humedades algo superiores al 70% pero en las etapas de floración debe ser inferior al 70% de lo contrario se corre el riesgo de ataque de enfermedades producidas por hongos y bacterias (Reche Mármol, 2010).

2.3.3 Luminosidad

Los niveles altos y continuos de luminosidad contribuyen a la reducción del crecimiento de las hojas, siendo imprescindible el sombreado del invernadero. Sin embargo, en ocasiones, la falta de luz provoca la caída de las flores y el aborto de los frutos (Reche Mármol, 2010).

Es una planta muy exigente en luminosidad (requiere de 10 a 12 horas de luz), por lo que en días cortos (otoño-invierno) es necesario aprovechar al máximo las horas de luz para evitar el aborto de flores y un desarrollo vegetativo demasiado exuberante (Iglesias y Valle, 2006).

2.3.4 Riegos

El agua de riego aporta la humedad exigida por las plantas para su crecimiento y desarrollo. Es imprescindible al ser el componente esencial de sus tejidos. En la planta de pimiento dulce cerca del 95 % de su peso total es de agua. El consumo de agua por kilo de fruto producido nos da idea de su importancia para las plantas, hasta 67 litros de agua consumida (Reche Mármol, 2010).

Borbor y Suarez, (2007) indican que los requerimientos de agua para una buena producción están entre 600 y 1 250 mm anuales. Para un cultivo de pimiento de primavera (diciembre – julio), las necesidades hídricas se estiman en 1 m³/m². En la producción de pimiento en invernadero la frecuencia de los riegos oscila de 1 -2 días hasta el cuaje de los primeros frutos, a riegos diarios a partir del inicio de recolección (Tabla 2.5).

Tabla 2.5 Lamina de riego para pimiento morrón (Proain, 2020).

Época	Litros/m ²	Litros/Ha	No. De riegos	m ³ /Ha
Antes de la plantación	-		1	250,00
Tras la plantación	-		1	75,00
Septiembre-octubre-noviembre	1 – 2	15,000	35	525,00
Diciembre-enero-febrero	2 – 2.5	22,500	45	1,012,50
Marzo-abril y mayo	2 – 5.3	27,500	45	1,237,50
Total	-	-	127	3,100,00

2.3.5 Fertilización

Teniendo en cuenta que las extracciones del cultivo a lo largo del ciclo guardan una relación de 3,5-1-7-0,6 de N, P₂O₅, K₂O y MgO, respectivamente, las cantidades de fertilizantes a aportar variarán notablemente en función del abonado de fondo y de factores como: calidad del agua de riego, tipo de suelo, climatología, etc. Tras el cuajado de los primeros frutos se riega con un equilibrio N-P-K de 1-1-1, que va variando en función de las necesidades del cultivo hasta una relación aproximada de 1,5-0,5-1,5 durante la recolección (InfoAgro, 2003).

Borbor y Suarez, (2007) recomienda 140 – 150 kg de nitrógeno, 120 – 150 kg de fósforo y 250 kg de potasio por hectárea en cada ciclo del cultivo.

Del Pino (2022) establece que para obtener un rendimiento de 21 ton/Ha de pimiento rojo es necesario extraer del suelo un total de 410 kg de N, 120 kg de P₂O₅, 675 kg de K₂ y 54 kg de MgO.

2.3.6 Suelo

En suelos arcillosos pueden presentarse problemas de asfixia radical, mostrando rápidamente los síntomas. Los valores de pH óptimos oscilan entre 6 y 7, aunque en suelos arenosos puede cultivarse con valores de pH comprendidos entre 7 y 8,5. En suelos ácidos presenta problemas de crecimiento y producción. Es menos resistente a la salinidad del suelo y del agua de riego que el tomate y más que el pimiento, siendo más sensible durante las primeras fases del desarrollo (Iglesias y Valle, 2006).

Los suelos más adecuados para el cultivo del pimiento son los franco-arenosos, profundos, ricos, en materia orgánica del 3-4 % y principalmente bien drenados. Los pH óptimos oscilan entre 6,5 y 7, aunque puede resistir ciertas condiciones de acidez (hasta 5,5,); En cuanto al agua de riego el pH óptimo es de 5,5 a 7. Es una especie de moderada tolerancia a la salinidad tanto del suelo como del agua de riego (Martínez *et al* 2016).

2.3.7 Plagas y enfermedades

Tabla 2.6 Plagas en el cultivo de pimiento (Infoagro, 2003; Reyes, 2015; Intagri, 2016; Di Fabio, Lozoya, y Dos Santos, 2017; UNALM, 2017).

Nombre común y científico	Daño	Control
Araña blanca (<i>Polyphagotarsonemus latus</i> (Banks))	Rizado de los nervios en las hojas apicales y brotes, curvaturas de las hojas más desarrolladas, enanismo y una coloración verde intensa.	Abamectina, amitraz, azufre mojable, diazinon, dicofol, endosulfan, propargita, tetradifon.
Gusano (<i>Spodoptera exigua</i> , <i>Spodoptera litoralis</i> , <i>Heliothis armigera</i> , <i>Heliothis peltigera</i>)	Daños ocasionados a la vegetación (<i>Spodoptera</i> , <i>Chrysodeixis</i>), daños ocasionados a los frutos (<i>Heliothis</i> y <i>Spodoptera</i>) y daños ocasionados en los tallos (<i>Heliothis</i>).	Trampas de feromonas, trampas de luz, <i>Bacillus thuringiensis</i> Kursta aki, Amitraz + Bifentrin, Azufre + Cipermetrin, Clorpirifos, Diazinon,
Minador (<i>Liriomyza huidobrensis</i> , <i>Phthorimaea operculella</i>)	Las hembras adultas extraen la savia de la planta, reducción en la fotosíntesis, marchitamiento o la caída prematura de las hojas.	Abamectina y Ciromacyna
Mosca blanca (<i>Trialeurodes vaporariorum</i> , <i>Bemisia tabaci</i>)	Amarillamiento y debilitamiento de las plantas, negrilla, virus.	Trampas amarillas, <i>Encarsia formosa</i> , <i>Eretmocerus mundus</i> , Citrolina, Amitraz, Bifentrin,
Paratrioza (<i>Bactericera cockerelli</i>)	Desecación, caída prematura de las hojas y daños cosméticos. La	Trampas amarillas, <i>Chrysoperla carnea</i> , <i>Tamarixia triozae</i> ,

	pérdida de hojas también reduce la cosecha.	extracto de ajo, aceite de neem, piretrinas naturales y jabones agrícolas.
Picudo (<i>Anthonomus eugeni</i> <i>Cano</i>)	Pedúnculos amarillos y cenizos, caída de la fruta. Una infestación temprana y severa puede destruir toda la cosecha.	Clorpirifós, Oxamil y Fipronil, metomil, carbaril, malatión, paratión metílico
Pulgón (<i>Aphis gossypii</i> , <i>Myzus persicae</i>)	Amarillamiento, necrosis y marchitamiento, desarrollo de "fumagina" que reduce la actividad fotosintética y mancha los frutos, agente importante en la transmisión de virus.	Amitraz + Bifentrin, Azufre + Cipermetrin, Maneb, Metil clorpirifos, Diazinon, Pirimicarb, Endosulfan, Metomilo, Fenpropatrin, Imidacloprid,
Trips (<i>Frankliniella occidentalis</i>)	Succionan el contenido celular de las plantas, causan líneas blancas en las hojas y frutos, deformaciones en los frutos jóvenes, transmisión del virus del bronceado del tomate.	Colocación de mallas, trampas cromáticas azules, <i>Amblyseius barkeri</i> , Citrolina, Acrinatrín, Cipermetrin + Metil clorpirifos, Diazinon,
Nematodos (<i>Meloidogyne javanica</i> , <i>M. arenaria</i> , <i>M. incognita</i>)	Producen nódulos en las raíces, obstrucción de vasos, menor desarrollo de la planta, marchitez en verde, clorosis y enanismo.	Uso de variedades resistentes, desinfección del suelo, solarización, Cadusafos, Etoprofos, Etoprofos
Cochinillas (<i>Pseudococcus affinis</i>)	Frenan el crecimiento, "negrilla", reducción de la capacidad fotosintética, deformaciones foliares.	<i>Cryptolaemus montrouzieri</i> , <i>Leptomastix dactylopii</i> .

Tabla 2.7 Enfermedades en el cultivo de pimiento (Infoagro, 2003; INIFAP, 2013; Di Fabio *et al.* 2017).

Nombre común y científico	Daño	Control
Podredumbre gris (<i>Botritis cinerea</i>)	Pudrición blanda de aspecto pardusco, moho aterciopelado gris sobre la superficie afectada	Ciprodinil + Fludioxonil, Diclofluanida, Tebuconazol, Iprodiona
Secadera o tristeza (<i>Phytophthora capsici</i>)	Marchitez irreversible, las raíces presentan moho y engrosamiento y chancro en la parte del cuello.	<i>Bacillus subtilis</i> , evitar excesos de humedad, Propamocarb
Antracnosis (<i>Colletotrichum lagenariu</i>)	El daño es principalmente en el fruto, el cual puede ser infectado en cualquier momento de su desarrollo	Clorotalonil, Moncozeb
Tizón temprano (<i>Alternaria solani</i>)	Manchas de color café que luego se tornan negras.	Mancozeb
Damping off (<i>Pythium spp.</i> , <i>Fusarium spp.</i> , y <i>Rhizoctonia spp.</i>)	Pudrición de las semillas o ahogamiento de las plántulas antes de su emergencia, zonas de color café en el cuello de la raíz, manchones o plantas aisladas con marchitez	<i>Bacillus subtilis</i> , evitar excesos de humedad, realizar aplicaciones de Propamocarb
Cenicilla (<i>Leveillula taurica</i>)	Decoloraciones circulares amarillas, punteado necrótico en el envés, defoliación	Tiofanato Metílico, Myclobutanil, Triamedefon
Mancha Bacteriana (<i>Xanthomonas campestris</i>)	Se observan en las hojas manchas irregulares, de color gris púrpura, con halo amarillo estrecho y el centro de color negro, produce defoliación	Sulfato cúprico, mancozeb
Podredumbre blanda de los frutos (<i>Erwinia carotovora</i>)	Tejido blando, en la planta, el fruto afectado se asemeja a una bolsa llena de agua.	Eliminación de malas hierbas, restos de cultivo y plantas infectadas, evitar

		heridas de poda, manejo adecuado de la ventilación y el riego, evitar el exceso de nitrógeno, marcos de plantación adecuados
Virus Y de la papa (PVY)	Mosaico con moteado y arrugado de las hojas apicales y bandas venosas verde oscuro, la producción y el tamaño de los frutos disminuye.	Eliminación de malas hierbas, Control de pulgones, Eliminación de plantas afectadas.
Moteado del pimiento (PeMV).	Moteado severo de la hoja, acompañado por distorsión y bandas venosas verdes. Los frutos sufren distorsiones severas.	Manejo integrado de áfidos
Virus del Bronceado del Tomate (TSWV)	Afecta el rendimiento y deteriora la calidad de los frutos	Eliminación de malas hierbas, Control de trips, Eliminación de plantas afectadas, Uso de variedades resistentes.
Enrollamiento de la hoja del chile (CLCV)	Encorvamiento y amarillamiento de las hojas, enanismo, entrenudos cortos y hojas reducidas.	Manejo integrado de la mosca blanca

2.3.8 Cosecha

La cosecha comienza una vez que los frutos hayan adquirido el máximo desarrollo esto ocurre entre 80 y 100 días después del trasplante, dependiendo de la variedad y el clima de la zona; la producción promedio es de 12 000 kg/ha, pero en condiciones excelentes puede llegar a 20 000 kg/ha (Borbor y Suárez, 2007).

Los precios y la demanda por un lado y las temperaturas por otro, son los factores que van a determinar el momento y la periodicidad de esta operación, recolectando antes de su madurez fisiológica en verde o en color según interese; una vez hecha la recolección, los frutos deben depositarse en cajas de cosecha, no deben asolearse y deben llevarse al área de selección y empaque, cuidando que el tamaño y el peso de la caja no sean demasiado grandes para no dañarlos. Además, se lleva a cabo la limpieza y selección aplicando los criterios de color, tamaño y textura, según la demanda del mercado (Parcero, 2014).

2.4 Plagas importantes del pimiento

La araña roja es una de las plagas más importantes en el cultivo del pimiento morrón debido a que es prácticamente imposible erradicarla por completo una vez que esta se manifiesta en el cultivo. Además de que es la principal plaga responsable de pérdidas en el rendimiento que van del 10 hasta el 50%, esto no solo se debe a una reducción en la cantidad de frutos, sino también a la calidad y el tamaño de éstos.

2.4.1 Araña roja de dos puntos (*Tetranychus urticae*)

Tetranychus urticae es un ácaro fitófago con alto potencial reproductivo, ciclo de vida corto, tasa de desarrollo rápido y capacidad para dispersarse rápidamente. Su tamaño oscila entre 0.4 y 0.6 mm (DGSV-CNRF, 2020).

2.4.1.1 Nombres comunes

Araña roja de dos manchas, araña roja, ácaro rojo (Ruíz, *et al.*, 2013).

2.4.1.2 Ubicación taxonómica

Clase: Arachnida; Orden: Prostigmata; Familia: Tetranychidae; Género: *Tetranychus*; Especie: *urticae* Koch (Ruíz, *et al.*, 2013).

2.4.1.3 Requerimientos climáticos

Ruíz *et al.*, (2013) afirma que la temperatura umbral mínima de desarrollo es de 10 °C y el requerimiento térmico huevo-adulto es de 144.5 GD, mientras que el requerimiento térmico huevo-huevo es de 169.8 GD, y para la etapa de adulto 25.3 GD. La longevidad de *T. urticae* aumenta de 26.1 a 35.5 días cuando desarrolla a temperaturas de 15 y 18 °C, respectivamente; sin embargo, dicha longevidad disminuye a 30.6 días, cuando su desarrollo se produce en ambientes de 21 °C.

2.4.1.4 Descripción

El huevo mide 0,13 mm de diámetro, es globular y translúcido; la larva es de color verde pálido y tiene seis patas. Mientras que las ninfas son de color verde pálido con marcas más oscuras y tienen ocho patas. La hembra adulta mide 0,6 mm de largo, es de color verde pálido o amarillo verdoso con dos manchas más oscuras en el cuerpo, que es ovalado con pelos bastante largos en el lado dorsal. Las hembras que pasan el invierno son de color rojo anaranjado. El macho tiene un cuerpo más pequeño, estrecho y puntiagudo que la hembra (CABI, 2021).

2.4.1.5 Medios de movimiento y dispersión

T. urticae se dispersa caminando activamente o por transporte pasivo en el viento y sobre plantas, herramientas y personas (Zhang, 2003).

2.4.1.6 Daños al cultivo

La alimentación de la araña roja hace que aparezcan manchas pálidas en las hojas. A medida que las infestaciones se vuelven más severas, las hojas se vuelven bronceadas o plateadas, se vuelven quebradizas y pueden caer prematuramente. Este ácaro puede matar las plantas con bastante rapidez. Los ácaros tejen telarañas que pueden cubrir todas las superficies de la planta (CABI, 2021).

2.4.1.7 Enemigos naturales

Los enemigos naturales más efectivos de *T. urticae* son los ácaros depredadores de la familia *Phytoseiidae*. Se ha demostrado que estos ácaros, que pertenecen a varios géneros, como *Amblyseius*, *Euseius*, *Neoseiulus* y *Phytoseius*, regulan las poblaciones de *T. urticae* en una variedad de cultivos (CABI, 2021).

2.4.2 Araña roja (*Tetranychus cinnabarinus*)

La arañita roja carmín, es una plaga cosmopolita polífaga y muy dañina a nivel mundial debido a que ataca alrededor de 120 cultivos de importancia económica (Peralta y Tello, 2011).

2.4.2.1 Nombres comunes

Araña roja (Ruíz, *et al.*, 2013); araña roja roja, arañita roja carmín (Peralta y Tello, 2011).

2.4.2.2 Ubicación taxonómica

Clase: *Artropoda*; Orden: *Acariforme*; Familia: *Tetranychidae*; Género: *Tetranychus*; Especie: *cinnabarinus* Boisduval (Ruíz, *et al.*, 2013).

2.4.2.3 Requerimientos climáticos

La temperatura a la que se alcanza la mayor fecundidad es 23.9 °C (72 huevos para las hembras apareadas) y la menor fecundidad corresponde a 28.9 °C (12.7 huevos para las hembras no fecundadas). Este ácaro requiere de 163 GD para completar su ciclo; y la temperatura mínima umbral de desarrollo es de 10 °C (Ruíz, *et al.*, 2013).

2.4.2.4 Descripción

Los huevos son esféricos de color naranja a rojo brillante Ruíz *et al.*, (2013).

2.4.2.5 Medios de movimiento y dispersión

Los ácaros de la especie *Tetranychus cinnabarinus*, tienden a dispersarse por el viento o caminando de una planta a otra a medida que la población de ácaros y la planta crecen. Muchos factores, como la superficie de la hoja, la disponibilidad y calidad de los alimentos, la explotación de la hoja, la depredación, la densidad de ácaros, la temperatura, la luz, la gravedad y la humedad pueden modificar la dispersión de los ácaros en la planta (Kielkiewicz, 1996).

2.4.2.6 Daños al cultivo

Su presencia es notoria, inicialmente por una clorosis parcial y posteriormente por las manchas rojas que quedan sobre la hoja donde se alimenta. Se localizan debajo de una fina telaraña. En ocasiones daña el fruto dejando unas manchas similares a las de las hojas y deterioran su calidad, puede completar su ciclo en una semana y su presencia se ve favorecida por condiciones de baja humedad y alta temperatura (Ruíz, *et al.*, 2013).

Los ácaros del género *Tetranychus* rompen el tejido epidérmico, remueven el contenido celular, destruyendo las células del parénquima. Esto destruye los cloroplastos, lo que se traduce en una disminución de la tasa fotosintética, de la conductancia estomática y de la transpiración, afectando el crecimiento, desarrollo y la producción (Peralta y Tello, 2011).

2.4.2.7 Enemigos naturales

Como depredadores se registran las especies de ácaros: *Mexechelodes hawaiiensis* Baker (Ghiletidae) y *Amblyseius* sp. (Phytoseidae), que devoran todos los estados de desarrollo de *T. cinnabarinus*. También se ha constatado la acción depredadora de *Somatium oviformis* Casey, *Stethorus* sp. y *Oligota* sp. (Ruíz, *et al.*, 2013).

2.4.3 Detección e inspección de araña roja

Las plantas gravemente infestadas pueden reconocerse por el moteado y bronceado de las hojas y la presencia de membranas. Sin embargo, es importante detectar las infestaciones antes de que lleguen a esta etapa examinando las hojas, con una lupa o bajo un microscopio, para revelar los ácaros. Se han desarrollado algunos esquemas de muestreo que utilizan la presencia o ausencia de ácaros en una muestra de hojas para reducir el tiempo de conteo (Raworth, 1986).

2.4.4 Importancia económica

Todos los ácaros tienen piezas bucales perforantes y succionadoras en forma de agujas. Los ácaros se alimentan penetrando el tejido de la planta con sus piezas bucales y se encuentran principalmente en el envés de la hoja. Cuando los ácaros succionan la savia, el tejido del mesófilo se colapsa y se forma una pequeña mancha clorótica en cada sitio de alimentación. Se estima que se destruyen de 18 a 22 células por minuto. La alimentación continua puede causar una defoliación completa si no se controlan los ácaros (Fasulo y Denmark, 2009).

2.5 Control biológico

DGSV-CNRF, (2020) afirma que existe una gran cantidad de agentes de control biológico que se han encontrado para *T. urticae*, en total 170 reportes, de los cuales 157 corresponden a depredadores, 11 entomopatógenos y 2 a parasitoides. Sin embargo, uno de los más empleados como medida de control en condiciones de invernadero y campo es *Phytoseiulus persimilis* y *Neoseiulus californicus*.

2.6 Depredadores biológicos

Los enemigos naturales pueden agruparse, desde un punto de vista biológico, en cuatro grupos básicos: los depredadores, los parásitos, los parasitoides y los patógenos. Un depredador es aquel organismo de vida libre que captura y se alimenta de otros artrópodos (presas) para completar su desarrollo (Margaría, 2012).

El desarrollo del conocimiento sobre la biología y el comportamiento de los depredadores ha permitido que sean una herramienta fundamental en el control biológico de plagas. Entre los insectos depredadores con mayor importancia para su

uso en el control biológico de plagas se encuentran los insectos del orden Hemíptera, Coleóptera, Acarina, Neuróptera y Díptera (Tripplehorn y Johnson, 2005).

2.6.1 *Neoseiulus californicus* (ácaro depredador)

Es un depredador especializado de arañas rojas (tetránquidos), especialmente de aquellas que producen abundante seda, por la que se mueve con gran facilidad, aunque también puede alimentarse en cierta medida de otras sustancias o insectos. Se ha producido comercialmente para su liberación en determinados cultivos y suele resistir mejor a condiciones de elevadas temperaturas (Zamora, Martínez, Guerrero, Fuentes y Hernández, 2008).

2.6.1.1 Condiciones ambientales

La población de *Neoseiulus californicus* es capaz de desarrollarse a una temperatura de 38 °C, cuando supera los 40 °C no ponen huevos y su desarrollo se detiene. El límite inferior de desarrollo es a los 10 °C y con una HR inferior al 70% aumenta la mortalidad de los huevos (Koppert, 2021).

2.6.1.2 Morfología

Huevos: ovoides, color transparente a blanco, adheridos a las tricomas de las venas en el envés de las hojas; Larva: tiene tres pares de patas, color blanco casi transparente, un par de quetas aparentes en la parte posterior del cuerpo; Ninfas (proto y deuto): presentan cuatro pares de patas. Se van oscureciendo según se desarrollan; Adultos: color beige-rosado, forma globosa (Koppert, 2021).

2.6.1.3 Modo de acción

Los ácaros depredadores adultos y ninfas buscan activamente su presa y la succionan hasta secarla. Depreda todos los estadios de *Tetranychus urticae*, pero tiene preferencia por los más jóvenes. Los ácaros depredadores también se alimentan de otros ácaros o de polen y pueden sobrevivir varias semanas sin alimentarse (Koppert, 2021).

2.6.2 *Phytoseiulus persimilis* (ácaro depredador)

Es un fitoseido que es depredador exclusivo de araña roja del género *Tetranychus*. Es una de las especies más extendidas y utilizadas a nivel comercial en el control de éstos ácaros, utilizándose ampliamente en cultivos de invernadero, especialmente en países de climas más templados, pues no resiste bien las condiciones de altas temperaturas y elevada sequedad (Zamora *et al.* 2008).

2.6.2.1 Condiciones ambientales

La humedad relativa deber ser superior al 75%, y la temperatura por encima de 20 °C algunas horas al día. *Phytoseiulus persimilis* no entra en diapausa (Koppert, 2021).

2.6.2.2 Morfología

Huevos: ovoides, rosas y transparentes primero, más oscuros después, de doble tamaño que los de la araña roja; Larvas / ninfas: rojo pálido a ligero; Adultos: color rojo brillante, muy activos, con forma de pera y patas muy largas (Koppert, 2021).

2.6.2.3 Modo de acción

Los ácaros depredadores adultos y ninfas buscan activamente su presa y la succionan hasta secarla. Depreda todos los estadios de la araña roja (*Tetranychus urticae*), pero tiene preferencia por los más jóvenes. El ácaro depredador sólo puede sobrevivir a expensas de las arañas rojas (*Tetranychus spp*) (Koppert, 2021).

2.6.3 *Amblyseius swirskii* (ácaro depredador)

Amblyseius swirskii es un depredador generalista conocido por consumir otros ácaros, así como moscas blancas, trips, huevos de lepidópteros y polen. Aunque *A. swirskii* puede aprovechar una relativamente amplia variedad de fuentes de alimentos, se encontró que cuando es alimentado con ácaros eriófidos y tetraníquidos su desarrollo es más rápido y la reproducción más alta que sobre una dieta solo de polen (Buenahora, 2014).

2.6.3.1 Condiciones ambientales

El ácaro depredador *Amblyseius swirskii* es no susceptible a diapausa, por lo que puede introducirse todo el año, tolerante a altas temperaturas, la población de *Amblyseius swirskii* se empieza a desarrollar cuando la temperatura diurna excede en promedio los 20 a 22° C (Koppert, 2021).

2.6.3.2 Morfología

Huevos: son ovals y miden 0.14 mm de diámetro. Son depositados principalmente en el envés de las hojas adheridos a los tricomas de las venas; larva: tiene tres pares de patas, color blanco casi transparente; ninfas (proto y deuto): presentan cuatro pares de patas. Su color es amarillo blanquecino; adultos: tienen cuatro pares de patas, su color es amarillo blanquecino, en forma de gota y patas cortas (Koppert, 2021).

2.6.3.3 Modo de acción

Los ácaros adultos buscan su presa y la succionan hasta dejarla seca (Koppert, 2021).

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1 Sitio experimental

El presente estudio se llevó a cabo en los invernaderos de la empresa Santi-Agro Maravatío S.A. de C.V. Ubicada en el municipio de Santiago Maravatío, Guanajuato, dicho municipio se encuentra en las coordenadas geográficas (20° 10' 28"N y 100° 59' 38"W) (Sinaproc, 2021) (Figura 3.1).

Santiago Maravatío se localiza a una altura de 1,750 msnm; el clima es semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad (*Aw*) (García, 2004). La temperatura media anual es de 17.7° C, registrándose temperaturas máximas y mínimas de 33° C y 2.2°C respectivamente, la precipitación total anual es de 665.5 milímetros, el tipo de vegetación en el sitio, corresponde a una selva baja caducifolia (Sinaproc, 2021).

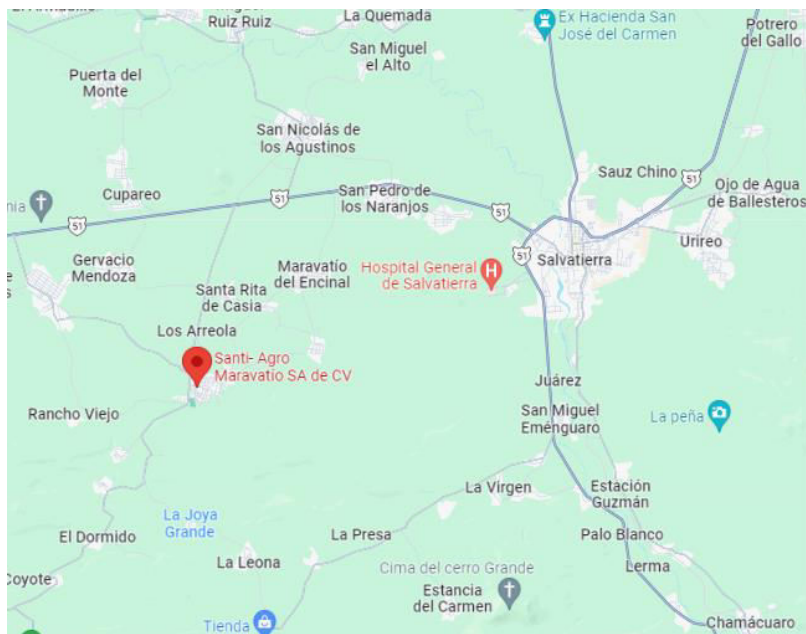


Figura 3.1 Área de estudio, Santiago Maravatío, Gto (Google maps 2023).

3.2 Material vegetal

Se establecieron dos variedades de pimiento morrón: en las unidades de producción “Campo bello” y “APM1-2” se estableció la variedad *Stephania*, mientras que en “Dianis” y “TDH-1” se estableció la variedad Tamayo.

Variedad Tamayo: Híbrido naranja de alto rendimiento con buen vigor de la planta, buena calidad de fruta y producción temprana (Bayer, 2023).

Variedad *Stephania*: Planta fuerte de hábito abierto, fruta color amarillo brillante, cosecha temprana con amarre continuo y producción excepcional de frutos grandes a extra grandes (Syngenta, 2023).

3.3 Diseño experimental

El experimento consta de cuatro muestras independientes (Invernaderos) donde se implementó una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis utilizando un valor crítico de chi-cuadrado, con 4-1 grados de libertad y un nivel de alfa de 0,05 para determinar si hay una diferencia significativa entre los grupos. Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Tratamientos

	Tratamientos (Unidades de producción)			
	Campo bello (T1)	Dianis (T2)	APM 1 y 2 (T3)	TDH-1 (T4)
Cultivo y variedad	<i>Capsicum annum</i> Var. Estefania	<i>Capsicum annum</i> Var. Tamayo	<i>Capsicum annum</i> Var. Estefania	<i>Capsicum annum</i> Var. Tamayo
Superficie (Ha)	1	1.2	1.4	1.4
Trasplante	16-feb-23	28-feb-23	01-mar-23	03-mar-23
Plantas iniciales	29,465	33,866	48,564	42,165
Población	66	66	66	66

3.4 Establecimiento y manejo del experimento

3.4.1 Limpieza del terreno

Para el establecimiento del experimento como primer paso se realizó la limpieza del terreno la cual consistió en la eliminación de residuos plásticos y vegetales dentro del invernadero, además de la eliminación de malezas en la periferia de la estructura bioclimática. Seguido a esto se utilizó una parihuela agrícola para realizar el lavado de estructura con una aplicación de jabón.

3.4.2 Preparación del terreno

Se realizaron dos subsolados con un arado de picos a una profundidad de 80 centímetros, además de un rastreo mediante la implementación de una rastra desterronadora y posteriormente se procedió a realizar el surcado a una distancia de 1.60 metros resultando un total de 6 camas de cultivo por túnel, las cuales tienen unas dimensiones de 80 centímetros de ancho y 45 centímetros de alto. Seguido a esto, sobre las camas de cultivo se realizó una aplicación combinada de azufre y cipermetrina humectable. Posteriormente se realizó la colocación de las cintillas de riego seguido del acolchado plástico para después proceder con la aplicación de riegos pesados que permitan llevar el terreno hasta capacidad de campo (Figura 3.2).



Figura 3.2 Preparación del terreno para el cultivo de pimiento.

3.4.3 Desinfección del suelo

Una vez alcanzada la capacidad de campo se deja reposar el terreno durante cinco días con la finalidad de activar la microfauna del suelo y se procede a realizar una desinfección del suelo realizando una inyección de metan sodio, cloropicrina, dicloropropeno y dimetil disulfuro a través del sistema de riego. Por lo que la unidad de producción deberá permanecer totalmente cerrada durante 16 días, esto con la finalidad de preparar el suelo para el trasplante y mantenerlo libre de patógenos.

3.4.4 Prueba de fitotoxicidad

Una vez que se haya completado la desinfección, se procederá al trasplante de al menos tres plantas por cada medio túnel para realizar una prueba de fitotoxicidad y determinar si el suelo está apto para el trasplante general (Figura 3.3).



Figura 3.3 Plántulas de pimienta establecidas como prueba de fitotoxicidad.

3.4.5 Trasplante

Finalmente, pasados cinco días después de la prueba de fitotoxicidad se realizó el marcado y estacado de las camas para el trasplante del cultivo de pimiento morrón el cual quedo establecido a una distancia de 20 centímetros entre plantas, obteniendo una densidad poblacional de 2.9 plantas/m² (Figura 3.4).



Figura 3.4 Trasplante del cultivo de pimiento.

3.4.6 Liberación de los ácaros depredadores

Los ácaros depredadores utilizados fueron adquiridos con la empresa Koppert y tras cada recepción se hizo un almacenamiento de un día, a una temperatura de entre 8-10°C, siempre teniendo en cuenta que las botellas deben resguardarse en oscuridad y en posición horizontal. Debido a que los productos de control biológico tienen un ciclo de vida muy corto, estos se deben introducir en el cultivo lo antes posible tras su recepción (Koppert, 2021). Las liberaciones se realizaron de forma semanal en un horario de 6:00 a.m. a 10:00 a.m.

El inicio de la liberación de ácaros para el control biológico comenzó al detectarse la presencia de araña roja en el cultivo, las liberaciones se realizaron sobre los primeros focos de infestación de la plaga (Figura 3.5).



Figura 3.5. Monitoreo de araña roja en el cultivo de pimiento.

La primera liberación de los ácaros depredadores (*Neoseiulus californicus*, *Phytoseiulus persimilis*, *Amblyseius swirskii*) para el control de araña roja en el cultivo de pimiento morrón establecido en las unidades de producción, consistió en una suelta masiva de ácaros para cada una de las unidades de producción, atendiendo prioritariamente los focos de infestación y se realizó a los 59 días después del trasplante (DDT) una vez que se terminaron de realizar las labores culturales correspondientes como la eliminación del piso cero, anillado, desbrote basal, definición de tallos y tutoreo (Figura 3.6).



Figura 3.6 Realización de labores culturales.

Según Koppert (2021) se deberá colocar horizontalmente y girar suavemente la botella, posteriormente se presionará el tapón dosificador y se procederá a esparcir el material sobre las hojas (Figura 3.7) o para el caso de *Phytoseiulus persimilis* también será posible introducirlo en cajas de aplicación (D-box) (Figura 3.8).



Figura 3.7 Liberación de ácaros depredadores.



Figura 3.8. Caja de liberación (D-box) para organismos benéficos.

El inicio de la aplicación de los tratamientos comenzó durante la semana 9 para el caso de la unidad de producción de “Campo bello” y consistió en la introducción de 50,000 individuos de *Phytoseiulus persimilis* (Spidex vital: botella grande de 500 ml con 10,000 adultos mezclados con aserrín.) (Figura 3.9), 550,000 individuos de *Neoseiulus californicus* (Spical Mite-plus: sobres de papel gancho con 100 ácaros depredadores en todas sus etapas mezclados con salvado) (Figura 3.10) y 1,650,000 individuos de *Amblyseius swirskii* (Swirski Mite: sobres de papel gancho con 250 ácaros depredadores en todas sus etapas mezclados con salvado).



Figura 3.9. Spidex vital: botella grande de 500 ml con 10,000 adultos de *Phytoseiulus persimilis* mezclados con aserrín.



Figura 3.10. Spical Mite-plus: sobres de papel gancho con 100 ácaros depredadores de *Neoseiulus californicus* en todas sus etapas mezclados con salvado.

En las unidades de producción “Dianis”, “APM 1-2” y “TDH-1” la aplicación de tratamientos se inició durante la semana 8 realizando una introducción de 50,000 individuos de *Phytoseiulus persimilis* (Spidex vital), 200,000 individuos de *Neoseiulus californicus* (Spical Mite-plus) y 1,650,000 individuos de *Amblyseius swirskii* (Swirski Mite) para “Dianis”; 50,000 individuos de *Phytoseiulus persimilis* (Spidex vital), 200,000 individuos de *Neoseiulus californicus* (Spical Mite-plus) y 1,650,000 individuos de *Amblyseius swirskii* (Swirski Mite) para “APM 1-2”; y finalmente 50,000 individuos de *Phytoseiulus persimilis* (Spidex vital), 275,000 individuos de *Neoseiulus californicus* (Spical Mite-plus) y 1,800,000 individuos de *Amblyseius swirskii* (Swirski Mite) para “TDH-1” (Figura 3.11).



Figura 3.11 Swirski Mite: sobres de papel gancho con 250 ácaros depredadores de *Amblyseius swirskii* en todas sus etapas mezclados con salvado.

Posteriormente las liberaciones se estuvieron realizando de forma semanal, atendiendo principalmente las zonas afectadas. Las fechas de aplicación se muestran en la (Tabla 3.2).

Tabla 3.2 Liberación de ácaros depredadores.

Aplicación de tratamientos				
No. Liberaciones	Campo bello (T1)	Dianis (T2)	APM 1-2 (T3)	TDH-1 (T4)
1	21-abr-23	26-abr-23	28-abr-23	28-abr-23
2	28-abr-23	05-may-23	05-may-23	05-may-23
3	05-may-23	12-may-23	12-may-23	12-may-23
4	15-may-23	19-may-23	29-may-23	27-may-23
5	19-may-23	29-may-23	05-jun-23	05-jun-23
6	22-may-23	02-jun-23	09-jun-23	14-jul-23
7	31-may-23	09-jun-23	16-jun-23	21-jul-23
8	02-jun-23	12-jun-23	23-jun-23	28-jul-23
9	12-jun-23	16-jun-23	30-jun-23	
10	16-jun-23	23-jun-23	07-jul-23	
11	20-jun-23	30-jun-23	15-jul-23	
12	23-jun-23	07-jul-23	21-jul-23	
13	21-jul-23	14-jul-23	28-jul-23	
14	28-jul-23	21-jul-23		
15		28-jul-23		

3.4.7 Parámetros a evaluar

- **Promedio de individuos de araña/hoja:** Para verificar la incidencia de la araña roja en las unidades de producción se realizó un monitoreo directo de la plaga de forma semanal.
- **Porcentaje (%) de plantas afectadas:** se estableció una relación con el total de plantas iniciales establecidas y la cantidad de plantas afectadas por semana.
- **Promedio de enemigos naturales/hoja:** Para verificar el establecimiento de los ácaros depredadores en las unidades de producción se realizaron monitoreos directos de forma semanal.
- **Número de liberaciones:** se realizó un registro manual del número de liberaciones y cantidad de ácaros depredadores liberados.
- **Temperatura (°C) y Humedad relativa (%):** estos factores se recabaron de forma remota mediante la utilización de un termohigrometro instalado en cada unidad de producción.

3.4.8 Muestreo

Se utilizó un muestreo aleatorio sistematizado, seleccionando un total de 40 puntos de muestreo por invernadero. Los sitios de muestreo se indican en la (Figura 3.12).

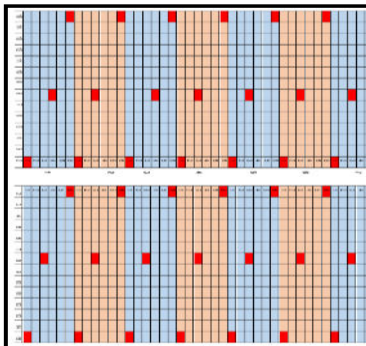


Figura 3.12. Muestreo Aleatorio Sistematizado.

3.5 Toma de datos

El monitoreo de la araña roja (*Tetranychus urticae*) y de los ácaros depredadores (*Neoseiulus californicus*, *Phytoseiulus persimilis*, *Amblyseius swirskii*) en el cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annum*) se realizó de forma semanal por un lapso de diecisiete semanas. Para esto se implementó un muestreo aleatorio sistematizado, el cual consistió en la selección de 40 plantas homogéneas y bien desarrolladas por invernadero, es decir, tomando una planta por punto de muestreo.

A cada planta seleccionada para muestreo se le colocó un señalamiento para ser monitoreada de forma semanal. Las plantas fueron inspeccionadas con una lupa de 40x, revisando el envés de tres hojas por planta de los estratos alto, medio y bajo, iniciando en los bordes del invernadero, esto con la finalidad de determinar la incidencia de araña roja por hoja, así como el promedio de los ácaros depredadores establecidos por hoja (Figura 3.13).



Figura 3.13. Monitoreo simultáneo de ácaros depredadores y araña roja en pimiento.

El monitoreo comenzó con la selección de una hoja bien desarrollada (fotosintéticamente activa) del estrato alto (ápice) la cual fue volteada con cuidado, para revisar el envés y con ayuda de una lupa de 40x observar toda la superficie, haciendo énfasis a las zonas cercanas a las nervaduras, al mismo tiempo se estuvo realizando el conteo de adultos de araña roja y ácaros depredadores por hoja, anotando los resultados en la bitácora de campo donde además se señalizó la línea y el poste afectado; posteriormente se tomó una hoja bien desarrollada del estrato medio para revisar el envés y con ayuda de una lupa de 40x observar toda la superficie, haciendo énfasis en los espacios cercanos a las nervaduras y de igual manera realizar el conteo y registro total de adultos de araña roja y ácaros depredadores por hoja; finalmente se tomó una hoja bien desarrollada del estrato bajo y se procedió a revisar el envés utilizando una lupa de 40x para observar toda la superficie, haciendo énfasis en los espacios creados entre las nervaduras. Después se continuó con el recorrido repitiendo el mismo proceso para cada una de las plantas previamente seleccionadas para el muestreo. Las plantas dañadas o infestadas por la plaga fueron marcadas de color rojo para observar la evolución de la incidencia y evitar

la entrada de operarios a dicha zona. Todos los datos obtenidos fueron registrados en la respectiva base de datos.

Para la recolección de datos de humedad relativa (%) y temperatura (°C) se estableció un Termohigrómetro Elitech RC-51H o RC-4HC por invernadero, el cual posee una exactitud de ± 0.5 (20°C/+40°C); $\pm 10\%$ HR, permitiendo la recolección de hasta 32,000 lecturas. El sensor fue programado para realizar la lectura de datos en intervalos de una hora y la descarga de información almacenada se realizó los días lunes antes del mediodía, esto debido a que una vez obtenida la información se deben programar nuevamente los sensores (Figura 3.14).



Figura 3.14. Monitoreo de termohigrómetro Elitech para recolección de datos de humedad relativa y temperatura.

3.6 Análisis estadístico

Se utilizó el programa informático de Excel para generar una base de datos con la información recabada y posteriormente se corrieron los datos en el programa de Minitab 2019 para realizar el análisis de tratamientos e interpretación de las variables a estudiar mediante la implementación de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis utilizando un valor crítico de chi-cuadrado, con 4-1 grados de libertad y un nivel de alfa de 0,05 para determinar si existe una diferencia significativa entre los grupos.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

Se realizaron un total de 17 monitoreos por unidad de producción, los cuales fueron programados de forma semanal para llevar un registro sobre la incidencia de araña roja en el cultivo de pimiento, así como el establecimiento de los ácaros depredadores empleados para el control biológico. Además, se utilizaron Termohigrómetros de la marca Elitech programados de forma semanal en intervalos de una hora para la recolección de datos de humedad relativa (%) y temperatura (°C), colocando un dispositivo por unidad de producción.

4.1.1 Temperatura promedio

Para la variable de temperatura promedio se acepta la hipótesis nula y se concluye que todas las medianas son iguales al no existir una diferencia significativa ($p > 0.05$) entre las temperaturas registradas en las diferentes unidades de producción.

Tabla 4.1 Mediana de temperaturas registradas por unidad de producción.

UP	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
APM 1 Y 2	17	25.8	34.7	0.04
CAMPO BELLO	17	25.2	34.4	-0.01
DIANIS	17	26.2	37.3	0.67
TDH-1	17	25.3	31.6	-0.70
General	68		34.5	

Prueba

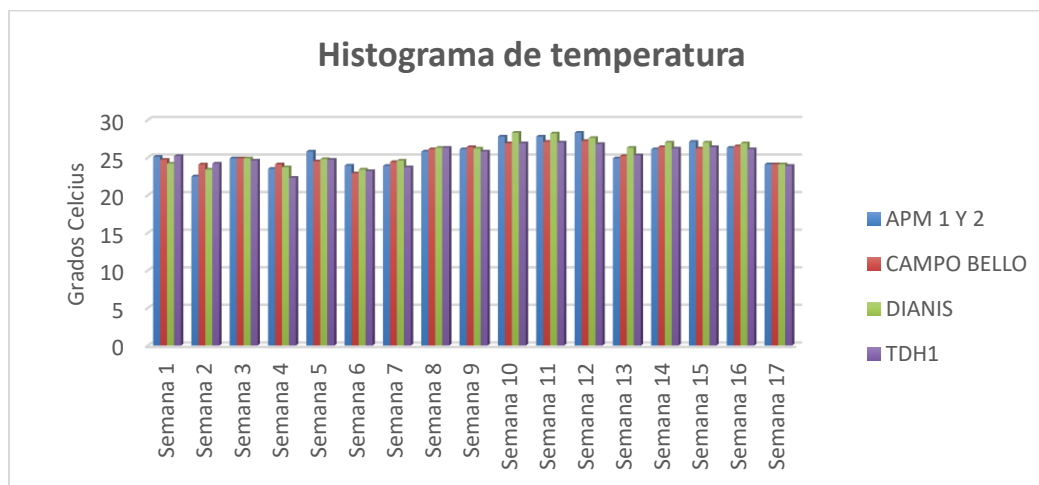
Hipótesis nula H_0 : Todas las medianas son iguales

Hipótesis alterna H_1 : Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	3	0.71	0.871
Ajustado para empates	3	0.71	0.871

Los datos obtenidos reflejan que todas las unidades de producción tratadas bajo control biológico poseen condiciones ambientales similares que varían de los 12 a los 43 grados celcius Sin embargo, la unidad de producción “Dianis” resulto ser el recinto más caliente al registrar las temperaturas más elevadas del ciclo, por lo que se posiciona en primer lugar con una temperatura promedio de 25.7 °C, seguido de “APM-1-2” con 25.5 °C, “Campo bello” con un promedio de 25.3 °C y finalmente “TDH1” con 25.2 °C. Como se puede observar en el Gráfico 4.1.

Gráfico 4.1 Temperaturas registradas por unidad de producción.



4.1.2 Humedad relativa promedio (%)

Para la variable de Humedad relativa se rechaza la hipótesis nula al existir una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los porcentajes de humedad relativa registrada en las diferentes unidades de producción.

Tabla 4.2 Mediana de humedad relativa (%) registrada por unidad de producción.

UP	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
APM 1 Y 2	17	58.9	19.6	-3.58
CAMPO BELLO	17	72.2	45.3	2.59
DIANIS	17	64.0	29.0	-1.32
TDH-1	17	70.1	44.1	2.30
General	68		34.5	

Prueba

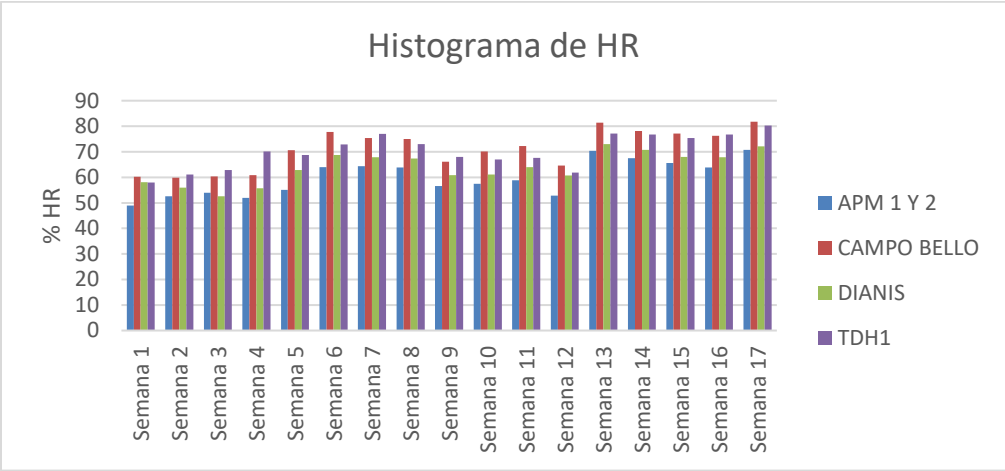
Hipótesis nula H_0 : Todas las medianas son iguales

Hipótesis alterna H_1 : Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	3	19.90	0.000
Ajustado para empates	3	19.91	0.000

De acuerdo con los datos obtenidos se determinó que las unidades de producción que presentaron las temperaturas promedio más elevadas son aquellas que presentaron también los promedios de humedad relativa más bajos. Ocupando el primer lugar la unidad productiva de “Campo bello” seguida de “TDH1”, “Dianis” y “APM1-2” con promedios de 71.04%, 70.25%, 63.98% y 59.91% respectivamente. Como se puede observar en el Gráfico 4.2.

Gráfico 4.2 Humedades relativas (%) registradas por unidad de producción.



4.1.3 Superficie afectada (%)

Para la variable superficie afectada (%) se determinó que sí existe una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los resultados del porcentaje de superficie afectada por araña roja registrada en las diferentes unidades de producción y por lo tanto se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 4.3 Mediana de Superficie afectada (%) por unidad de producción.

UP	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
APM 1 Y 2	17	0.58	24.9	-2.31
CAMPO BELLO	17	17.60	46.6	2.91
DIANIS	17	0.34	23.8	-2.57
TDH-1	17	14.24	42.7	1.97
General	68		34.5	

Prueba

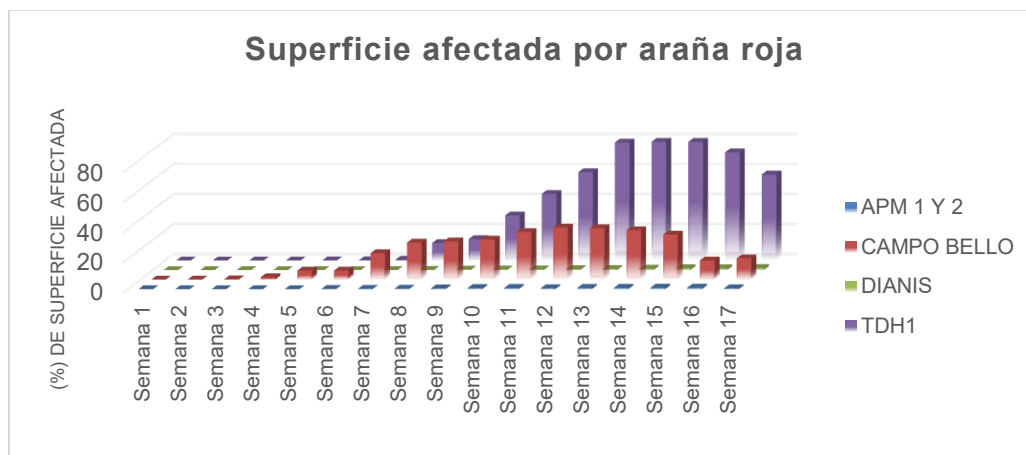
Hipótesis nula H_0 : Todas las medianas son iguales

Hipótesis alterna H_1 : Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	3	18.21	0.000
Ajustado para empates	3	18.22	0.000

Las unidades de producción variaron significativamente entre sí en cuanto al porcentaje de superficie afectada por araña roja, siendo la UP “TDH1” la mayormente afectada alcanzando un nivel de daño del 79.06% de plantas afectadas, seguida de “Campo bello”, “Dianis” y “APM1-2” con niveles de daño alcanzados de 34.64%, 1.46% y 1.06%. Como se puede observar en el Gráfico 4.3.

Gráfico 4.3 Porcentaje de superficie afectada por araña roja en las unidades de producción.



En la empresa Santi-Agro Maravatio S.A de C.V., se instituyeron tres escalas de daño para determinar la incidencia de la araña roja sobre el cultivo de pimiento, estableciendo un valor crítico (>4.66 arañas/hoja) por encima del cual se produce un nivel de daño económico (NDE) en el cultivo. Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Escala de acción para la araña roja en pimiento.

Escala	1	2	3
Arañas rojas/hoja	0.01-2.33	2.34-4.66	>4.66 (NDE)

Cabe mencionar que la unidad productiva de “TDH1” fue el primer recinto en sobrepasar el Nivel de Daño Económico (NDE) (>4.66 arañas/hoja) con un promedio de 5.7 arañas/hoja, durante la semana cinco donde se registró una temperatura promedio de 24.5 °C y 70.6% de humedad relativa.

4.1.4 Promedio de araña roja

Para la variable promedio de araña roja se acepta la hipótesis nula al determinar que todos los resultados son iguales y no existe una diferencia significativa ($p > 0.05$) entre el promedio de araña roja registrado para cada unidad de producción.

Tabla 4.5 Promedios de araña roja por unidad de producción.

UP	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
APM 1 Y 2	17	4.30	27.6	-1.65
CAMPO BELLO	17	4.35	34.4	-0.03
DIANIS	17	5.29	31.9	-0.64
TDH-1	17	7.45	44.1	2.32
General	68		34.5	

Prueba

Hipótesis nula H_0 : Todas las medianas son iguales

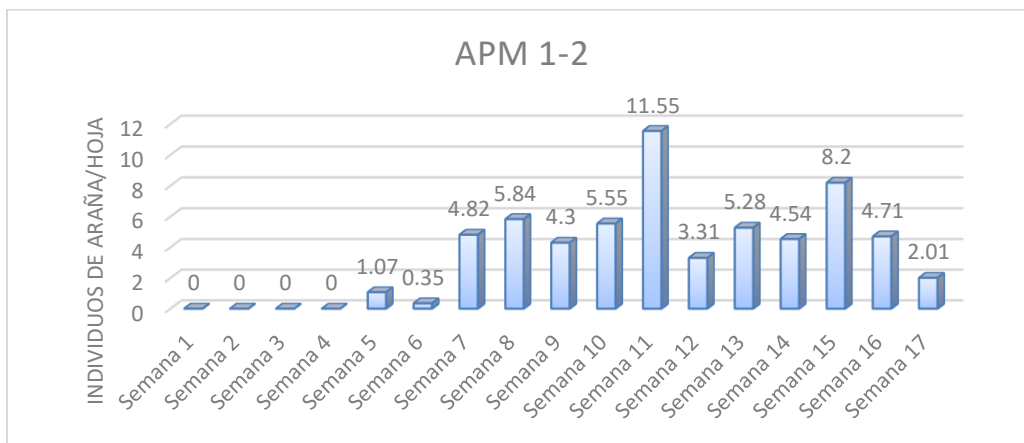
Hipótesis alterna H_1 : Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	3	6.37	0.095
Ajustado para empates	3	6.38	0.095

La unidad de producción conocida como "APM1-2", se mantuvo libre de araña roja hasta la cuarta semana, sin embargo, a partir de la semana cinco donde se registró una temperatura y humedad relativa promedio de 25.8 °C y 55.1%, se detectó el primer foco de infestación de la plaga con un promedio de 1.07 arañas/hoja. A partir de ese momento se comenzaron a realizar de forma semanal las liberaciones de ácaros depredadores sobre las plantas afectadas al igual que aplicaciones dirigidas de jabón potásico y extracto de canela. Sin embargo, la población de la plaga continuó incrementando, alcanzando su punto máximo en la semana 11 con un promedio de 11.55 arañas/hoja, semana donde las condiciones fueron de 27.8 °C y 58.9% de

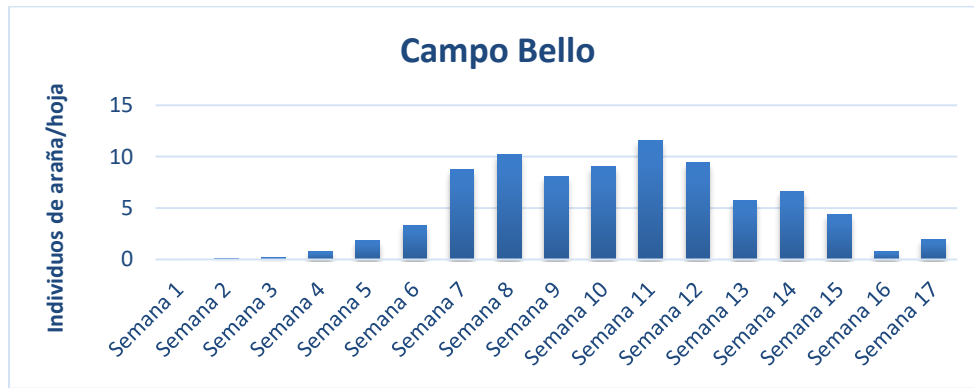
humedad relativa. Posteriormente esta cifra comenzó a disminuir hasta llegar a un promedio de 2.01 arañas/hoja en la semana 17 donde se registró una temperatura de 24.1 °C y una humedad relativa de 70.8%. A pesar de la constante variación en la población de araña roja, la UP “APM1-2” fue el recinto menormente afectado por la plaga con un promedio general de 3.61 individuos de araña roja/hoja. Como se puede observar en el Gráfico 4.4.

Gráfico 4.4 Evolución de araña roja en la unidad de producción APM1-2.



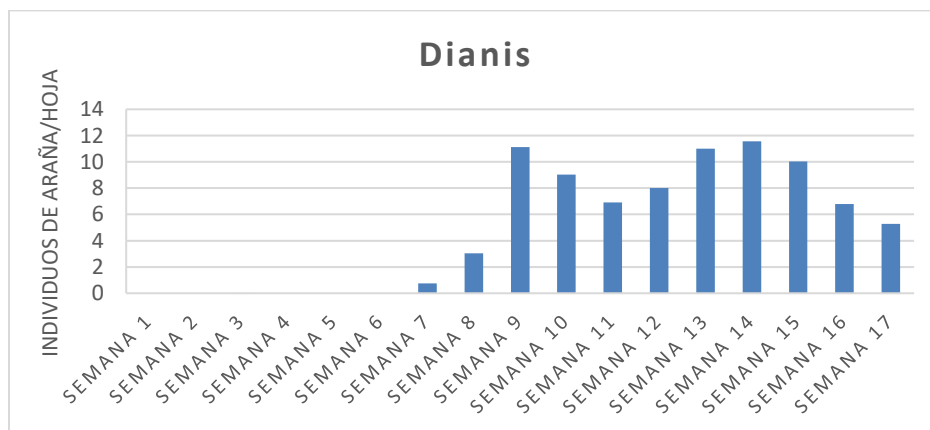
En la unidad productiva de “Campo Bello” se obtuvo un promedio general de 4.86 arañas/hoja. Cabe mencionar que en este recinto se detectó la presencia de araña roja desde la semana uno bajo unas condiciones de 24.7 °C y 60.2% de humedad relativa con un promedio de 0.01 arañas/hoja, cifra que, a pesar de las liberaciones de ácaros depredadores y aplicaciones dirigidas realizadas, poco a poco fue aumentando hasta alcanzar un máximo de 11.54 arañas/hoja en la semana 11 cuando se presentaron unas condiciones de 27.1 °C y 72.2% de H.R. A partir de la semana 12 la humedad relativa fue incrementando y con ello la incidencia de la plaga comenzó a disminuir drásticamente hasta lograr un promedio de 1.95 arañas/hoja en la semana 17 bajo unas condiciones de 24.1 °C y 81.8% de H.R. Como se puede observar en el Gráfico 4.5.

Gráfico 4.5. Evolución de araña roja en la unidad de producción Campo Bello.



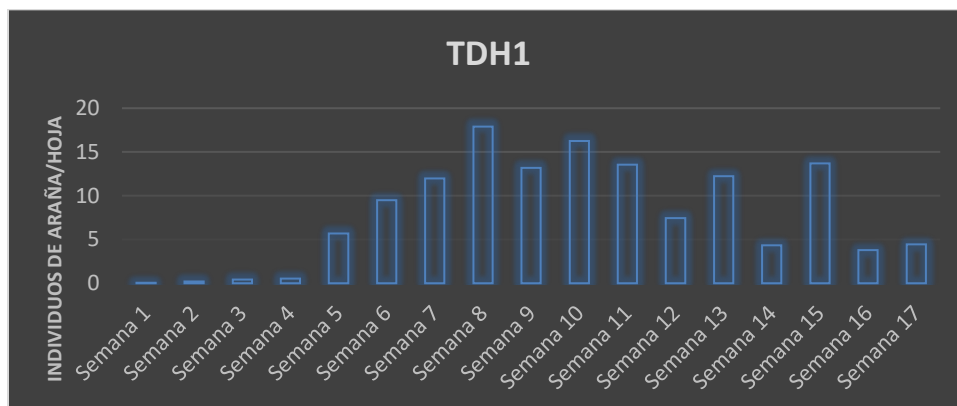
En la unidad productiva “Dianis” se registró un promedio general de 4.91 arañas/hoja y a pesar de las acciones de control biológico realizadas, la población de araña roja comenzó a incrementarse desde la tercera semana cuando dentro del recinto se registró una temperatura promedio 24.9 °C y 52.6% de humedad relativa. Sin embargo, fue hasta la semana 14 cuando se registró una temperatura de 27 °C y 70.7% de humedad relativa que la población de araña roja alcanzó su punto máximo con un promedio de 11.56 arañas/hoja, cifra que disminuyó a un total de 5.29 arañas/hoja para la semana 17 cuando se presentaron unas condiciones de 24.1 °C y 72.1% de humedad relativa. Como se puede observar en el Gráfico 4.6.

Gráfico 4.6. Evolución de araña roja en la unidad de producción Dianis.



Para la unidad de producción “TDH1” el promedio general registrado fue de 7.95 arañas/hoja, es decir, fue el recinto mayormente afectado por la araña roja. En dicha UP, al igual que en las anteriores, la liberación de ácaros depredadores se inició desde la semana uno, y a pesar de la combinación de los agentes biológicos con aplicaciones de extracto de canela y jabón potásico, la población de araña roja incremento cada semana hasta alcanzar un promedio máximo de 17.91 arañas/hoja en la semana ocho cuando se registró una temperatura de 26.3 °C y 73% de humedad relativa. Sin embargo, a partir de la semana nueve la presencia de la plaga comenzó a disminuir hasta registrarse un promedio de 4.46 arañas/hoja en la semana 17 cuando las condiciones climáticas fueron de 23.9 °C y 80.3% de humedad relativa. Como se puede observar en el Gráfico 4.7.

Gráfico 4.7. Evolución de araña roja en la unidad de producción TDH-1.



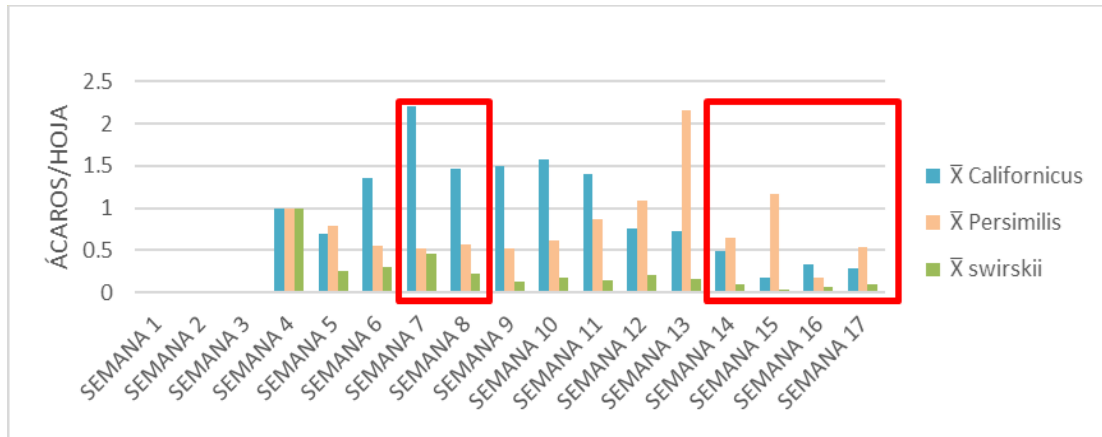
4.1.5 Promedio de ácaros depredadores

Cabe resaltar que el ácaro depredador *Phytoseiulus persimilis*, en ausencia de araña roja como fuente de alimento puede llegar a alimentarse de *N. californicus* y *A. swirskii*, así como también puede producirse canibalismo entre su propia especie. Es por ello que no es de extrañarse que en aquellas unidades de producción donde además de las condiciones climáticas adversas y la escases de alimento, también se hayan registrado promedios muy bajos de adaptación por parte de los ácaros depredadores.

Es importante mencionar que, durante el desarrollo de este experimento en combinación con el programa de control biológico utilizado, también se realizaron aplicaciones de productos biorracionales (jabón potásico y extracto de canela) dirigidas a los focos de infestación de la plaga, pero solo como alternativa de emergencia cuando la población del ácaro fitófago llegó a sobrepasar el nivel de daño económico, esto con la finalidad de disminuir la incidencia de la plaga. Sin embargo, cabe destacar que el jabón potásico es un ingrediente activo que además de combatir la araña roja, también puede resultar ser tóxico para los ácaros depredadores *Neoseiulus californicus*, *Phytoseiulus persimilis* y *Amblyseius swirskii*, pudiendo causar una reducción de hasta el 75% de su población, pero solamente en aplicaciones de alto volumen.

En la UP de "TDH1" durante la semana siete se realizó una aplicación de extracto de canela la cual afectó la población de *N. californicus* y *A. swirskii*., mientras que de la semana 14 a la 17 se aplicó jabón potásico, ingrediente activo que demostró ser tóxico para las tres especies de ácaros depredadores al disminuir su población. Como se puede observar en el Gráfico 4.8.

Gráfico 4.8. Afectación del extracto de canela y jabón potásico en la población de ácaros depredadores.



4.1.6 Promedio de *Neoseiulus californicus*

Para la variable promedio de *Neoseiulus californicus* no existe una diferencia significativa ($p > 0.05$) en la adaptación del ácaro depredador a las condiciones ambientales registradas dentro de las cuatro unidades de producción, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula.

Tabla 4.6 Adaptación de *Neoseiulus californicus*.

UP	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
APM 1 Y 2	17	0.51	30.8	-0.89
CAMPO BELLO	17	0.69	37.0	0.59
DIANIS	17	0.53	34.0	-0.12
TDH-1	17	0.72	36.2	0.42
General	68		34.5	

Prueba

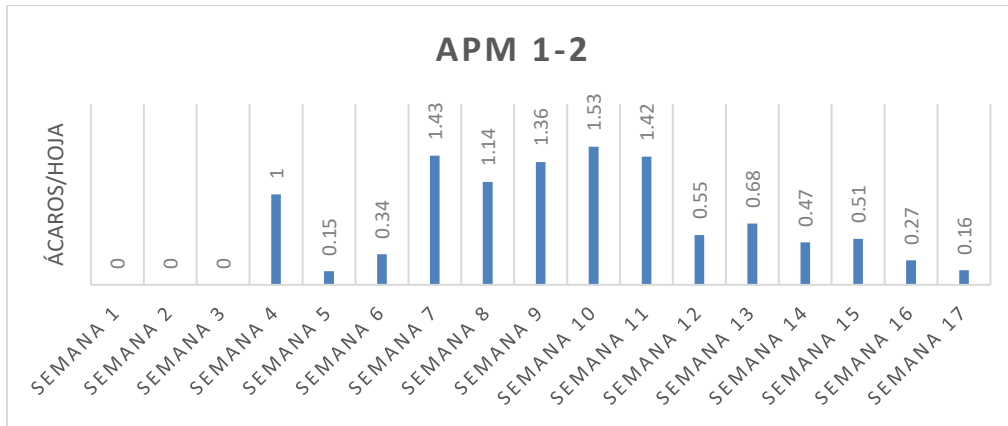
Hipótesis nula H_0 : Todas las medianas son iguales

Hipótesis alterna H_1 : Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	3	1.00	0.800
Ajustado para empates	3	1.01	0.799

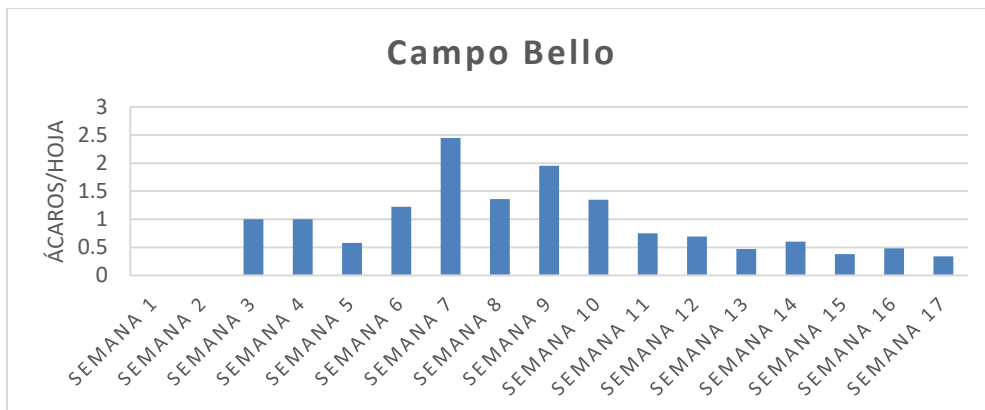
El ácaro de la especie *Neoseiulus californicus* es un depredador especializado de arañas rojas, resistente a las temperaturas elevadas y que incluso puede sobrevivir algunas semanas sin alimento, no obstante, exige una humedad relativa superior al 70%. En la UP "APM1-2" se registraron las peores condiciones ambientales para el establecimiento de dicha especie al contar con una temperatura promedio de 25.52 °C y una humedad relativa promedio del 59.9%, sin embargo, fue también el recinto bioclimático con menor incidencia de araña roja, es decir, la UP con menor fuente de alimento para el ácaro depredador lo cual se vio reflejado en un promedio general de 0.64 ácaros/hoja. Como se puede observar en el Gráfico 4.9.

Gráfico 4.9. Establecimiento del ácaro depredador *Neoseiulus californicus* en la UP “APM 1-2”.



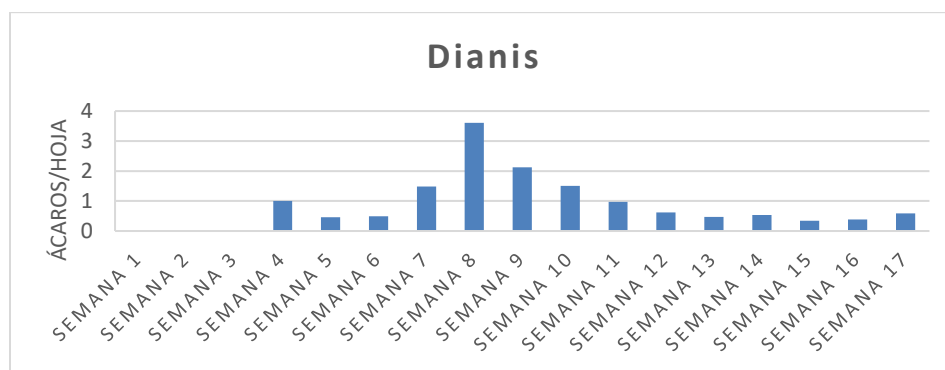
La unidad de producción de “Campo bello”, al registrar una temperatura promedio de 25.39 °C y una humedad relativa promedio del 71.04%, posee las mejores características ambientales para la adaptación de *Neoseiulus californicus* al presentar un promedio general de 0.86 ácaros/hoja. Como se puede observar en el Gráfico 4.10.

Gráfico 4.10. Establecimiento del ácaro depredador *Neoseiulus californicus* en la UP “Campo Bello”.



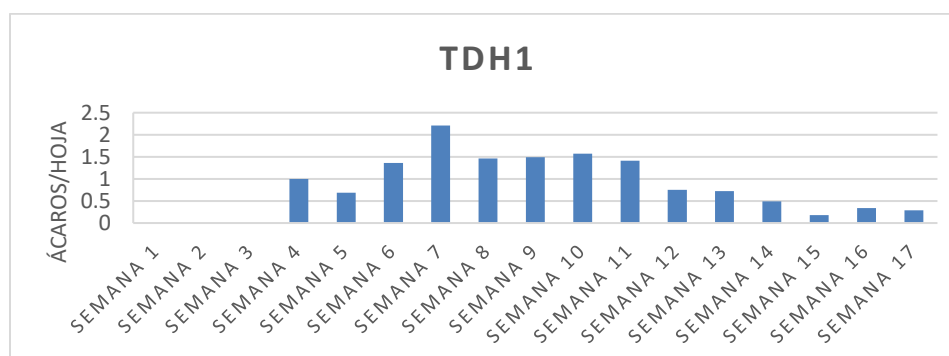
En la UP “Dianis” a pesar de registrarse una temperatura promedio de 25.7 °C y una humedad relativa de 63.98%, humedad que teóricamente es perjudicial para el establecimiento de *Neoseiulus californicus*, se determinó un promedio general de 0.85 ácaros/hoja posicionándose como el segundo recinto con la mejor adaptación para esta especie de ácaro depredador. Como se puede observar en el Gráfico 4.11.

Gráfico 4.11. Establecimiento del ácaro depredador *Neoseiulus californicus* en la UP “Dianis”.



Para la unidad de producción “TDH1” se determinó un promedio general de adaptación de *Neoseiulus californicus* de 0.82 ácaros/hoja, recinto que presento unas condiciones ambientales de 25.2 °C y 70.25% de humedad relativa. Como se puede observar en el Gráfico 4.12.

Gráfico 4.12. Establecimiento del ácaro depredador *Neoseiulus californicus* en la UP “TDH1”



4.1.7 Promedio de *Phytoseiulus persimilis*

Para la variable promedio de *Phytoseiulus persimilis* se determinó que, sí existe una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre la adaptación del ácaro depredador a las condiciones ambientales registradas dentro de las diferentes unidades de producción, por lo que todas las medianas son diferentes.

Tabla 4.7 Adaptación de *Phytoseiulus persimilis*.

UP	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
APM 1 Y 2	17	0.20	24.7	-2.37
CAMPO BELLO	17	0.66	42.5	1.93
DIANIS	17	0.26	28.9	-1.35
TDH-1	17	0.57	41.9	1.78
General	68		34.5	

Prueba

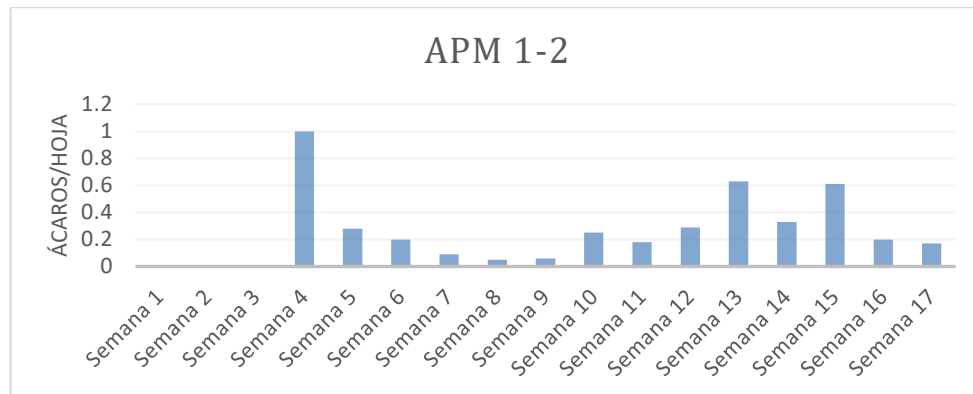
Hipótesis nula H_0 : Todas las medianas son iguales

Hipótesis alterna H_1 : Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	3	10.73	0.013
Ajustado para empates	3	10.78	0.013

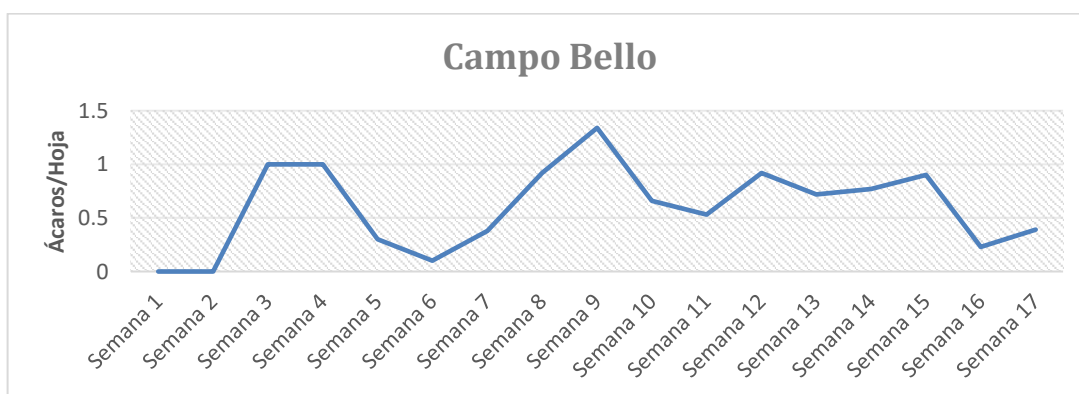
Phytoseiulus persimilis es un ácaro depredador exclusivo de araña roja, que requiere de una humedad relativa superior a 75% y una temperatura ligeramente superior a 20 °C. Sin embargo, en la unidad de producción “APM1-2” al presentarse una temperatura promedio de 25.52 °C y una humedad relativa del 59.9%, se determinó un promedio general de adaptación de tan solo 0.25 ácaros/hoja. Como se puede observar en el Gráfico 4.13.

Gráfico 4.13. Establecimiento del ácaro depredador *Phytoseiulus persimilis* en la UP “APM 1-2”.



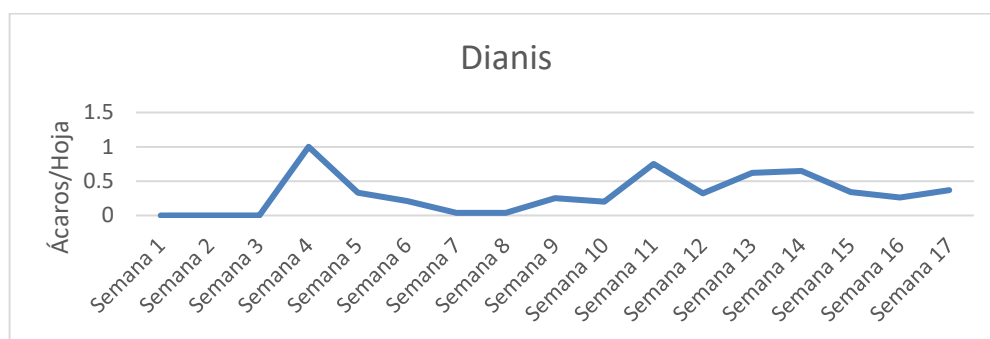
Para la UP “Campo bello” se registró un promedio de 0.59 ácaros de *Phytoseiulus persimilis* por hoja bajo unas condiciones ambientales de 25.39 °C y 71.04% de humedad relativa, ocupando así el segundo lugar como la unidad de producción con la mejor adaptación para esta especie de ácaros. Como se puede observar en el Gráfico 4.14.

Gráfico 4.14. Establecimiento del ácaro depredador *Phytoseiulus persimilis* en la UP “Campo Bello”.



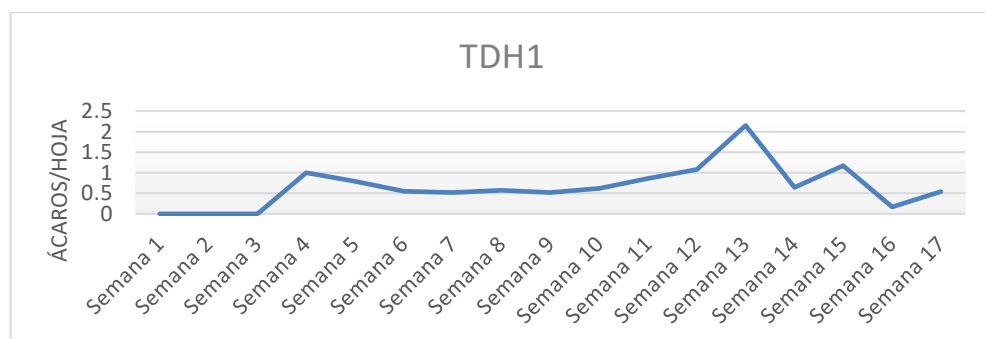
En la Unidad de producción “Dianis” también se registró una cifra significativamente baja del ácaro depredador *Phytoseiulus persimilis* con un promedio general de 0.31 ácaros/hoja, cabe recordar que es una especie exigente de baja temperatura y humedad relativa alta, sin embargo, en esta UP con una temperatura de 25.7 °C y 63.98% de humedad relativa, las condiciones ambientales no fueron las adecuadas para su correcto establecimiento. Como se puede observar en el Gráfico 4.15.

Gráfico 4.15. Establecimiento del ácaro depredador *Phytoseiulus persimilis* en la UP “Dianis”.



La Unidad de producción “TDH1” es el recinto con la mejor adaptación y establecimiento del ácaro depredador *Phytoseiulus persimilis* al registrarse un promedio general de 0.65 ácaros/hoja bajo las condiciones ambientales de 25.21 °C y 70.25% de humedad relativa. Como se puede observar en el Gráfico 4.16.

Gráfico 4.16. Establecimiento del ácaro depredador *Phytoseiulus persimilis* en la UP “TDH1”.



4.1.8 Promedio de *Amblyseius swirskii*

Para la variable promedio de *Amblyseius swirskii* se acepta la hipótesis nula al no existir una diferencia significativa ($p > 0.05$) en la adaptación del ácaro depredador a las condiciones ambientales registradas dentro de las cuatro unidades de producción.

Tabla 4.8 Adaptación de *Amblyseius swirskii*.

UP	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
APM 1 Y 2	17	0.19	33.4	-0.27
CAMPO BELLO	17	0.21	38.3	0.91
DIANIS	17	0.18	35.6	0.26
TDH-1	17	0.14	30.7	-0.91
General	68		34.5	

Prueba

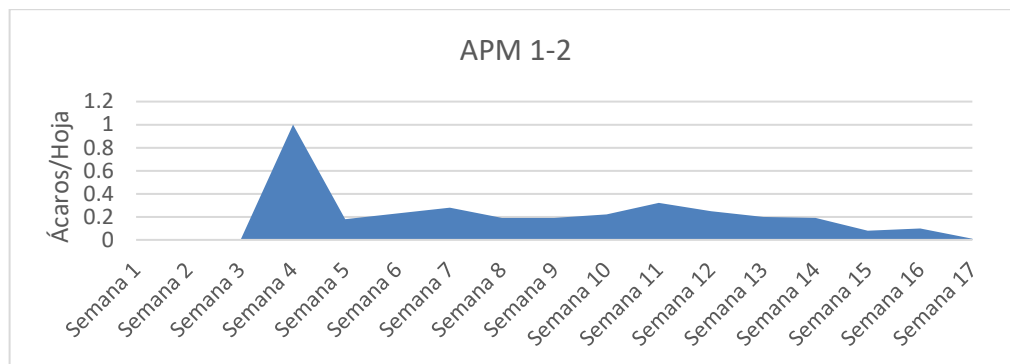
Hipótesis nula H_0 : Todas las medianas son iguales

Hipótesis alterna H_1 : Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	3	1.35	0.718
Ajustado para empates	3	1.36	0.716

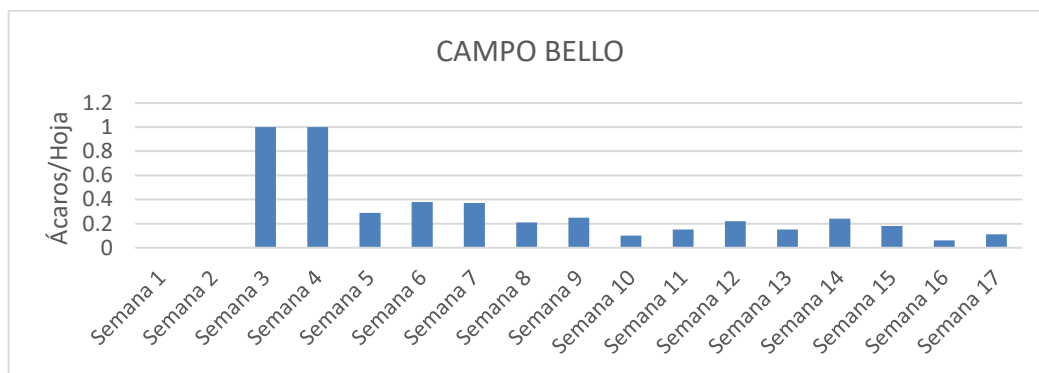
Amblyseius swirskii es un ácaro depredador generalista que en ausencia de araña roja puede sobrevivir alimentándose de otras fuentes como trips y polen, pero que, además es tolerante a altas temperaturas y requiere al menos de un 70% de humedad relativa. Sin embargo, se determinó que en la unidad de producción “APM1-2” las condiciones ambientales registradas de 25.52 °C y 59.91% de humedad relativa resultaron desfavorables para el establecimiento de dicha especie lo cual se vio reflejado al obtener un promedio general de 0.2 ácaros/hoja. Como se puede observar en el Gráfico 4.17.

Gráfico 4.17. Establecimiento del ácaro depredador *Amblyseius swirskii* en la UP “APM 1-2”.



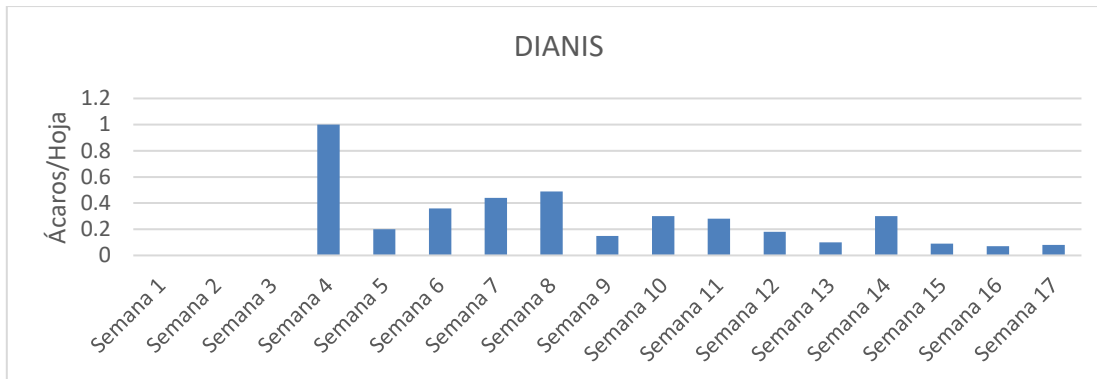
La Unidad productiva “Campo bello” con una temperatura promedio de 25.39 °C y 71.04% de humedad relativa presento las mejores condiciones ambientales para la adaptación para esta especie de ácaro registrándose un promedio general de 0.27 ácaros/hoja. Como se puede observar en el Gráfico 4.18.

Gráfico 4.18. Establecimiento del ácaro depredador *Amblyseius swirskii* en la UP “Campo Bello”.



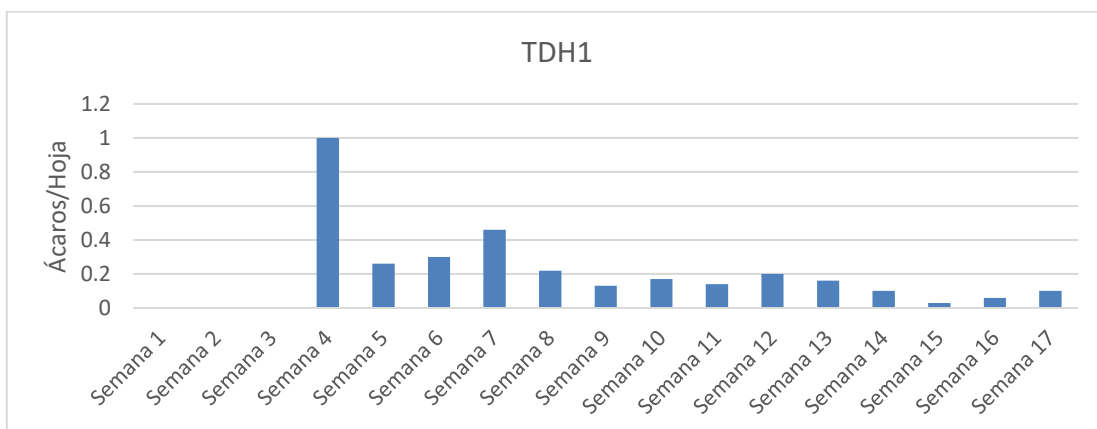
En la Unidad de producción “Dianis” a pesar de registrarse las temperaturas más elevadas del ciclo, se determinó que el ácaro depredador *Amblyseius swirskii* alcanzo un promedio general de adaptación de 0.23 ácaros/hoja bajo unas condiciones de 25.7 °C y 63.98% de humedad relativa. Como se puede observar en el Gráfico 4.19.

Gráfico 4.19. Establecimiento del ácaro depredador *Amblyseius swirskii* en la UP “Dianis”.



Mientras que para la UP “TDH1” a pesar de registrar una humedad relativa de 70.25% se determinó una cifra significativamente baja en cuanto al promedio de adaptación para el ácaro depredador *Amblyseius swirskii* con tan solo 0.19 ácaros/hoja. Como se puede observar en el Gráfico 4.20.

Gráfico 4.20. Establecimiento del ácaro depredador *Amblyseius swirskii* en la UP “TDH1”.



4.2 Discusión

De manera general, se determinó que las unidades de producción que presentaron un mayor establecimiento y adaptación de ácaros depredadores corresponden a las mismas UP donde se registraron los mayores promedios de araña roja, es decir, “TDH1” y “Campo Bello”. Esto se debe a que en ambos recintos productivos además de presentar condiciones favorables de 25.39 °C y 71.04% de humedad relativa para “Campo Bello” y 25.21 °C y 70.25% de humedad relativa para “TDH1”, también se registró una significativa y constante fuente de alimento que permitió la correcta alimentación, reproducción y establecimiento de los ácaros depredadores.

En este experimento se emplearon simultáneamente los ácaros depredadores *Neoseiulus californicus*, *Phytoseiulus persimilis* y *Amblyseius swirskii* liberando aproximadamente 25 individuos/m² de *Neoseiulus californicus*, 10 individuos/m² de *Phytoseiulus persimilis* y 50 individuos/m² de *Amblyseius swirskii* con frecuencia semanal. Lo cual difiere de las cantidades empleadas por Samaneh *et al.*, (2023) quienes emplearon a *P. persimilis* y *A. swirskii* a razón de 20 y 100 individuos por m², respectivamente, para el control *T. urticae*. Mientras que Pérez (2018) utilizó aproximadamente 40 individuos/m² de *Neoseiulus californicus* con frecuencia semanal y 20 Individuos/m² de *Phytoseiulus persimilis* con frecuencia mensual, en la implementación de un control biológico para disminuir el nivel de infestación de *Tetranychus urticae* en el cultivo de clavel bajo invernadero.

Cabe mencionar que a pesar de las liberaciones de ácaros depredadores realizadas, la unidad productiva de “TDH1” fue el primer recinto en sobrepasar el Nivel de Daño Económico (NDE) (>4.66 arañas/hoja) con un promedio de 5.7 arañas/hoja, durante la semana cinco donde se registró una temperatura promedio de 24.5 °C y 70.6% de humedad relativa. Sin embargo, fue hasta la semana 10 cuando prácticamente todas las unidades de producción superaron el NDE con promedios de 16.2 arañas/hoja en “TDH1”, 9.05 arañas/hoja en “Campo Bello”, 9.03 arañas/hoja en “Dianis” y 5.55 arañas/hoja para “APM1-2”, semana donde las condiciones ambientales registradas

fueron de 27.4 °C y 63.9% de humedad relativa, valores que difieren con lo establecido por Ruíz, *et al.*, (2013), quienes en su trabajo “Plagas de importancia económica en México: aspectos de su biología y ecología”, afirman que la araña roja alcanza su mayor fecundidad a una temperatura 23.9 °C.

Aunque los experimentos se realizaron de forma independiente, en este trabajo se determinó que las especies de ácaros depredadores evaluadas como agentes de control biológico para la araña roja en los sistemas de agricultura protegida son una alternativa viable, pero su efecto no es inmediato como suelen ser los insecticidas, sino que deben transcurrir algunas semanas para que el organismo biológico logre establecerse al medio y se comience a notar una disminución de la plaga. Tal y como ocurrió en este experimento donde aproximadamente a partir de la séptima semana posterior a la primera liberación fue que los depredadores biológicos comenzaron a reflejar un efecto positivo sobre la población de araña roja. Estos resultados coinciden con los expuestos por Sánchez (2021) en su trabajo de Orígenes del control biológico en pimiento en el sureste de España. Sin embargo, es conveniente seguir evaluando el efecto de los ácaros depredadores para el control de la araña roja en recintos controlados antes de recomendar su uso total en programas de manejo integrado de plagas.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo no se observaron diferencias significativas en la adaptación de los ácaros depredadores *Neoseiulus californicus* y *Amblyseius swirskii* a las condiciones ambientales registradas dentro de las cuatro unidades de producción, pero sí hubo diferencias significativas en el establecimiento de *Phytoseiulus persimilis*.

Los ácaros depredadores *N. californicus*, y *A. swirskii* con promedios de 0.86 y 0.27 ácaros/hoja respectivamente, se establecieron de mejor forma en la unidad de producción “Campo Bello” bajo unas condiciones de 25.39 °C y 71.04% de humedad relativa. Mientras que el ácaro *P. persimilis* con un promedio de 0.65 ácaros/hoja, se estableció de manera sobresaliente bajo las condiciones de 25.2 °C y 70.2% de humedad relativa registradas en la UP “TDH1”.

Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el porcentaje de superficie afectada por araña roja registrada en las diferentes unidades de producción, ya que durante la semana 10 todas las UP superaron el Nivel de daño económico (> 4.66 arañas/hoja), siendo la UP “TDH1” la más afectada.

Los acaricidas biorracionales implementados (extracto de canela y jabón potásico) para combatir a la araña roja durante el desarrollo del proyecto demostraron también ser tóxicos para los ácaros depredadores utilizados. Por lo que estos productos no son una buena alternativa para utilizarse de manera conjunta bajo estas condiciones.

Con la implementación del programa de control biológico en las unidades de producción, a la semana 17 se logró controlar la plaga por debajo del nivel de daño económico en tres de las cuatro UP y con ello las aplicaciones de alto volumen en contra de la araña roja fueron reemplazadas por aplicaciones dirigidas, es decir, que

bajo el control convencional se empleaban alrededor de 2,400 litros de pesticidas a la semana, mientras que, con la implementación de los ácaros depredadores, esta cifra disminuyó a tan solo 400 litros semanales de productos biorracionales.

5.2 Recomendaciones

Considerando la importancia de esta investigación en el bienestar económico y de salud de los productores, trabajadores y consumidores y en función a lo obtenido en los resultados de este trabajo, es recomendable seguir evaluando el efecto de los ácaros depredadores para el control de la araña roja, bajo un sistema que sea tratado exclusivamente con la implementación de controladores biológicos y productos biorracionales que tengan una nula afección en la población de dichos organismos, esto con la finalidad de poder obtener datos más certeros sobre el control biológico de araña roja. Además de que se recomienda asignar cuadrillas de jornaleros que trabajen exclusivamente en dichos recintos para de esta forma evitar que los trabajadores propaguen la plaga de una unidad productiva a otra.

CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Ayala, F., Sánchez, R., Partida, L., Yáñez, M.G., Ruiz, F.H., Velázquez, T.J., Valenzuela, M., y Parra, J.M. (2015). Producción de pimiento morrón con mallas sombra de colores. *Revista fitotecnia mexicana*, 38(1), 93-99. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802015000100012&lng=es&tlng=es.
- Bayer Seminis. (2023). Chile Pimiento Tamayo. Recuperado de https://www.vegetables.bayer.com/mx/es-mx/productos/chile-pimiento/details.html/pepper_tamayo_mexico_seminis_all_grehighomopepros_ma_all.html
- Borbor, A.F., & Suárez, G.D.P. (2007). Producción de tres híbridos de pimiento (*Capsicum annuum*) a partir de semillas sometidas a imbibición e imbibición más campo magnético en el campo experimental Río Verde, Cantón Santa Elena (Tesis de pregrado). Universidad Estatal Península De Santa Elena.
- Bouagga, S., Urbaneja, A., & Pérez, M. (2018). Mejora del manejo de plagas en pimiento mediante la gestión de defensas propias de la planta mediadas por depredadores zoofitófagos. *Agrícola vergel*, 303-307.
- Buenahora, J.H. (2014). Utilización de *Amblyseius Swirskii* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae), un enemigo natural clave para el Manejo Integrado De Plagas en el cultivo de pimiento en invernadero. (Tesis de pregrado). UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY FACULTAD DE AGRONOMÍA.
- CABI. (2021). *Tetranychus urticae* (araña roja de dos puntos). Recuperado de <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/cabicompendium.53366>
- Calvo, F., & Soriano, J. y. (2018). Control biológico de araña roja por medio de sueltas de fitoseidos y aplicaciones de alimento natural. *PHYTOMA*, 64-65.

- Carrizo, B. J. (2017). First report of *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae) in pepper (*Capsicum annuum* Linneo) Corrientes, Argentina. Revista agronómica del noroeste argentino, 107-110.
- Castresana, J., & Cédola, C. (2020). Ácaros benéficos en cultivos hortícolas bajo cubierta en la zona noreste de la provincia de Entre Ríos, Argentina. Revista Agronómica del Noroeste Argentino, 9-12.
- Del Pino, M. (2022). GUIA DIDACTICA: CULTIVO Y MANEJO DEL PIMIENTO (*Capsicum annuum* L.). CURSO DE HORTICULTURA Y FLORICULTURA. Recuperado de: <https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/mod/resource/view.php?id=25036>
- Di Fabio, A., Lozoya, E y Dos Santos, F. (2017). PRODUCCIÓN Y MANEJO DE CULTIVO. Recuperado de <https://intercoonecta.aecid.es/Gestin%20del%20conocimiento/0029-3%20Cultivo%20de%20pimientos.pdf>
- DGSV-CNRF. (2020). Araña roja de dos manchas *Tetranychus urticae* (Koch) (Arachnida: Acari: Tetranychidae). Sader-Senasica. Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. Ficha técnica. Tecámac, Estado de México, 15 p.
- Estrada, W. (2017). Evaluación de ácaro depredador *Neoseiulus californicus* y malezas, para el control de araña roja *Tetranychus spp* en banano *Musa sapientum* Finca Santa Irene. Santo Domingo Suchitepéquez. Mazatenango: UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.
- Fasulo, T.R., Denmark, H.A. (2009). Araña roja de dos manchas, *Tetranychus urticae* Koch (Arachnida: Acari: Tetranychidae). Recuperado de https://entnemdept.ufl.edu/creatures/orn/twospotted_mite.htm
- Fornaris, GJ. (2005). Características de la planta. En Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Puerto Rico (Ed.), Conjunto Tecnológico para la

- Producción de Pimiento: Tipos 'cubanelle' y 'campana' (pp. 4-11) Mayagüez, Puerto Rico: EEA/UPR.
- García, E. (2004). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1>
- HortoInfo. (2020). En el mundo se producen al año más de 36.000 millones de kilos de pimiento, sobre más de 2 millones de hectáreas. Recuperado de <https://hortoinfo.es/produccion-mundial-pimiento-200622/>
- Iglesias, N., y Valle, A. A. (2006). Producción de hortalizas bajo cubiertas: Estructura y manejo de cultivo para la Patagonia Norte. *INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria)*. Recuperado de https://www.academia.edu/34065837/Produccion_de_hortalizas_bajo_cubierta_Estructura_y_manejo_de_cultivo_para_la_Patagonia_Norte_Publicaciones_Regionales
- InfoAgro. (2003). El cultivo del pimiento (1ª parte). Recuperado de <https://www.infoagro.com/hortalizas/pimiento.htm>
- INIFAP. (2013). Producción de pimiento morrón en casa-malla para el sur de Tamaulipas. Recuperado de <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/942.pdf>
- Intagri. (2016). Manejo Integrado de Paratrioza. Recuperado de <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/manejo-integrado-de-paratrioza>
- Kielkiewicz, M. (1996). Dispersión de *Tetranychus cinnabarinus* en varios cultivares de tomate. En: Städler, E., Rowell-Rahier, M., Bauer, R. (eds) Actas del 9º Simposio Internacional sobre Relaciones Insecto-Planta. Serie Entomológica, vol 53. Springer, Dordrecht. Recuperado de https://doi.org/10.1007/978-94-009-1720-0_58

- Koppert. (2021). Ficha técnica de productos macro Spidex. Recuperado de <https://www.koppert.mx/spidex-vital/>
- Koppert. (2021). Ficha técnica de productos macro Spical. Recuperado de <https://www.koppert.mx/spical/>
- Margaría, C. (2012). Los enemigos naturales: I. Parasitoides. Su utilización en el manejo de plagas. Cátedra Zoología Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP).
- Martínez, C.S.D., Muggeridge, J.D., De Souza, J.V., Carvajal, L.M., Jerez, F., y Sánchez, M.E. (2016). Manual para el Cultivo de Hortalizas: Parte Especial. Recuperado de <https://louvaincooperation.org/sites/default/files/2019-01/83-Manual%20para%20el%20Cultivo%20de%20Hortalizas.pdf>
- Parcero, S. R. (2014). Calidad y potencial antioxidante del pimiento morrón desarrollado con abonos orgánicos y arena en invernadero (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México.
- Peralta, O y Tello, V. (2011). Tabla de vida de *Tetranychus cinnabarinus* (Acari: Tetranychidae) sobre tres variedades de melón, *Cucumis melo*. *Revista Colombiana de Entomología*, 37 (1), 21-26. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-04882011000100004&lng=en&tlng=es.
- Pérez Mayorga, J. (2018). EVALUACION DEL ESTABLECIMIENTO DE *Neoseiulus californicus* y *Phytoseiulus*. Obtenido de Universidad de Cundinamarca: <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/964/EVALUACION%20DEL%20ESTABLECIMIENTO%20DE%20Neoseiulus%20californicus%20y%20Phytoseiulus.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Proain Tecnología Agrícola. (2020). El riego en la producción de pimiento. Recuperado de <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/el-riego-en-la-produccion-de-pimiento>

- Quilis Sandemetro, J. (2018). Elaboración de protocolos de muestreo para las principales plagas en una empresa de cultivo hortícola ecológico. Valencia.
- Raworth, D.A. (1986). Estadísticas de muestreo y un esquema de muestreo para el ácaro araña de dos manchas, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae), en fresas. Entomólogo canadiense, 118(8):807-814. Recuperado de <https://www.cambridge.org/core/journals/canadian-entomologist/article/sampling-statistics-and-a-sampling-scheme-for-the-twospotted-spider-mite-tetranychus-urticae-acari-tetranychidae-on-strawberries/06CAEB58031C56FB8C9A20F45E22EFF6>
- RAE. (2014). REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: *Diccionario de la lengua española*, 23.^a ed. Recuperado de <https://dle.rae.es/>
- Reche Mármol, J. (2010). Cultivo del Pimiento Dulce en Invernadero. Recuperado de https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160265Cultivo_Pimiento_Invernadero.pdf
- Reyes, C. (2015). Minador de la hoja - *Liriomyza sp.* Recuperado de <https://panorama-agro.com/?p=1534#:~:text=Los%20productos%20id%C3%B3neos%20para%20el,al%20desarrollo%20de%20la%20resistencia.>
- Reyes, C. (2017). Picudo del chile - *Anthonomus eugenii*. Recuperado de <https://panorama-agro.com/?p=2326>
- Ruíz, J.A., Bravo M., Ramírez O., Báez G., Álvarez C., Ramos G., Nava C. y Byerly M. (2013). Plagas de importancia económica en México: aspectos de su biología y ecología. Libro Técnico Núm. 2. INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco. 447 p.
- SADER. (2022). México, principal exportador mundial de pimientos frescos: Agricultura. Recuperado de <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/mexico-principal-exportador-mundial-de-pimientos-frescos-agricultura?idiom=es>

- Samaneh, Y., Hamidreza, H., Azadeh, F., Arash, E., & Yaghoub, F. (2023). Eficacia de la liberación única y combinada de *Phytoseiulus persimilis* y *Amblyseius swirskii* en diferentes proporciones de liberación para el control de *Tetranychus urticae* y *Frankliniella occidentalis* en plantas de rosas. *Revista Internacional de Manejo de Plagas*, 1-11.
- Sánchez, J. A. (2021). Orígenes del control biológico en pimiento en el sureste de España. *PHYTOMA*, 23-26.
- Serra, A. (2015). Compatibilidad del Enemigo Natural *Orius insidiosus* en Genotipos de Ají 'Morrón' (*Capsicum annum* L.) var. annum) en Cultivos Protegidos. República dominicana: Universidad Autónoma de Santo Domingo.
- SIAP. (2019). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Recuperado de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera: <https://agroproductores.com/evolucion-produccion-pimineto-morrón-mexico/>
- SIAP. (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Recuperado de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Sinaproc. (2021). Fenómeno Hidrometeorológico Santiago Maravatio. Recuperado de Plan de contingencias temporada de lluvias y ciclones tropicales: https://dga-ssp.guanajuato.gob.mx/atlas/hm/hm_santiago_maravatio.pdf
- Syngenta. (2023). Semillas de Hortalizas: Pimiento Amarillo. Recuperado de <https://www.ahernseeds.com/products/stephania/?ssid=c9a925487433af64cef297781c693c1b&lang=es>
- Tripplehorn, C. A. y Johnson, N. F., 2005. *Borrer and DeLong's Introduction to the Study of Insects*. Thomson Brooks/Cole, Belmont, California, USA.
- UNALM. (2017). Manual de cultivo de pimientos hidropónicos. Recuperado de <https://www.portalfruticola.com/noticias/2017/12/06/manual-de-cultivo-de-pimientos-hidroponicos/#:~:text=La%20siembra,->

Los%20cubos%20de&text=Durante%20la%20germinaci%C3%B3n%20se%20
mantiene,m%20a%2025%2D26%C2%B0C

Van der Blom, J. (2017). Control Biológico en cultivos hortícolas en Almería: balance después de 10 años. Sociedad Entomológica Aragonesa, 34-38.

Zamora, J.E.G., Martínez, N.L., Guerrero, M.A., Fuentes, J.M.U., Hernández, C.A. (2008). Guía de aprendizaje. Ácaros depredadores: familia *Phytoseiidae*. Recuperado de <http://www.controlbiologico.info/index.php/es/organismos-de-control-biologico/fauna-auxiliar-iberica/acaros-depredadores-control-biologico#de-inter%C3%A9s>

Zhang, Z.Q. (2003). Ácaros de los invernaderos: identificación, biología y control. Wallingford, Reino Unido: CAB International. Recuperado de https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=zVaSCyiK540C&oi=fnd&pg=PR9&dq=Zhang+ZQ,+2003.+Mites+of+Greenhouses:+Identification,+Biology+and+Control.+Wallingford,+UK:+CAB+International.&ots=dG_T1JbFCk&sig=CucF7PQgXtO1JC-4cF7rIDMrOM

CAPÍTULO 7. ANEXOS

Anexo 1. Muestreo de suelo para análisis fitopatológico.



Anexo 2. Trasplante de pimiento morrón (día uno).



Anexo 3. Drenchado inicial posterior al trasplante.



Anexo 4. Monitoreo de plagas en cultivo de pimiento.



Anexo 5. Monitoreo de humedad relativa y temperatura con Termohigrometro digital.



Anexo 6. Colocación de cajas (D-box) para liberación de ácaros.



Anexo 7. Primera liberación general de ácaros depredadores.



Anexo 8. Liberación de ácaros depredadores sobre plantas infestadas con araña roja.



Anexo 9. Colores restringidos dentro de las unidades de producción.



Anexo 10. Aplicación de jabón potásico sobre plantas infestadas de plaga.



Anexo 11. Liberación de ácaros depredadores sobre el follaje.



Anexo 12. Monitoreo de ácaros depredadores.



7.1 GLOSARIO

Antagonismo. Interacción entre organismos o sustancias que causa la pérdida de actividad de uno de ellos, como la acción de los antibióticos frente a las bacterias.

Bifurcación. La división de algo en dos brazos o ramales, o el lugar en el cual se produce dicha división.

Caroteno. Pigmento de origen vegetal o animal, de color rojo, anaranjado o amarillo, que se encuentra en el tomate, la zanahoria, la yema de huevo, etc., y que, en los animales, se transforma en vitamina A.

Corola. Segundo verticilo de las flores completas, situado entre el cáliz y los órganos sexuales, y que tiene por lo común vivos colores.

Cosmopolita. Ser vivo que habita o puede habitar en la mayor parte de los climas y lugares.

Diapausa. Es una estrategia en la que los insectos pueden suspender su desarrollo o crecimiento y llegar a una fase de inactividad por un largo tiempo, con la finalidad de sobrepasar una temporada inconveniente.

Eriófidos. Son ácaros de pequeño tamaño, no visibles a simple vista, pero sí con una lupa de pocos aumentos. Tienen forma alargada, el cuerpo anillado y tan sólo 4 patas, por lo que su aspecto no se parece en nada al de otros ácaros. Su color varía según las especies, entre tonos blanquecinos, amarillentos y naranjas.

Fitófago. Que se alimenta de materias vegetales.

Fitoseidos. Son ácaros de vida libre, de movimientos rápidos, que se desplazan ágilmente por hojas de plantas, corteza, humus, suelo, etc., donde están sus presas.

Fotosintético. Pertenece o relativo a la fotosíntesis.

Lignificar. Tomar consistencia de madera; en el proceso de desarrollo de muchas plantas, pasar de la consistencia herbácea a la leñosa.

Longevidad. Cualidad de longevo. Se encuentra relacionado con la duración de vida de los seres vivos.

Mesófilo. El concepto se emplea en el terreno de la botánica para aludir al material que se halla en el interior de las hojas de las plantas.

Monocultivo. Cultivo único o predominante de una especie vegetal en determinada región.

Ninfa. En los insectos con metamorfosis sencilla, estado juvenil de menor tamaño que el adulto, con incompleto desarrollo de las alas.

Parihuela. Equipo diseñado para realizar aplicaciones de manera dirigida en forma nebulizada de insecticidas, fertilizantes, fungicidas, etc. que se utilizan para fumigar huertos, invernaderos y cultivos de áreas mayores. Este tipo de equipos puede manejarse como una fumigadora estacionaria ya que permite presión estable en las mangueras hasta 400 m de distancia dependiendo de la potencia de la bomba.

Pivotante. Que se hunde verticalmente, como una prolongación del tronco.

Polífago. Se emplea para designar un conjunto de organismos que poseen una alimentación muy variada.

Resiliencia. Capacidad de adaptación de un ser vivo frente a un agente perturbador o un estado o situación adversos.

Tetraníquido. Ácaros plaga que tienen una especie de agujas succionadoras en la boca y se alimentan penetrando con ellas el tejido de la planta.

Tricoma. Estructuras parecidas a pelos o filamentos que se encuentran en la superficie de varios organismos, incluyendo plantas, algas y ciertos microorganismos.