

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



CARRERA DE AGRONOMIA

TÍTULO DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**RESPUESTA FUNCIONAL DE UNA ESPECIE DE FITOSEIDO (ACARI:
PHYTOSEIIDAE) SOBRE DIFERENTES DENSIDADES DE *Tetranychus*
urticae (ACARI: TETRANYCHIDAE) COMO BASE PARA UN
PROGRAMA DE CONTROL BIOLÓGICO**

DOCUMENTO FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN COMO
REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE INGENIERO AGRÓNOMO

AUTORA:
Ericka Belén Machado Freire

TUTORA:
Ing. Rita Santana, Mg. Sc.

CEVALLOS, 2022

**RESPUESTA FUNCIONAL DE UNA ESPECIE DE FITOSEIDO (ACARI:
PHYTOSEIIDAE) SOBRE DIFERENTES DENSIDADES DE *Tetranychus*
urticae (ACARI: TETRANYCHIDAE) COMO BASE PARA UN
PROGRAMA DE CONTROL BIOLÓGICO**

REVISADO POR:



Firmado electrónicamente por:
RITA CUMANDA
SANTANA MAYORGA

Ing. Rita Santana, Mg. Sc

TUTOR

APROBADO POR LOS MIEMBROS DE CALIFICACIÓN:

Fecha

..... ..16/09/2022...

Ing. Marco Pérez PhD.

PRESIDENTE DE TRIBUNAL

.....16/09/2022...

Ing. Mg. Hernán Zurita

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE
CALIFICACIÓN

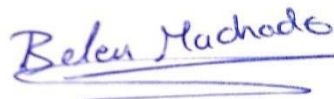
.....16/09/2022...

Dr. Carlos Vásquez

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE
CALIFICACIÓN

AUTORIA DE LA INVESTIGACIÓN

El suscrito, **ERICKA BELÉN MACHADO FREIRE**, portador de cédula de ciudadanía número: 1850018480, libre y voluntariamente declaro que el Informe Final del Proyecto de investigación titulado: “**RESPUESTA FUNCIONAL DE UNA ESPECIE DE FITOSEIDO (ACARI: PHYTOSEIIDAE) SOBRE DIFERENTES DENSIDADES DE *Tetranychus urticae* (ACARI: TETRANYCHIDAE) COMO BASE PARA UN PROGRAMA DE CONTROL BIOLÓGICO**” es original, auténtico y personal. En tal virtud, declaro que el contenido es de mi sola responsabilidad legal y académica, excepto donde se indican las fuentes de información consultadas.



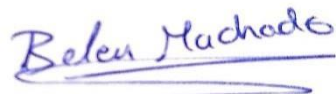
ERICKA BELÉN MACHADO FREIRE

DERECHO DE AUTOR

Al presentar este Informe Final del Proyecto de Investigación titulado **“RESPUESTA FUNCIONAL DE UNA ESPECIE DE FITOSEIDO (ACARI: PHYTOSEIIDAE) SOBRE DIFERENTES DENSIDADES DE *Tetranychus urticae* (ACARI: TETRANYCHIDAE) COMO BASE PARA UN PROGRAMA DE CONTROL BIOLÓGICO”** como uno de los requisitos previos para la obtención del título de grado de Ingeniero Agrónomo, en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato, autorizo a la Biblioteca de la Facultad, para que este documento esté disponible para su lectura, según las normas de la Universidad.

Estoy de acuerdo en que se realice cualquier copia de este Informe Final, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica potencial.

Sin perjuicio de ejercer mi derecho de autor, autorizo a la Universidad Técnica de Ambato la publicación de este Informe Final, o de parte de él.



Belén Machado

ERICKA BELÉN MACHADO FREIRE

DEDICATORIA

A Dios por ser el eje de mi vida y darme la fuerza para poder lograr este sueño que tanto anhelé.

A mis padres, Esthela Elena Freire y Jorge Raúl Machado, quienes son mi ejemplo de perseverancia y humildad. A ellos agradezco por ser mi apoyo incondicional, por el sacrificio que hacen día a día y, sobre todo, por darme la mejor herencia que los padres les pueden dar a sus hijos “El Estudio”.

A mi hermano Jorge Fabián, por siempre estar a mi lado apoyándome y dándome ánimos, gracias por estar conmigo siempre en los buenos y malos momentos.

Y a toda mi familia, quienes fueron parte de este sueño y siempre estuvieron junto a mí.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la salud, la vida y la fortaleza para poder cumplir una meta más en mi vida.

A mis padres, Esthela Elena Freire y Jorge Raúl Machado por la oportunidad que me han dado de estudiar, por todos sus esfuerzos y amor que me han brindado siempre. A mi hermano Jorge por su cariño y paciencia.

A la Universidad Técnica de Ambato, de manera especial a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, por haberme acogido en sus aulas para poder terminar mis estudios y poder contribuir con mis conocimientos a la sociedad.

Un sincero agradecimiento y gratitud a todos los profesores de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y, de forma muy especial a la Ing. Rita Santana y al Ing. Carlos Vásquez, quienes con sus conocimientos y sugerencias permitieron desarrollar y culminar el presente trabajo de investigación.

A mis amigos Christian Pico y Alvaro Tiana, por estar siempre dándome su apoyo cuando más los necesito y por todo el cariño que me han brindado.

ÍNDICE GENERAL

AUTORIA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHO DE AUTOR.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I.....	13
MARCO TEÓRICO.....	13
INTRODUCCIÓN	13
1.1. Antecedentes Investigativos	14
1.2. Objetivos	21
Objetivo general.....	21
Objetivos específicos	21
1.3. Categorías fundamentales.....	22
1.3.1. Generalidades sobre la plaga <i>Tetranychus urticae</i>	22
a. Aspectos bioecológicos.....	22
b. Daños ocasionados.....	23
c. Control biológico	24
1.3.2. La familia Phytoseiidae.....	24
1.3.3. La respuesta funcional de los enemigos naturales	25
a. Definiciones más comúnmente aceptadas	25
b. Tipos de respuesta funcional.....	27
1.3.4. La respuesta funcional y el control biológico de ácaros plaga.....	29
CAPÍTULO II	31
METODOLOGÍA	31
2.1. Ubicación de la investigación.....	31
2.2. Modalidad de la investigación.....	31
2.3. Tipo de investigación	31
2.4. Población y muestra	31

2.5.	Recolección de la información	32
2.5.1.	Establecimiento de colonias	32
2.5.2.	Tasa de consumo y respuesta funcional	32
2.6.	Análisis de la información	33
	CAPÍTULO III	34
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
	Respuesta funcional de <i>Typhlodromalus</i> sp sobre huevos y fases móviles de <i>T. urticae</i>	34
	CAPÍTULO IV	42
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	42
4.1.	Conclusiones	42
4.2.	Recomendaciones	42
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
	ANEXOS	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estimación de los parámetros de la respuesta funcional de <i>Typhlodromalus</i> sp. frente a los huevos de <i>T. urticae</i>	37
Tabla 2. Estimación de los parámetros de la respuesta funcional de <i>Typhlodromalus</i> sp. frente a larvas y protoninfas de <i>T. urticae</i>	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curvas de respuesta funcional Cuadrático, Exponencial y Lineal de las hembras de <i>Typhlodromalus</i> sp. sobre los huevos de <i>T. urticae</i> bajo condiciones de laboratorio	35
Figura 2. Curvas de respuesta funcional Cuadrático, Exponencial y Lineal de las hembras de <i>Typhlodromalus</i> sp. sobre las larvas y protoninfas de <i>T. urticae</i> bajo condiciones de laboratorio	36

RESUMEN

Tetranychus urticae Koch es considerado uno de los ácaros fitófagos de mayor distribución a nivel mundial y además es la especie más polífaga de Tetranychidae de la cual se han registrado el mayor número de casos de resistencia a una gran cantidad de moléculas de plaguicidas. Dada su importancia, varios estudios han sido hechos para evaluar la eficiencia de métodos de control más amigables con el ambiente, como el control biológico. En el presente estudio se evaluó la respuesta funcional de una especie de fitoseido sobre diferentes densidades de *Tetranychus urticae* como base para un programa de control biológico. La respuesta funcional de *Typhlodromalus* sp. sobre diferentes densidades de huevos (5, 10, 20, 30 y 40 huevos/hembra del depredador) y fases móviles, larvas y ninfas, (2, 4, 8 y 16 fases móviles/hembra del depredador) de *T. urticae* fue estudiada en bioensayos separados bajo condiciones de laboratorio. La tasa de consumo de huevos y fases móviles siguió una respuesta funcional de tipo cuadrático, lo cual fue evidenciado por un coeficiente de regresión de 97,27 % para los huevos y 98,8% para las fases móviles. La tasa de consumo varió desde 2,8 huevos/hembra a la densidad de 5 huevos ofrecidos y se incrementó hasta 11,2 huevos/hembra a la mayor densidad de huevos ofrecidos (40 huevos/arena). Así mismo, la tasa de consumo de fases móviles se incrementó de 1,6 a 5,2 individuos/hembra del depredador. Por último, se obtuvieron valores de $Th = 0,0492$ h y $a = 1,7064$ h⁻¹ para los huevos y $Th = 0,2125$ h y $a = 0,8262$ h⁻¹ para las fases móviles (larvas y protoninfas). Con base en los resultados, el depredador, *Typhlodromalus* sp. mostró una alta capacidad de consumo con tiempos de manipulación bajos y tasas de ataque altos, lo que permite sugerir que esta especie podría ser incluida en programas de manejo integrado, que incluyen el control biológico de *T. urticae* en plantaciones de rosa.

Palabras clave: ácaro de dos manchas, depredador, Phytoseiidae, control biológico

ABSTRACT

Tetranychus urticae Koch is considered one of the most widely distributed phytophagous mites worldwide and is also the most polyphagous species of Tetranychidae, with the largest number of cases of resistance to a wide number of pesticide molecules have been recorded. Given its importance, several studies have been carried out to evaluate the efficiency of more environmentally friendly control methods, such as biological control. In the present study, the functional response of a phytoseiid species on different densities of *Tetranychus urticae* was evaluated as a basis for a biological control program. The functional response of *Typhlodromalus* sp. on different *T. urticae* egg densities (5, 10, 20, 30 and 40 eggs/predator female) and mobile phases, larvae and nymphs (2, 4, 8 and 16 mobile phases/predator female) was studied in separate bioassays under laboratory conditions. The consumption rate of eggs and mobile phases followed a functional response of quadratic type, which was evidenced by a regression coefficient of 97.27% for eggs and 98.8% for mobile phases. Consumption rate ranged from 2.8 eggs/female at the density of 5 eggs offered and increased to 11.2 eggs/female at the highest density of eggs offered (40 eggs/arena). Likewise, the consumption rate of mobile phases increased from 1.6 to 5.2 individuals/female of the predator. Finally, values of $T_h = 0.0492$ h and $a = 1.7064$ h⁻¹ were obtained for the eggs and $T_h = 0.2125$ h and $a = 0.8262$ h⁻¹ for the mobile phases (larvae and protonymphs). Based on the results, the predator, *Typhlodromalus* sp. showed a high consumption capacity with low handling times and high attack rates, which suggests that this species could be included in integrated management programs, which include biological control of *T. urticae* in rose plantations.

Keywords: two-spotted mite, predator, Phytoseiidae, biological control

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

Uno de los ácaros fitófagos de mayor distribución en el mundo es *Tetranychus urticae* Koch (Fathipour y Maleknia, 2016), que ha sido considerado como la especie más polífaga de Tetranychidae, cuyas poblaciones han desarrollado resistencia a una gran cantidad de pesticidas (Van Leeuwen et al., 2010). Debido a estos problemas y a los daños ocasionados a la salud, la tendencia en el manejo de plagas es minimizar el uso de agroquímicos e incluir alternativas de manejo integrado (Mendoza León et al., 2018). De allí que, en cuanto a los métodos de control para *T. urticae*, el énfasis se haga en el uso de estrategias ambientalmente seguras, tales como el control biológico (Gigon et al., 2016).

Los programas de control biológico para *T. urticae* incluyen con frecuencia ácaros depredadores de la familia Phytoseiidae. Estos ácaros son importantes agentes de control biológico de trips, moscas blancas y otros grupos de ácaros (McMurtry et al., 2013). Algunos pueden consumir grandes cantidades de presas, manteniéndolas en bajas densidades (Fathipour y Maleknia, 2016). Los fitoseidos pueden alimentarse de una variedad de materiales, incluyendo polen, hongos y exudados de plantas (McMurtry et al., 2013), incluso algunos pueden desarrollarse y reproducirse en material vegetal, aunque los que son depredadores obligados solo pueden sobrevivir en estas fuentes alternativas sin llegar a reproducirse (Fathipour y Maleknia, 2016).

Se ha relacionado el éxito del enemigo natural como controlador biológico con su capacidad de depredación y el tipo de respuesta funcional. La respuesta funcional permite evaluar el potencial de los enemigos naturales para el control biológico (Viteri Jumbo et al., 2019). Es un parámetro que ejemplifica la influencia del comportamiento del agente de control sobre la dinámica de sus poblaciones y la de sus presas (Fernández Arhex y Corley, 2004). Su determinación informa sobre la tasa de consumo de un depredador individual en función al gradiente de densidad de sus presas (Dunn y Hovel, 2020).

En diversos estudios de laboratorio se ha determinado la respuesta funcional de varios depredadores de la familia Phytoseiidae sobre la presa *T. urticae*, entre ellos: *Iphiseius degenerans* (Berlese) (Fantinou et al., 2012); *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Xiao et al., 2013; Zhu et al., 2019); *Amblyseius swirskii* (Athias-Henriot) (Xiao et al., 2013; Fathipour et al., 2017; Rafizadeh Afshar y Latifi, 2017); *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Osman y Tawfik, 2010; Fathipour et al., 2018). La mayoría de los depredadores fitoseidos han exhibido una respuesta funcional tipo II. Sin embargo, la respuesta funcional puede cambiar al tipo III dependiendo de condiciones ambientales como temperatura y humedad, así como de aspectos propios de las presas o de las plantas hospedantes (Patel y Zhang, 2017).

En la respuesta funcional se evalúan dos parámetros importantes, el tiempo de manejo o manipulación y la tasa de ataque o eficiencia de búsqueda. El primero se refiere al tiempo necesario para atacar, consumir y digerir la presa, mientras que el segundo hace referencia a la tasa a la que un depredador busca y encuentra su presa (Fathipour y Maleknia, 2016). Los mejores agentes de control biológico serán aquellos que presenten mayor tasa de ataque y menor tiempo de manejo (Fathipour y Maleknia, 2016). En cuanto al tipo de respuesta funcional, parasitoides o depredadores con respuesta tipo III se consideran eficientes controladores biológicos, pero también se han reportado casos de liberaciones exitosas usando biocontroladores con respuesta funcional tipo II (Fernández-Arhex y Corley, 2003; Pervez y Omkar, 2005; Xiao y Fadamiro, 2010).

1.1. Antecedentes Investigativos

Los estudios sobre respuesta funcional de los ácaros fitoseidos han incluido, con frecuencia, a los ácaros tetraníquidos como presas (Bazgir et al., 2020), y entre ellos la especie *T. urticae* ha sido una de las más utilizadas, dando comúnmente una respuesta del tipo II (Osman y Tawfik, 2010; Fantinou et al., 2012; Xiao et al., 2013; Song et al., 2016; Döker et al., 2016; Chacón-Hernández et al., 2017; Fathipour et al., 2017; Tello Mercado et al., 2017; Fathipour et al., 2018; Pereira de Sousa Neto et al., 2019; Zhu et al., 2019).

Chacón-Hernández et al. (2017) estimaron la respuesta funcional de *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot a huevos, larvas, ninfas y adultos de *T. urticae*, utilizando

hojas de *P. vulgaris*, encontrando una respuesta tipo II para el depredador. La mayor depredación sucedió con los huevos de la presa, seguido de las larvas, ninfas y adultos, estimándose la tasa de ataque en 4,4644; 1,0997; 0,6696 y 0,5251 para los estados de huevo, larva, ninfa y adulto, respectivamente. El tiempo de manipulación fue afectado por el tamaño de la presa, siendo menor para la fase de huevo (0,4525) y mayor para la de adulto (0,9769). Los autores sugirieron con base en los resultados obtenidos, que las liberaciones de este depredador pueden realizarse con una relación depredador-presa de 1:42, pudiendo ser eficiente para el control de *T. urticae* en 24 horas.

Fantinou et al. (2012) determinaron la respuesta funcional del fitoseido *Iphiseius degenerans* (Berlese) a hembras de *T. urticae* y *Eutetranychus orientalis* (Klein), en hojas de *Phaseolus vulgaris* L., bajo condiciones de laboratorio. Entre los resultados, los autores señalaron que el depredador exhibió una respuesta funcional tipo II sobre ambas presas; sin embargo, la curva alcanzó el nivel de meseta (número máximo de presas consumidas) en un valor más bajo de presas consumidas con *T. urticae* (4), que con *E. orientalis* (12), siendo la tasa de depredación significativamente mayor sobre *E. orientalis* que sobre *T. urticae*. Sobre los tiempos de manejo y tasas de ataque, el depredador mostró menor tiempo de manejo y mayor tasa de ataque con la presa *E. orientalis*. Al respecto, los autores destacaron la influencia de la presa, toda vez que las hembras de *T. urticae* son más grandes que las de *E. orientalis*, lo que pudo afectar la depredación de *T. urticae*, disminuyendo la tasa de ataque y aumentando el tiempo de manejo sobre esta presa.

Song et al. (2016) estimaron la respuesta funcional de *Neoseiulus californicus* (McGregor) y *Neoseiulus longispinosus* (Evans) a huevos, larvas y protoninfas de dos especies de tetraníquidos, *T. urticae* y *Tetranychus kanzawai* Kishida, usando discos de hoja de frijol. Los autores encontraron que el porcentaje de presas consumidas por cada depredador disminuyó con el incremento de la densidad de presas, lo cual permitió determinar la respuesta funcional tipo II en los depredadores para todos los estados de las dos especies de presas. La tasa de ataque para cada estado de *Tetranychus* probado en este estudio fue mayor para *N. californicus* que para *N. longispinosus*. La tasa de ataque máxima de *N. californicus* sobre huevos, larvas y ninfas de *T. urticae* fue de 11,87; 37,23 y 26,95; respectivamente. Con respecto al tiempo de manipulación, este fue más corto sobre larvas, seguido de ninfas y huevos

de las dos especies de *Tetranychus*. Los autores también destacaron que *N. californicus* atacó más larvas y ninfas por día, que *N. longispinosus*, pero este último atacó más huevos por día.

Zhu et al. (2019) también determinaron la respuesta funcional de *N. californicus* a huevos y ninfas de *T. urticae*, incluyendo además en el estudio a la especie *Oulenziella bakeri* (Hughes) para su evaluación como presa alternativa en la producción comercial de *N. californicus*. Entre los resultados se señaló la obtención de una respuesta funcional tipo II para el depredador a las dos presas. Sin embargo, el depredador tuvo mayores tasas de ataque sobre huevos (0,86-1,03) y ninfas (0,73-0,93) de *T. urticae* que sobre huevos (0,55-0,73) y ninfas (0,71-0,96) de *O. bakeri*. En cuanto al tiempo de manipulación, este fue más prolongado para los huevos (0,05–0,09) y ninfas (0,07–0,12) de *O. bakeri*, que para los de *T. urticae*, los cuales fueron de (0,03–0,05) y (0,04–0,07), respectivamente. Entre sus conclusiones, los autores indicaron que *O. bakeri* puede representar una alternativa alimenticia en la producción de *N. californicus*.

Döker et al. (2016) estimaron la respuesta funcional de *N. californicus* a densidades de huevos (5, 10, 20, 40 y 80) de *T. urticae*, bajo diferentes condiciones de humedad relativa (HR), extremas (30 ± 2 , 50 ± 2 y 90 ± 2 %) y comunes (70%). Estos autores obtuvieron una respuesta tipo II del depredador a los huevos de la presa en todas las condiciones de HR evaluadas. El consumo de las presas por el depredador fue significativamente diferente en las densidades de 40 y 80 huevos. La tasa de ataque fue de 1,636 a 50% de HR, siendo significativamente superior a los valores obtenidos para los otros niveles de HR. Con respecto al tiempo de manipulación, el valor más corto de este parámetro (0,031) se encontró a 70% de HR, siendo significativamente diferente del obtenido a 30, 50 y 90 % de HR. Entre sus conclusiones, los autores señalaron que *N. californicus* puede ser incluido en los programas de control biológico aumentativo con rangos de fluctuaciones de humedad.

Tello Mercado et al. (2017) determinaron la respuesta funcional de *Cydnodromus picanus* Ragusa a huevos de *T. urticae*, de 16, 42 y 65 horas de edad. Los autores estimaron la respuesta tipo II del depredador para las tres edades de la presa, indicando también que el máximo número de presas consumidas fue más alto a la edad de 16 horas. Sin embargo, la mayor tasa de ataque se obtuvo para las edades de 42 y 65 horas.

Con relación al tiempo de manipulación, este parámetro fue significativamente menor a las 16 horas que, a las 42 y 65 horas, lo cual, según los autores se puede explicar por la cantidad de vitelo presente y la limitación de extraerlo, dado que, con la madurez del huevo, el desarrollo embrionario ocasiona disminución de la cantidad de vitelo, dificultándose su extracción, ocasionando que la alimentación del depredador requiera un tiempo más largo.

Xiao et al. (2013) determinaron la respuesta funcional de dos ácaros depredadores fitoseidos, *N. californicus* y *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot y un insecto depredador de la familia Cecidomyidae, *Feltiella acarisuga* (Vallot), a los huevos de *T. urticae*, usando discos de hoja de *Phaseolus vulgaris* L. En el estudio, las tres especies depredadoras demostraron ser efectivas para depredar los huevos de *T. urticae*, mostrando respuestas funcionales tipo II, con tasas de ataque similares. Sin embargo, los autores encontraron diferentes capacidades de depredación, *F. acarisuga* tuvo la mayor depredación en todas las densidades de presa ofrecidas, seguido de *N. californicus* y *A. swirskii*. En cuanto al tiempo de manejo, *F. acarisuga* tuvo el menor valor en este parámetro, seguido de *A. swirskii* y *N. californicus*. Los autores concluyeron que larvas de *F. acarisuga*, hembras de *N. californicus* y hembras de *A. swirskii* demostraron tener alta depredación de huevos de *T. urticae*, lo cual permite señalar que las tres especies pueden regular efectivamente las poblaciones de *T. urticae* en condiciones de campo.

Los ácaros fitoseidos también pueden exhibir una respuesta funcional de tipo III. Varios factores asociados con el depredador y la presa, así como con la temperatura, entre otros elementos climáticos, pueden influir en el tipo de respuesta funcional obtenido. Por ejemplo, se ha determinado una respuesta funcional tipo II para el depredador *Neoseiulus cucumeris* (Oudemans) sobre huevos y primer instar ninfal de *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Patel y Zhang, 2017), mientras que sobre huevos de *Diaphorina citri* Kuwayama, este depredador ha exhibido una respuesta tipo III (Fang et al., 2013).

Pereira de Sousa Neto et al. (2019) determinaron la respuesta funcional y numérica de *Neoseiulus idaeus* Denmark y Muma y *N. californicus* sobre huevos de *T. urticae*. Los autores encontraron que el consumo promedio de huevos por los depredadores

aumentó con el incremento de la densidad de presas, llegando a estabilizarse en densidades cercanas a los 15 huevos. *N. californicus* exhibió una respuesta funcional tipo II, mientras que, *N. idaeus* mostró a bajas densidades de huevos de la presa cierta aceleración, en la que el aumento de la densidad produjo un aumento en la tasa de consumo diferente a la tendencia lineal, demostrando una respuesta funcional de tipo III. Sobre la tasa de ataque y el tiempo de manipulación, los autores no encontraron diferencias significativas entre los depredadores *N. idaeus* y *N. californicus*.

Fathipour et al. (2017) evaluaron la influencia de la edad del depredador en la respuesta funcional de *A. swirskii* a huevos de *T. urticae*. Para ello utilizaron densidades de 2, 4, 8, 16, 32, 64 y 128 huevos de la presa sobre discos de hoja de pepino, a los 3, 4, 5, 6, 7, 12, 17, 22 y 27 días de edad del depredador. Los autores encontraron una respuesta funcional tipo II en casi todas las edades del depredador. El porcentaje de presas consumidas disminuyó con el aumento de la densidad de presas, comportamiento que se mantuvo hasta el día 12 de la edad de la hembra del depredador, fecha en la cual la depredación de los huevos se hizo denso-dependiente, aumentando hasta la densidad de 32 huevos y luego disminuyó, demostrándose una respuesta tipo III. La máxima tasa de ataque de presas/día (60,67) y el menor tiempo de manipulación (0.396 ± 0.057 h) se obtuvieron a los siete días de edad del depredador. El tiempo de manipulación más largo fue de $1,387 \pm 0,315$ h, a los tres días de edad del depredador.

Similarmente, Fathipour et al. (2018) determinaron la respuesta funcional de *P. persimilis*, utilizando discos de hoja de pepino con diferentes densidades de huevos de *T. urticae* (2, 4, 8, 16, 32, 64 y 128), las cuales fueron ofrecidas a individuos del depredador de diferentes edades: 4 (protoninfa), 5 (deutoninfa), 6 (adultos de 1 día), 10 (adultos de 5 días), 15 (adultos de 10 días), 20 (adultos de 15 días), 25 (adultos de 20 días), 30 (adultos de 25 días), 35 (adultos de 30 días) y 40 (adultos de 35 días). Los autores encontraron que, a las edades de 15, 35 y 40 días del depredador, la respuesta fue de tipo III, mientras que en el resto de edades del depredador la respuesta fue tipo II. Los autores observaron una relación no lineal (regresión cuadrática) entre la edad de *P. persimilis* y el tiempo de manejo. También reportaron que el tiempo de manejo más corto y la máxima tasa de ataque se obtuvieron a la edad de 20 días del depredador, con valores de $0,494 \pm 0,009$ h y 48,57 presas/día, respectivamente.

Rafizadeh Afshar y Latifi (2017), considerando la importancia de la temperatura como factor que afecta la dinámica depredador-presa, determinaron la respuesta funcional de *A. swirskii* sobre huevos de *T. urticae* en discos de hoja de fresa, a tres temperaturas constantes. Entre los resultados, los autores señalaron que la respuesta funcional fue afectada por los cambios de la temperatura, observándose que en temperaturas de 30 y 35°C se produjo una tasa de desaceleración en el consumo de presas debido a la densidad de presas, describiéndose una respuesta funcional de tipo II, mientras que a temperaturas de 25°C la respuesta funcional fue de tipo III. Con relación a los tiempos de manipulación, los autores demostraron que este parámetro fue afectado por la temperatura, siendo más corto a temperaturas de 35°C ($0,46 \pm 0,003$ h) que a 25°C ($0,6 \pm 0,005$ h). Las tasas de ataque también fueron afectadas por la temperatura, mostrando valores de $0,433 \pm 0,039$ h⁻¹ y $0,56 \pm 0,054$ h⁻¹, a los 30 y 35 °C, respectivamente.

Sugawara et al. (2018) también evaluaron el efecto de la temperatura sobre los parámetros asociados con la respuesta funcional de *N. womersleyi* y *N. longispinosus* a *T. urticae*, a temperaturas de 15, 20, 25, 30 y 35 °C, usando hojas de *P. vulgaris*. Los autores determinaron que la respuesta funcional fue significativamente influenciada por la temperatura y la densidad de presas, siendo también diferente entre los depredadores evaluados. El porcentaje de huevos de la presa consumidos por los depredadores disminuyó con el incremento de la densidad de la presa, lo cual demostró la respuesta tipo II para ambos depredadores. La tasa de ataque de *N. womersleyi* aumentó con el incremento de la temperatura de 15 a 30°C, con el mayor valor (7,097 día⁻¹) a los 30°C y disminuyó a los 35 °C (5,978 día⁻¹). Con respecto al depredador *N. longispinosus*, la mayor tasa de ataque (7,372 día⁻¹) se observó a la temperatura de 20°C, disminuyendo posteriormente conforme aumentó la temperatura. El tiempo de manipulación de ambas especies disminuyó exponencialmente con el aumento de la temperatura de 15 a 35 °C.

Ahn et al. (2010) evaluaron la respuesta funcional del depredador *N. californicus* a huevos de *T. urticae*, en diferentes temperaturas (15, 20, 25, 30 y 35 °C). Las densidades de huevos ofrecidas al depredador fueron 5, 10, 20, 40, 80 y 120. En el estudio se obtuvo una respuesta funcional de tipo II para el depredador a las distintas temperaturas. Se obtuvieron diferencias significativas en el consumo promedio de

huevos de *T. urticae* a las distintas temperaturas. La tasa de ataque no fue variable entre 15 y 30°C, pero fue significativamente mayor a 35°C. El tiempo de manipulación disminuyó significativamente con el aumento de la temperatura. Los autores también indicaron que el tiempo de manipulación más corto y el mayor consumo de presas se obtuvo a los 35°C.

Se ha evaluado también la influencia de factores propios de la planta hospedera en la respuesta funcional de los depredadores de Phytoseiidae. Al respecto, Ahn et al. (2010) evaluaron la influencia de la densidad de tricomas de las hojas de fresa, *Fragaria ananassa* Duchesne, de dos variedades ('Maehyang' y 'Sulhyang') en la respuesta funcional de *N. californicus* sobre huevos, larvas y ninfas de *T. urticae*. En sus resultados, los autores señalaron que el depredador mostró una respuesta tipo II para cada fase de la presa evaluada. La respuesta funcional no fue afectada por los tricomas no glandulares presentes en la cara abaxial de las hojas de fresa. No hubo diferencias significativas en la tasa de ataque del depredador obtenida para las distintas fases de la presa en cada cultivar. Con respecto al tiempo de manipulación, este parámetro si fue diferente para las fases de la presa, siendo mayor para las ninfas, que para los huevos y larvas en los dos cultivares.

En la evaluación de la respuesta de los depredadores de Phytoseiidae también se han utilizado otras especies de ácaros plaga. En el estudio de Bazgir et al. (2020), se comparó la respuesta funcional de *A. swirskii* al tetraníquido *Eotetranychus frosti* (McGregor) y al tenuipálpido *Cenopalpus irani* Dosse. Entre los resultados se señaló la disminución del porcentaje de presa consumida con el aumento de la densidad de presa, determinándose una respuesta funcional tipo II para todos los estados inmaduros de las dos presas. También se observó un efecto significativo de la especie sobre el número de presas consumidas, el depredador atacó más a *C. irani* que a *E. frosti*, siendo mayor la tasa de ataque del depredador en los estados inmaduros de *C. irani* que en *E. frosti*. Con respecto al tiempo de manejo, el valor de este parámetro fue más corto en las etapas inmaduras de *C. irani*, que en *E. frosti*.

Rahmani Piyani et al. (2021) determinaron la respuesta funcional de *A. swirskii* a *Tetranychus turkestanii* Ugarov y Nikolskii. En esa investigación se encontró que *A. swirskii* mostró una respuesta funcional dependiente de la densidad y la tasa de

consumo aumentó con el incremento de la densidad de la presa, lo que correspondió con una respuesta de tipo II. Los investigadores también estimaron el máximo consumo del depredador en 76,28 individuos por día. Con respecto a la tasa de ataque y el tiempo de manejo, estos parámetros mostraron valores de $0,1148 \text{ h}^{-1}$ y $0,3146 \text{ h}$, respectivamente. Los autores señalaron entre sus conclusiones que *A swirskii* podría ser efectivo en reducir las poblaciones de *T. turkestanii*.

Xiao y Fadamiro (2010) encontraron un modelo de respuesta tipo II para tres especies de Phytoseiidae, *P. persimilis*, *Galendromus occidentalis* (Nesbitt), and *Neoseiulus californicus* (McGregor), alimentados con ninfas de *Panonychus citri* (McGregor), utilizando discos de hojas de *Citrus unshiu* Marcovitch. En este modelo, el porcentaje de presas consumidas disminuyó en función de la densidad de presas ofrecida. De las tres especies, la mayor tasa de ataque se obtuvo para *G. occidentalis*, mientras que *P. persimilis* demostró el tiempo de manipulación más corto. Adicionalmente, los autores observaron que *P. persimilis* consumió el mayor número de ninfas de *P. citri*, mientras que *N. californicus* consumió la densidad de presas más baja. La mortalidad natural de presas fue mínima, lo que permitió a los autores concluir que la depredación ejercida por los ácaros fitoseidos fue la causante de la mayor mortalidad de ninfas de *P. citri* obtenida en esta investigación.

1.2. Objetivos

Objetivo general:

Evaluar la respuesta funcional de una especie de fitoseido sobre diferentes densidades de *Tetranychus urticae* como base para un programa de control biológico.

Objetivos específicos:

- Estimar la tasa de ataque (a) de una especie de fitoseido sobre diferentes densidades de los diferentes estados de desarrollo de *Tetranychus urticae*.
- Calcular el tiempo de ataque (T_h) de una especie de fitoseido sobre diferentes densidades de los diferentes estados de desarrollo de *Tetranychus urticae*.

- Determinar el tipo de respuesta funcional de una especie de fitoseido sobre diferentes densidades de los diferentes estados de desarrollo de *Tetranychus urticae* como base para un programa de control biológico.

1.3. Categorías fundamentales

1.3.1. Generalidades sobre la plaga *Tetranychus urticae*

a. Aspectos bioecológicos

En la determinación de los parámetros biológicos de *T. urticae* se ha señalado la influencia de las condiciones de cría, específicamente de la temperatura, la cual puede provocar variaciones en el ciclo de vida (Silva et al., 2009). En condiciones de clima cálido y seco, este ácaro puede completar su ciclo de vida en 7 días, dado que altas temperaturas y baja humedad relativa pueden favorecer su desarrollo (Souza-Pimentel et al., 2017).

Golizadeh et al. (2017) determinaron los parámetros de crecimiento de *T. urticae* en diez cultivares de rosa, en condiciones de laboratorio de 24 ± 1 °C y $65 \pm 5\%$ H.R. encontrando que el ácaro se desarrolló con éxito en todos los cultivares; sin embargo, el tiempo de desarrollo de huevo a adulto fue afectado por el cultivar, siendo más rápido en el cultivar 'Orange Juice'. Los autores también reportaron que el tiempo promedio de desarrollo de *T. urticae* fue de $9,35 \pm 0,18$ y $12,30 \pm 0,13$ días, en los cultivares 'Orange Juice' y 'Bella Vita', respectivamente.

Por su parte, Mondal y Ara (2006) determinaron la biología y fecundidad de *T. urticae* en *Lablab purpureus* L., en condiciones de 25 ± 4 °C, señalando tiempos promedio de $4,33 \pm 0,19$ días para la eclosión de los huevos y $1,75 \pm 0,14$ días para la duración del estado de la larva. La protoninfa duró en promedio $1,92 \pm 0,12$ días, mientras que la deutoninfa alcanzó el estado de adulto en un promedio de $1,72 \pm 0,08$ días. El tiempo promedio para la duración del ciclo de *T. urticae*, desde la fase de huevo hasta la emergencia del adulto fue de $10,15 \pm 0,16$ días. Los autores también registraron el total de huevos por hembra a lo largo de su vida, el cual promedió $108,3 \pm 3,23$ hasta los 16 días.

Silva et al., 2009, también evaluaron los parámetros de vida de *T. urticae*, utilizando hojas de *Gerbera jamesonii* Bolus y Hook, en ensayos de laboratorio conducidos a 25 °C y 70 ± 10% H.R. Los autores registraron tiempos de incubación de los huevos para hembras apareadas y no apareadas, de 3,3 y 3,9 días, respectivamente. Con respecto a la duración de los estados inmaduros de *T. urticae*, los investigadores señalaron que las larvas, protoninfas y deutoninfas de las hembras apareadas vivieron 3,2; 1,9 y 1,6 días; mientras que estas mismas fases provenientes de hembras no apareadas tuvieron un tiempo de duración de 3,5; 2,0 y 1,6 días, respectivamente.

Gallardo et al. (2005) evaluaron varios parámetros biológicos de *T. urticae* en hojas de *Capsicum annum* L., bajo condiciones de laboratorio a 27 + 2 °C y 70 + 10% H.R. Los autores determinaron que el ciclo de vida (desde huevo hasta la emergencia del adulto) tuvo una duración promedio de 8,2 días, variando entre 6 y 9 días. Con respecto a la duración de los estados inmaduros del ácaro, los investigadores obtuvieron tiempos de 2,7 con variación entre 1,5 y 4,0 para la incubación de los huevos; 1,8 con variación entre 1 y 3 días para las larvas y 3,7 variando entre 1,5-5,5 días para las ninfas.

b. Daños ocasionados

Los ácaros tetraníchidos son considerados plagas en la agricultura, pudiéndose encontrar en numerosos cultivos de frutas, árboles, hortalizas y ornamentales (Fathipour y Maleknia, 2016). *Tetranychus urticae* Koch destaca como plaga importante en cultivos y plantas ornamentales (Rafizadeh Afshar y Latifi, 2017). Sus daños generalmente comienzan con la formación de colonias en el envés de las hojas, alimentándose de las células que están debajo de la epidermis, causando amarillamiento y manchas punteadas; si el ataque se intensifica, la hoja se torna marrón, pudiendo secarse y caer, lo que conduce luego a la muerte de la planta (Gerson y Weintraub, 2012).

Según Attia et al. (2013), la alimentación de *T. urticae* ocasiona amarillamiento de las hojas y con el avance de los daños se forman manchas necróticas; también se pueden observar pequeñas manchas cloróticas en los sitios de alimentación, producto de la destrucción de células del mesófilo; en la flor abierta el ácaro puede provocar oscurecimiento y marchitamiento de los pétalos.

c. Control biológico

El control biológico con *P. persimilis* representa una opción recomendable. Este ácaro depredador es voraz y puede explotar rápidamente su presa, su capacidad de depredación ha favorecido su producción y venta en masa (Gerson y Weintraub, 2012). Entre las características de este ácaro como agente de biocontrol se pueden señalar que es un depredador especialista, se alimenta sólo de especies de *Tetranychus* y su supervivencia depende de la presencia y calidad de sus presas, así como de condiciones ambientales como temperatura y humedad relativa (Attia et al., 2013).

También se ha señalado a *Phytoseiulus macropilis* (Banks) para el control de *T. urticae*. Gigon et al. (2016) evaluaron el potencial de este ácaro y reportaron que *P. macropilis* tiene capacidad para controlar a *T. urticae* en plantaciones de tomate bajo invernadero, siendo efectivo para reducir las densidades poblacionales del ácaro plaga. Souza-Pimentel et al. (2017) en su estudio sobre los parámetros reproductivos de *P. macropilis*, determinaron que la tasa intrínseca de aumento de la población del depredador es mayor que la tasa intrínseca de aumento de *T. urticae*, de modo que este depredador puede ser considerado un agente de control biológico para esta plaga.

Otro depredador utilizado en el control de tetraníquidos es *N. californicus*, que ha sido considerado uno de los más eficientes agentes de control biológico para estos ácaros (Song et al., 2016), usado ampliamente como controlador de *T. urticae* (Pereira de Sousa Neto et al., 2019). Este ácaro destaca como polífago y tolerante a un amplio rango de temperatura y humedad, pudiendo además sobrevivir alimentándose de polen durante períodos de bajas densidades de presas (Gerson y Weintraub, 2012). Otra ventaja señalada para este ácaro es que su ciclo de vida no es limitado por condiciones de baja humedad relativa (Attia et al., 2013).

1.3.2. La familia Phytoseiidae

La familia Phytoseiidae se divide en tres subfamilias, Amblyseiinae, Phytoseiinae y Typhlodrominae, con 91 géneros (Demite et al., 2014). En la subfamilia Amblyseiinae se encuentran 65 géneros y 1748 especies, en Phytoseiinae están 3 géneros y 229 especies y en Typhlodrominae 23 géneros y 732 especies (Demite et al., 2014). Los ácaros fitoseidos han sido considerados agentes importantes en el control biológico de

ácaros e insectos plagas, por ello han sido objeto de estudios biológicos, ecológicos y de comportamiento en todo el mundo (McMurtry et al., 2015).

El ciclo de vida de las especies de Phytoseiidae tarda generalmente 7 a 10 días, pero puede llegar a completarse en 5 días en las especies de *Phytoseiulus*, tiempo que resulta más corto que sus presas tetraníquidos (McMurtry et al., 2015). En cuanto a los sustratos preferidos por los fitoseidos, McMurtry et al., (2013) señalan que algunos se ubican en microhábitats suaves donde encuentran alimento, quedándose cerca de las nervaduras de las hojas o debajo de estructuras como telarañas producidas por insectos, arañas o ácaros o en partículas depositadas en hojas y frutos; otros permanecen en microhábitats no homogéneos como hojas pubescentes, agallas; y ciertos fitoseidos cambian regularmente entre los microhábitats descritos.

Sobre los estilos de vida de los fitoseidos, McMurtry et al. (2013) esquematizaron las posibles vías de evolución de sus hábitos alimentarios señalando 4 tipos básicos que se describen a continuación. En el tipo I se ubican los depredadores especializados de ácaros, con cuatro subtipos que se separan de acuerdo a la especificidad del ácaro presa. En este grupo, el subtipo I a incluye a los depredadores especializados en las especies de *Tetranychidae*. El tipo II agrupa los depredadores selectivos de ácaros tetraníquidos, asociados principalmente con especies productoras de seda, tales como las pertenecientes a los géneros *Olygonychus* y *Tetranychus*. El tipo III incluye a los depredadores generalistas que se alimentan de una variada gama de presas, ejemplo las familias pertenecientes a Astigmata. En el tipo IV se ubican a los depredadores generalistas que se alimentan de polen, ejemplo las especies de *Euseius*.

1.3.3. *La respuesta funcional de los enemigos naturales*

a. Definiciones más comúnmente aceptadas

En una relación depredador-presa, los depredadores pueden reaccionar a la densidad de las presas de varias maneras, siendo una de ellas la modificación en sus tasas de alimentación según los cambios en la densidad de las presas, lo que se conoce como respuesta funcional (Gascoigne y Lipcius, 2004). Según estos autores, la respuesta funcional per cápita se puede entender como la probabilidad de que un depredador consuma una presa en función de la densidad de presas.

Solomon (1949) definió la respuesta funcional como la relación entre la tasa de depredación y la densidad de las presas. Este autor consideró los cambios que suceden en la cantidad de presas consumidas en función a los cambios en la disponibilidad de presas, señalando que un aumento de la densidad de presas favorece que cada enemigo ataque más presas o a un número fijo con mayor rapidez.

La respuesta funcional es según Koen-Alonso (2007), la cantidad de presa consumida por unidad de depredador por unidad de tiempo, pudiendo depender básicamente de la densidad de presas, pero en un entorno más general puede depender también de la densidad de los depredadores. Por su parte, Badii et al. (2013) indican que esta respuesta puede verse como la capacidad de depredación del depredador que varía según el cambio de la densidad de su presa.

Los ensayos artificiales sobre la relación depredador-presa permiten destacar dos elementos importantes en el comportamiento del depredador, que implican consumo de tiempo y afectan la respuesta funcional, ellos son la búsqueda y el manejo de las presas, actividades que no suceden al mismo tiempo, toda vez que mientras las presas son manipuladas, la búsqueda se detiene (Holling, 1959a). Este autor definió para entonces un modelo de respuesta funcional básica, al cual agregaría otro elemento relacionado con la identificación de la presa, que posteriormente llamaría tiempo de reconocimiento.

La tasa de ataque representa el número de presas consumidas por día en relación a la densidad de las presas (Holling, 1965). Según Koen-Alonso (2007), este parámetro indica la tasa de consumo per cápita por unidad de tiempo de búsqueda. La tasa de ataque puede disminuir en la medida en que la densidad de presas aumente, produciendo un modelo de curva con aceleración negativa, tal como sucede en la respuesta funcional tipo II (Holling, 1965).

El tiempo de manipulación representa el tiempo dedicado a la persecución, dominio, consumo y digestión de las presas y a la preparación para la siguiente búsqueda (Fernández Arhex y Corley, 2004). Este tiempo no está disponible para la búsqueda, de modo que en la medida en que aumente la densidad de las presas y su consumo se incremente, el tiempo destinado a la búsqueda disminuirá (Holling, 1965). Estos parámetros, tasa de ataque y tiempo de manipulación se relacionan de manera inversa.

b. Tipos de respuesta funcional

La respuesta funcional fue tipificada por (Holling, 1959b) en tres formas básicas. En la respuesta funcional tipo I, la mortalidad de las presas por efecto del depredador es directamente proporcional a la densidad de presas, de modo que la relación es lineal y la pendiente estará dada por la eficiencia de búsqueda del depredador, siendo este aumento lineal hasta alcanzar un punto en que la máxima tasa de ataque se hace constante.

Según Holling (1965), en la respuesta tipo I, hay un aumento constante de presas consumidas en la medida que aumenta la densidad de las mismas, luego la proporción comienza a disminuir hasta alcanzar la asíntota de la curva, donde el número de presas consumidas se hace constante y es superado por el aumento creciente de presas.

En la respuesta tipo II, la tasa de consumo de presas aumenta a medida que incrementa la densidad de presas, esto sucede de manera hiperbólica hasta la formación de una asíntota, la cual refleja la tasa máxima de ataque (Holling, 1959b). El porcentaje de depredación disminuye continuamente en respuesta a la aceleración negativa típica de la curva de respuesta funcional, lo que significa que con el aumento de la densidad ocurre un incremento más pequeño progresivo en el número consumido de presas (Holling, 1965).

De acuerdo con (Holling, 1959a), la respuesta funcional tipo II involucra un tiempo de manipulación de la presa, el cual considera persecución, captura y consumo de la presa, y es este factor, llamado también tiempo de manejo, el causante de la desaceleración constante de la curva que sucede con el aumento del número de presas. La proporción de presas consumidas se vuelve inversamente proporcional a la densidad de presas. Se trata entonces de un parasitismo denso-dependiente inverso, significando que, las presas tendrán menor probabilidad de ser atacadas cuando estén a altas densidades poblacionales que cuando se encuentren en densidades bajas (Fernández Arhex y Corley, 2004).

En la respuesta funcional tipo III, la tasa de ataque inicialmente aumenta con el incremento de la densidad de presas, lo cual se atribuye a la mayor eficiencia del depredador para encontrar sus presas, la tasa de ataque aumenta o el tiempo de manejo

disminuye (Holling, 1959b). En este tipo de respuesta, la cantidad de presas consumidas inicialmente aumenta a medida que aumenta la densidad de presas, debido a la aceleración positiva inicial de la curva sigmoideal, luego del punto de inflexión, la curva de respuesta tiene aceleración negativa, entonces la cantidad de presas consumidas comienza a disminuir continuamente (Holling, 1965). A bajas densidades de presa, la respuesta tipo III produce una mortalidad denso-dependiente directa (Fernández Arhex y Corley, 2004). Este fenómeno de denso-dependencia directa permite atribuirle a la respuesta funcional tipo III la potencialidad de contribuir con la regulación poblacional de la presa (Badii et al., 2013).

En cuanto a los tipos de respuesta funcional que exhiben distintos organismos, se ha señalado que los invertebrados muestran modelos de respuesta funcional tipos I y II, mientras que la respuesta tipo III es atribuida a los vertebrados (Holling, 1965). Estas diferencias pueden deberse a la manera en que aumenta el ataque del depredador con el aumento de la densidad de presas; en los invertebrados la curva de respuesta tiene una aceleración negativa hasta la formación de la asíntota, mientras que, en los vertebrados la etapa ascendente de la curva inicia con aceleración positiva antes de continuar con la aceleración negativa (Holling, 1965).

Las curvas de tipo III se presentan en organismos con posibilidad de aprendizaje o con capacidad de cambiar una presa por otra (Holling, 1966). En cuanto al aprendizaje, ciertos organismos tienen la capacidad de responder a muchos estímulos, descartando aquellos que les sean irrelevantes y además pueden aprender y canalizar la información de diferentes estímulos (Bruzzone et al., 2022). Los depredadores con respuesta tipo III adquieren una imagen de búsqueda que les permite detectar las presas, inclusive si estas son crípticas, generando una cierta especialización sobre las especies de presas y sobre los sitios con mayores posibilidades de encontrarlas, lo que permite incrementar su eficiencia de captura de las presas (Badii et al., 2013). Sobre la posibilidad de cambio de presa, es común que el depredador consuma la presa más abundante, cambiando a otra presa cuando la abundancia relativa de las especies de presas alcance el nivel crítico (Bruzzone et al., 2022).

1.3.4. La respuesta funcional y el control biológico de ácaros plaga

La respuesta funcional representa una herramienta útil en la evaluación de los ácaros depredadores, dado que proporciona información sobre tiempo de manejo y tasa de ataque, parámetros de consideración en la evaluación del comportamiento de alimentación (Fathipour y Maleknia, 2016). En este sentido, la respuesta funcional prueba la eficiencia de un depredador para manejar las poblaciones de sus presas y es un elemento importante de la estimación del comportamiento de la población del enemigo natural (Rafizadeh Afshar y Latifi, 2017). De allí que, la efectividad del depredador se relacione directamente con el tipo de respuesta funcional que presente (Tello Mercado et al., 2017).

El conocimiento de la capacidad de depredación de un depredador puede contribuir con su uso en programas de control biológico (Fathipour et al., 2018). Para el éxito de estos programas, el entendimiento de las interacciones depredador-presa es fundamental (Hoque et al., 2010). Con el conocimiento de los componentes del ciclo de depredación se puede generar la tasa de consumo del depredador, la cual estará determinada por su tasa de ataque y el tiempo de manejo, dado que estos parámetros involucran tanto la probabilidad de que el depredador encuentre, ataque y consuma la presa, además del tiempo requerido para ello (Jeschke et al., 2022).

La respuesta funcional por sí sola no es determinante del éxito o fracaso de los programas de control biológico, toda vez que existen factores asociados con la liberación, cantidad y calidad de parasitoides, así como los elementos climáticos que pueden influir en la eficiencia de estos programas (Fernández-Arhex y Corley, 2003). De manera similar, Pervez y Omkar (2005) señalan que además de la respuesta funcional, factores como la tasa intrínseca de crecimiento, la dispersión del huésped, depredación y competencia, junto a los factores ambientales, influyen en la eficiencia del depredador al manejar las poblaciones de presas.

El sistema de componentes bióticos y abióticos en el que sucede el control biológico es muy variable, características propias del huésped y su ubicación, además de los componentes ambientales y las prácticas agrícolas constituyen algunos de los elementos que interactúan con la respuesta funcional, de modo que puede convertirla

en un débil indicador de la calidad del agente de control biológico (Fernández-Arhex y Corley, 2003).

El conocimiento de las tasas de ataque y los tiempos de manejo puede contribuir con los programas de biocontrol. Fathipour et al. (2017) encontraron que el tiempo de manejo del depredador *P. suaski* tendía a disminuir con el aumento de la edad del depredador hasta el séptimo día, luego siguió aumentando en edades más avanzadas. De manera similar, Fathipour et al. (2018) determinaron que los adultos de *P. persimilis* en edades medias y tardías son más eficientes que en etapas más jóvenes, mostrando mayores tasas de depredación y menores tiempos de manejo, lo que permite sugerir que las liberaciones deberán realizarse en estas edades del depredador, así se facilitaría la matanza rápida de las poblaciones de *T. urticae*.

De acuerdo con Osman y Tawfik (2010), las hembras de *P. persimilis* pueden ser más efectivas en diferentes estados de sus presas en bajas densidades, información que junto a la consideración del aumento de la tasa de ataque y disminución del tiempo de manejo del depredador en larvas de *T. urticae* permite establecer la liberación temprana de *P. persimilis*, en bajas densidades de presas y en el tiempo en que la presa esté en estado larval.

El tipo de respuesta funcional del depredador o parasitoide puede verse afectado por varios factores, entre ellos la fenología del cultivo, heterogeneidad del hábitat, edad del depredador y otros factores bióticos y abióticos (Tello Mercado et al., 2017). Según Fernández-Arhex y Corley (2003), las respuestas tipo II y III en parasitoides se han asociado con el éxito en el establecimiento y control parcial de sus hospederos; sin embargo, se han encontrado casos de establecimiento de la especie controladora sin el logro de un control exitoso, lo que puede relacionarse con las dificultades de los parasitoides para encontrar sus huéspedes cuando éstos se encuentran en bajas densidades.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Ubicación de la investigación

El estudio fue conducido en el laboratorio de Entomología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCAGP) de la Universidad Técnica de Ambato (UTA) ubicado en el cantón Cevallos de la Provincia de Tungurahua.

2.2. Modalidad de la investigación

La investigación fue desarrollada bajo un enfoque cuantitativo, según el cual, después del planteamiento de una hipótesis de investigación se diseña un experimento que permita la toma de datos numéricos que son sometidos a análisis estadístico y con ello, establecer tendencias en el comportamiento de las variables de estudio (Hernández-Sampieri et al. 2014).

2.3. Tipo de investigación

El presente estudio siguió un tipo de investigación experimental, que implica verificar el efecto de la manipulación intencional de una o más variables independientes por parte del investigador sobre el comportamiento de una o más variables dependientes, con el fin de hacer comparaciones entre las diferentes muestras de manera de verificar cuál es el mejor tratamiento (Hernández-Sampieri et al. 2014).

2.4. Población y muestra

En términos de investigación, la población se refiere a un grupo de individuos u objetos de estudio que presentan características comunes y de la cual el investigador desea investigar algún aspecto, mientras que la muestra poblacional se define como un subgrupo de la población que es seleccionada como elemento de observación para la toma de los datos y luego hacer inferencias de la población total (Majid, 2018). Con base en estas definiciones, en el presente estudio, la población de interés estuvo conformada por los ácaros, fitófagos (*Tetranychus urticae*) y depredador (*Typhlodromalus* sp.), presentes en el cultivo de rosa en la Granja Experimental

Querochaca, del cantón Cevallos. A partir de esta población, se tomaron muestras de hojas con síntomas de alimentación de tetraníquidos caracterizados por diminutos puntos blancos o amarillos en la superficie adaxial de la hoja (Muimba-Kankolongo 2018), las cuales fueron colocadas en bolsas plásticas previamente recubiertas con papel absorbente y llevadas al Laboratorio de Entomología, Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCAGP), Campus Querochaca de la Universidad Técnica de Ambato (UTA), Ecuador. Se tomaron muestras de 10 hojas tomadas de manera aleatoria de 10 plantas de rosa.

2.5. Recolección de la información

2.5.1. Establecimiento de colonias

Los bioensayos fueron realizados en el laboratorio de Entomología de la FCAGP-UTA bajo las condiciones ambiente. Tanto la especie de Phytoseiidae como de *T. urticae* fueron colectadas en plantas de rosa cultivada en el Campus Querochaca de la FCAGP y criados siguiendo la metodología descrita por Pazmiño et al. (2018).

2.5.2. Tasa de consumo y respuesta funcional

La respuesta funcional de la especie de Phytoseiidae sobre huevos y fases móviles (larvas y ninfas) de *T. urticae* fue estudiada en bioensayos separados. Para cada fase de desarrollo, una hembra adulta del fitoseido fue previamente sometida a ayuno de 24 h y luego fue confinada en una unidad de cría provistas de huevos o fases móviles como fuente de alimento a densidades de 5, 10, 20, 30 y 40 huevos/hembra del depredador, mientras que en cuanto a las fases móviles la densidad fue de 2, 4, 8 y 16 fases móviles/hembra del depredador. El número de presas de *T. urticae* consumidas por el depredador fue registrado a las 24 h (tiempo experimental) bajo aumento de un microscopio estereoscópico de 40X aumentos (Leica).

Los parámetros de la respuesta funcional fueron estimados por la fórmula:

$$\frac{Na}{No} = Prob (Y = 1) = \frac{\exp^{(P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3)}}{1 + \exp^{(P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3)}}$$

Donde;

Y = variable dependiente dicotómica, que representa si una presa fue no consumida (Y=0) o consumida (Y=1) al final del ensayo.

N_a = número de presas consumidas

N_o = número de presas disponibles

P_0 , P_1 , P_2 y P_3 representan el intercepto, el coeficiente lineal, cuadrático y cúbico, respectivamente.

Luego de determinar el tipo de respuesta funcional, se estimaron los parámetros de tasa de ataque y tiempo de manipulación a través de la linealización de la ecuación del disco de Holling dependiendo del tipo de respuesta funcional (Xiao et al., 2013).

2.6. Análisis de la información

El experimento fue conducido en un diseño completamente aleatorizado y los datos fueron sometidos a análisis de varianza. Las variables que mostraron diferencias significativas fueron comparadas mediante prueba de medias según Tukey ($p < 0,05$) usando el paquete Statistix para Windows versión 10.0.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respuesta funcional de *Typhlodromalus* sp. sobre huevos y fases móviles de *T. urticae*

De acuerdo con los análisis de la tasa de consumo de huevos y fases móviles consumidos a diferentes densidades ofrecidas se encontró que el tipo de respuesta funcional de *Typhlodromalus* sp. fue de tipo cuadrático, lo cual fue evidenciado por un coeficiente de regresión de 97,27 % y una ecuación $y = -0,2143x^2 + 3,5057x - 0,84$ para los huevos, mientras que para las fases móviles el coeficiente de regresión fue 98,8% con una ecuación $y = 0,2x^2 - 0,2x + 1,08$ (Figuras 1 y 2). Sin embargo, los modelos: lineal y exponencial también mostraron altos valores de regresión (96,02 y 96,33 %). La tasa de consumo varió desde 2,8 huevos/hembra a la densidad de 5 huevos ofrecidos y se incrementó hasta 11,2 huevos/hembra a la mayor densidad de huevos ofrecidos (40 huevos/arena).

Así mismo, se observó un comportamiento similar cuando el depredador fue alimentado con las fases móviles de la presa, principalmente larvas y protoninfas, con tasas de consumo de la totalidad de las presas ofrecidas, lo cual se fue incrementando a 1,6 individuos/hembra cuando se había ofrecido 2 fases móviles por día, mientras que cuando se ofreció una densidad de 16 formas móviles el consumo promedio de 5,2 individuos/hembra del depredador (Fig. 2).

Adicionalmente, una vez calculados los parámetros Tiempo de manipulación (T_h) y tasa de ataque a) del modelo de Holling de acuerdo con los valores mostrados en las tablas 1 y 2, se obtuvieron valores de 0,0492 h y $1,7064 \text{ h}^{-1}$ para los huevos y de 0,2125 h y $0,8262 \text{ h}^{-1}$ para las fases móviles (larvas y protoninfas). Estos valores indican que la hembra de *Typhlodromalus* sp. requirió 0,049 h para manipular los huevos con un ataque de 1,7064 huevos/h, mientras que, como era de esperar, el tiempo para manipular a las fases móviles fue mayor, siendo de 0,2125 h para atacar 0,8262 larvas o protoninfas/h. Estos mayores valores con relación a las fases móviles se deben a que, al tratarse de formas móviles, estas ofrecen resistencia al ataque, aumentando el tiempo requerido para la depredación.

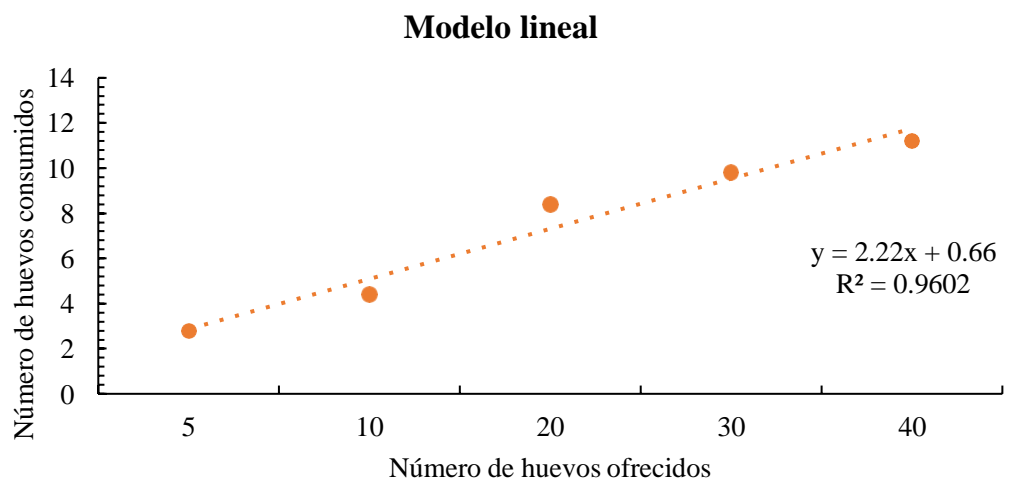
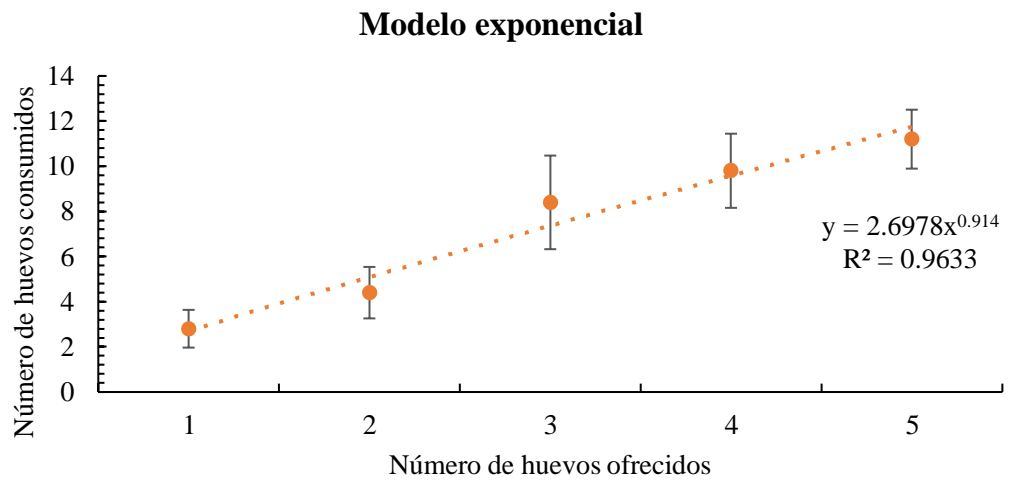
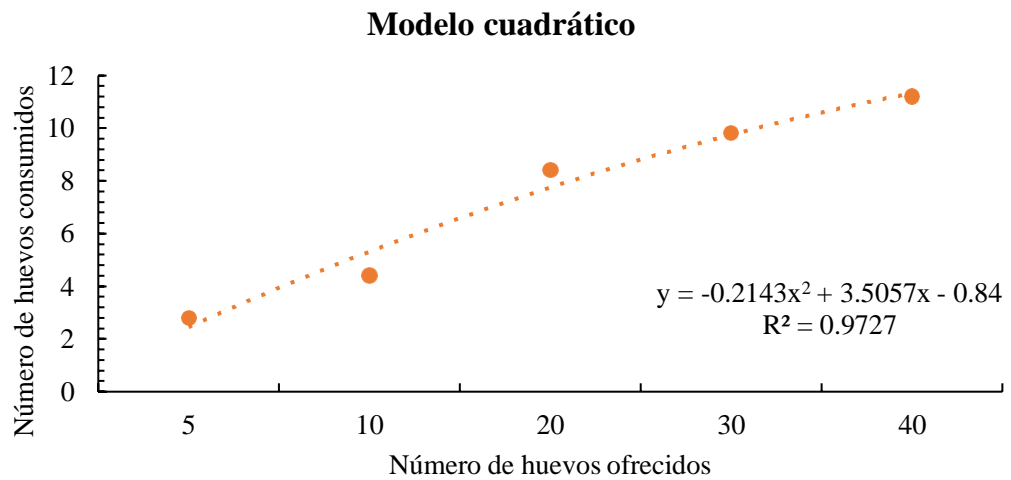


Figura 1. Curvas de respuesta funcional Cuadrático, Exponencial y Lineal de las hembras de *Typhlodromalus* sp. sobre los huevos de *T. urticae* bajo condiciones de laboratorio

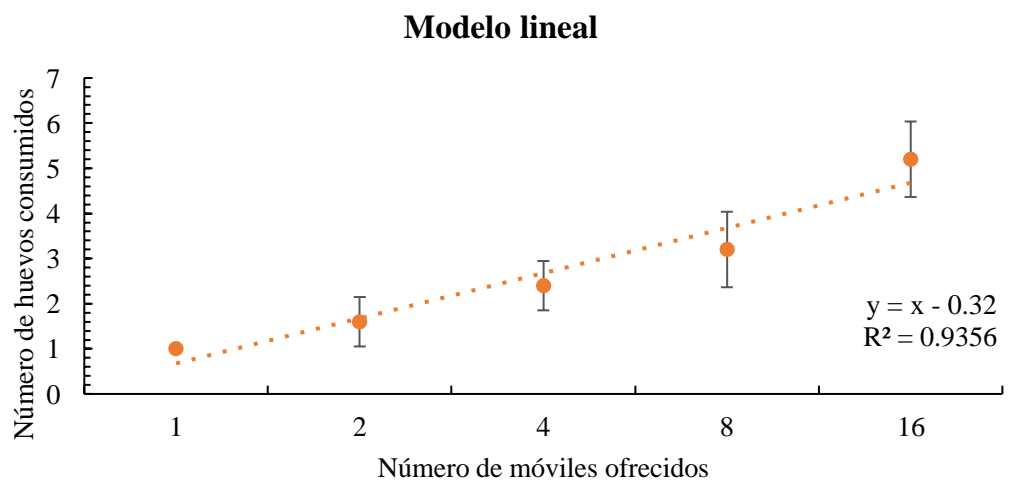
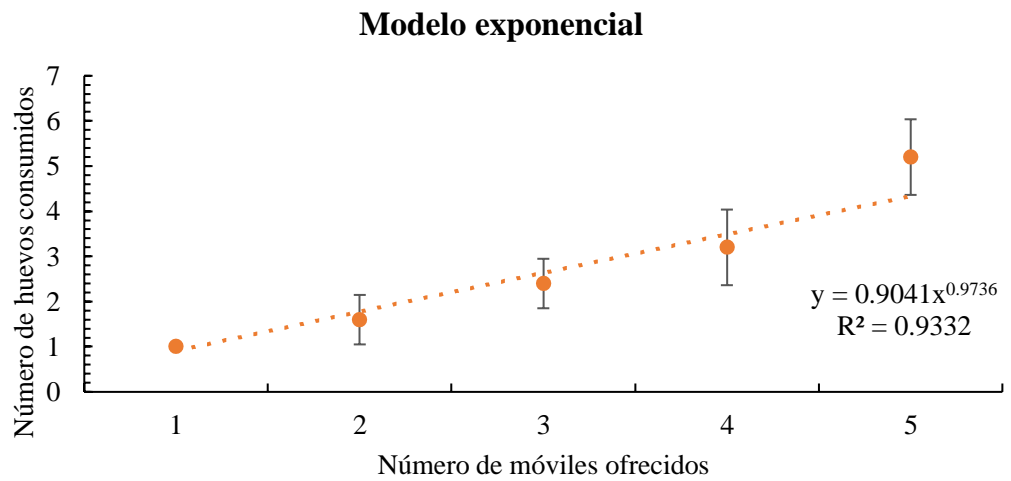
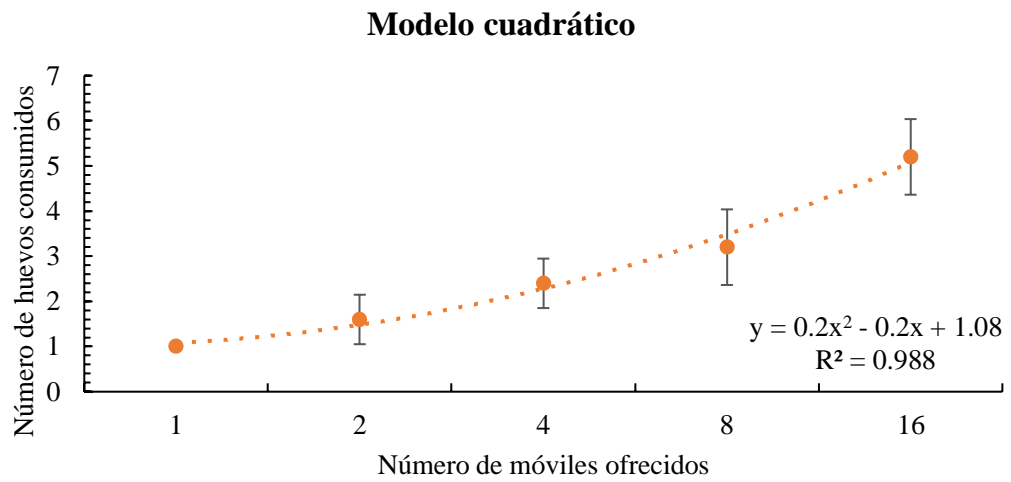


Figura 2. Curvas de respuesta funcional Cuadrático, Exponencial y Lineal de las hembras de *Typhlodromalus* sp. sobre las larvas y protoninfas de *T. urticae* bajo condiciones de laboratorio

Tabla 1. Estimación de los parámetros de la respuesta funcional de *Typhlodromalus* sp. frente a los huevos de *T. urticae*

X	Y	1/X	1/Y	Valores X - X	Valores Y - Y	X*Y	ΣX2	ΣY2	a
5	2	0,200	0,500	0,118333333	0,311410811	0,03685028	0,01400278	0,09697669	2,63164066
5	2	0,200	0,500	0,118333333	0,311410811	0,03685028	0,01400278	0,09697669	2,63164066
5	3	0,200	0,333	0,118333333	0,144744145	0,01712806	0,01400278	0,02095087	1,22318996
5	4	0,200	0,250	0,118333333	0,061410811	0,00726695	0,01400278	0,00377129	0,5189646
5	3	0,200	0,333	0,118333333	0,144744145	0,01712806	0,01400278	0,02095087	1,22318996
10	4	0,100	0,250	0,018333333	0,061410811	0,00112586	0,00033611	0,00377129	3,34968062
10	4	0,100	0,250	0,018333333	0,061410811	0,00112586	0,00033611	0,00377129	3,34968062
10	5	0,100	0,200	0,018333333	0,011410811	0,0002092	0,00033611	0,00013021	0,6224079
10	6	0,100	0,167	0,018333333	-0,021922522	-0,00040191	0,00033611	0,0004806	-1,19577392
10	3	0,100	0,333	0,018333333	0,144744145	0,00265364	0,00033611	0,02095087	7,89513517
20	7	0,050	0,143	-0,031666667	-0,045732046	0,00144818	0,00100278	0,00209142	1,44416987
20	8	0,050	0,125	-0,031666667	-0,063589189	0,00201366	0,00100278	0,00404358	2,00807964
20	6	0,050	0,167	-0,031666667	-0,021922522	0,00069421	0,00100278	0,0004806	0,69229017
20	10	0,050	0,100	-0,031666667	-0,088589189	0,00280532	0,00100278	0,00784804	2,79755332
20	11	0,050	0,091	-0,031666667	-0,097680098	0,0030932	0,00100278	0,0095414	3,08463466
30	8	0,033	0,125	-0,048333333	-0,063589189	0,00307348	0,00233611	0,00404358	1,31563838
30	9	0,033	0,111	-0,048333333	-0,077478077	0,00374477	0,00233611	0,00600285	1,60299471
30	9	0,033	0,111	-0,048333333	-0,077478077	0,00374477	0,00233611	0,00600285	1,60299471
30	12	0,033	0,083	-0,048333333	-0,105255855	0,00508737	0,00233611	0,0110788	2,17770735
30	11	0,033	0,091	-0,048333333	-0,097680098	0,0047212	0,00233611	0,0095414	2,02096754
40	11	0,025	0,091	-0,056666667	-0,097680098	0,00553521	0,00321111	0,0095414	1,72376643
40	10	0,025	0,100	-0,056666667	-0,088589189	0,00502005	0,00321111	0,00784804	1,56333862
40	12	0,025	0,083	-0,056666667	-0,105255855	0,0059645	0,00321111	0,0110788	1,85745627
40	13	0,025	0,077	-0,056666667	-0,111666112	0,00632775	0,00321111	0,01246932	1,97057844
40	10	0,025	0,100	-0,056666667	-0,088589189	0,00502005	0,00321111	0,00784804	1,56333862

Tabla 2. Estimación de los parámetros de la respuesta funcional de *Typhlodromalus* sp. frente a larvas y protoninfas de *T. urticae*

X	Y	1/X	1/Y	Valores X - X promedio	Valores Y - Y promedio	X*Y	ΣX ²	ΣY ²	a
1	1	1,000	1,000	0,6125	0,467333333	0,28624167	0,37515625	0,21840044	0,7629932
1	1	1,000	1,000	0,6125	0,467333333	0,28624167	0,37515625	0,21840044	0,7629932
1	1	1,000	1,000	0,6125	0,467333333	0,28624167	0,37515625	0,21840044	0,7629932
1	1	1,000	1,000	0,6125	0,467333333	0,28624167	0,37515625	0,21840044	0,7629932
1	1	1,000	1,000	0,6125	0,467333333	0,28624167	0,37515625	0,21840044	0,7629932
2	2	0,500	0,500	0,1125	-0,032666667	-0,003675	0,01265625	0,00106711	-0,29037037
2	1	0,500	1,000	0,1125	0,467333333	0,052575	0,01265625	0,21840044	4,15407407
2	1	0,500	1,000	0,1125	0,467333333	0,052575	0,01265625	0,21840044	4,15407407
2	2	0,500	0,500	0,1125	-0,032666667	-0,003675	0,01265625	0,00106711	-0,29037037
2	2	0,500	0,500	0,1125	-0,032666667	-0,003675	0,01265625	0,00106711	-0,29037037
4	3	0,250	0,333	-0,1375	-0,199333333	0,02740833	0,01890625	0,03973378	1,44969697
4	2	0,250	0,500	-0,1375	-0,032666667	0,00449167	0,01890625	0,00106711	0,23757576
4	2	0,250	0,500	-0,1375	-0,032666667	0,00449167	0,01890625	0,00106711	0,23757576
4	2	0,250	0,500	-0,1375	-0,032666667	0,00449167	0,01890625	0,00106711	0,23757576
4	3	0,250	0,333	-0,1375	-0,199333333	0,02740833	0,01890625	0,03973378	1,44969697
8	4	0,125	0,250	-0,2625	-0,282666667	0,0742	0,06890625	0,07990044	1,0768254
8	2	0,125	0,500	-0,2625	-0,032666667	0,008575	0,06890625	0,00106711	0,12444444
8	4	0,125	0,250	-0,2625	-0,282666667	0,0742	0,06890625	0,07990044	1,0768254
8	3	0,125	0,333	-0,2625	-0,199333333	0,052325	0,06890625	0,03973378	0,75936508
8	3	0,125	0,333	-0,2625	-0,199333333	0,052325	0,06890625	0,03973378	0,75936508
16	5	0,063	0,200	-0,325	-0,332666667	0,10811667	0,105625	0,11066711	1,02358974
16	6	0,063	0,167	-0,325	-0,366	0,11895	0,105625	0,133956	1,12615385
16	4	0,063	0,250	-0,325	-0,282666667	0,09186667	0,105625	0,07990044	0,86974359
16	5	0,063	0,200	-0,325	-0,332666667	0,10811667	0,105625	0,11066711	1,02358974
16	6	0,063	0,167	-0,325	-0,366	0,11895	0,105625	0,133956	1,12615385

Con base en los resultados, se deduce que las hembras de *Typhlodromalus* sp. muestran una tendencia al incremento de las tasas de consumos tanto de los huevos como de fases móviles de *T. urticae*, con tendencia a alcanzar un máximo valor a medida que las densidades de la presa son mayores, que es denominado nivel plateau, de acuerdo con Holling. De acuerdo con esto, la respuesta funcional se considera que se adapta a una respuesta funcional tipo II o también llamado modelo cuadrático. Este tipo de comportamiento de depredación es exhibido por un amplio número de especies de especies depredadoras, lo cual se debe al hecho de que el depredador alcanza su saciedad con densidades altas de huevos. En tal sentido, Coblenz y DeLong (2020), señalaron que las tasas de alimentación son funciones de saturación (o saciedad) de la densidad de la presa, puesto que los depredadores parecen tener una digestión limitada lo que hace que al alcanzar la saciedad cesen el consumo, por un período de tiempo determinado.

Jafarian et al. (2022) encontraron una respuesta funcional tipo II (cuadrática) en hembras de *Typhlodromus bagdasarjani* Wainstein & Arutunjan frente a diferentes densidades de las protoninfas de *Eotetranychus frosti* (McGregor) (2, 4, 8, 16, 32, 64 y 128 individuos) en cuatro cultivares de manzana (Imperial Gala, Kohanz Golab, Granny Smith y Lebanon Red). Asimismo, los valores de tasa de ataque (a) y tiempo de manipulación de la presa (T_h) más alta (a) ($0,0747 \text{ h}^{-1}$) y el tiempo de manejo más corto ($0,7005 \text{ h}$) en el cultivar Kohanz Golab, mientras que la menor tasa de ataque ($0,0334 \text{ h}^{-1}$) y mayor tiempo de manipulación ($1,1189 \text{ h}$) sobre el cultivar Granny Smith, con tasas de consumo máxima teórica (T/T_h) fue de 34,3; 33,8; 26,9 y 21,5 presas/día en Kohanz Golab, Imperial Gala, Lebanon Red y Granny Smith, respectivamente.

De manera similar, Bazgir et al (2020) evaluaron la respuestas funcionales y tasas de depredación de *Amblyseius swirskii* sobre *Eotetranychus frosti* (Tetranychidae) y *Cenopalpus irani* (Tenuipalpidae) en hojas de manzano a $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, con 16:8 h L:D y una humedad relativa de $60 \pm 10 \%$. Tal como fue observado en la presente investigación, la tasa de depredación del depredador mostró preferencia por el consumo de huevos que larvas y protoninfas, mientras que el consumo de deutoninfas era muy raro. Asimismo, los resultados del análisis de regresión logística mostraron que *A. swirskii* exhibió una respuesta funcional Tipo II en todas las etapas inmaduras

de *E. frosti* y *C. irani*, mostrando los menores tiempos de manipulación (Th) (0,4858 y 0,3819 h) para los huevos de *E. frosti* y *C. irani*, respectivamente y tendió a aumentar a medida que aumentaba el tamaño de la presa. Por último, los coeficientes de la tasa de ataque (a) variaron significativamente entre las etapas de vida de ambas plagas, siendo mayor con los huevos, seguida por las larvas, las protoninfas y las deutoninfas, lo que sugiere que *A. swirskii* podría ser un agente de control biológico altamente eficiente de *E. frosti* y *C. irani* a bajas densidades de presa.

Fathipour et al. (2018) estudiaron la respuesta funcional y la tasa de depredación de diferentes estadios de desarrollo de *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot sobre los huevos de *T. urticae* Koch utilizando discos de hojas de pepino, para lo cual ofrecieron densidades de 2, 4, 8, 16, 32, 64 y 128 huevos de la presa a 4 (protoninfa), 5 deutoninfa, 6 (adulto de 1 día), 10 (adulto de 5 días), 15 (adulto de 10 días), 20 (adulto de 15 días), 25 (adulto de 20 días), 30 (adulto de 25 días), 35 (adulto de 30 días) y 40 (adulto de 35 días de edad) individuos de *P. persimilis*. Los resultados de los análisis de regresión logística mostraron que en los días 15, 35 y 40 de edad de depredador, la tasa de depredación de huevos de *T. urticae* aumentó, lo que resultó en una respuesta funcional tipo III, mientras que, en las otras edades, la respuesta funcional fue tipo II. El mayor tiempo de manejo se obtuvo en la etapa protoninfa con 2,377 h, mientras que el tiempo de manejo más corto y el valor más alto de tasa máxima de ataque estimada (T/Th) se estimó a la edad de 20 días (0,494 h y 48,57 presas/día). Con la mayor densidad de presas utilizada (128 huevos) se encontró que el mayor número de presas consumidas por *P. persimilis* de 15, 20, 25 y 30 días de edad fueron de 39,3; 41,7; 39,3 y 38,1 huevos por día, respectivamente, lo que demostró que *P. persimilis* en edades medias y tardías muestra un buen potencial de depredación sobre los huevos de *T. urticae* en densidades altas.

Los resultados obtenidos en la presente investigación constituyen el primer estudio sobre la respuesta funcional de *Typhlodromalus* sp., especie de Phytoseiidae que ocurre naturalmente en campos de rosa en Cevallos, por lo que otros estudios deberían ser hechos para determinar el efecto de otros factores que pudieran influir en la capacidad de depredación de esta especie. Puesto que, de acuerdo con Merlin et al. (2022), la respuesta funcional de los ácaros depredadores es afectada por varios factores bióticos, como la planta hospedante y la calidad de la presa, los cuales pueden

llegar a ser difíciles de determinar puesto que hasta la fecha estos factores han sido poco estudiados. Así, estos autores encontraron que la planta hospedante puede afectar drásticamente la calidad de la presa y así interferir en la tasa de ataque de los depredadores, lo que a su vez puede determinar el tipo de respuesta funcional e influenciar el tipo de cría y uso de ácaros depredadores en el control biológico aplicado.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

La tasa de ataque (a) de *Typhlodromalus* sp. sobre diferentes densidades de los huevos de *T. urticae*, definida como el número de presas de las cuales el depredador se alimenta por unidad de tiempo, mostró ser inferior al valor observado para el ataque de las fases móviles (larvas y protoninfas).

Con relación al tiempo de manipulación (T_h), las hembras de *Typhlodromalus* sp. mostró tiempos que variaron desde 0,049 a 0,2125 h, lo que equivale a 2,94 a 12,75 min para alimentarse de un huevo o una fase móvil, respectivamente. Ambos parámetros, T_h y a, permiten concluir que esta especie de depredador pudo alimentarse de ambos estados de desarrollo de la presa, aun cuando mostró mayor habilidad para alimentarse de los huevos.

La tasa de consumo de *Typhlodromalus* sp. mostró una respuesta funcional tipo II o cuadrática, en la cual se observó un incremento ante los aumentos de la densidad de la presa, sea huevo o fase móvil, sin embargo, en ambos casos una vez alcanzado el nivel de saturación o saciedad del depredador, esta tendió a alcanzar un nivel máximo que fue de 11,2 huevos/hembra/día y 5,2 móviles/hembra/día.

Con base en los resultados, el depredador, *Typhlodromalus* sp. mostró una alta capacidad de consumo con tiempos de manipulación bajos y tasas de ataque altos, lo que permite sugerir que esta especie podría ser incluida en programas de manejo integrado, que incluyen el control biológico de *T. urticae* en plantaciones de rosa.

4.2. Recomendaciones

Se sugiere realizar estudios similares donde se evalúe, tanto el número de depredadores como la frecuencia de liberación en condiciones de campo, para de esa manera, lograr resultados más eficientes de control, minimizando el uso de productos agroquímicos de alta toxicidad y así evitar los daños al ambiente.

Con base en los resultados se recomienda continuar con los estudios de capacidad de depredación bajo condiciones de invernadero y campo abierto con el fin de validar los resultados obtenidos en la fase de laboratorio, de manera de establecer programas de control biológico, usando especies de depredadores nativos, los cuales están más adaptados a las condiciones ambientales de la zona y, por lo tanto, podrían mostrar mayor eficiencia en el control.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahn, J. J., Kim, K. W., & Lee, J. H. (2010). Functional response of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on strawberry leaves. *Journal of Applied Entomology*, 134(2), 98–104. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2009.01440.x>
- Attia, S., Grissa, K. L., Lognay, G., Bitume, E., Hance, T., & Mailleux, A. C. (2013). A review of the major biological approaches to control the worldwide pest *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) with special reference to natural pesticides: Biological approaches to control *Tetranychus urticae*. *Journal of Pest Science*, 86(3), 361–386. <https://doi.org/10.1007/s10340-013-0503-0>
- Badii, M. H., Landeros, J., Rodríguez, H., Cerna, E., Valenzuela, J., & Ochoa, Y. (2013). Algunos Aspectos de Depredación Some Aspects of Predation. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 8(1), 148–158.
- Bazgir F., Shakaramia, J. y Jafari, S. (2020) Functional response of the predatory mite *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae) to *Eotetranychus frosti* (Tetranychidae) and *Cenopalpus irani* (Tenuipalpidae). *Acarologia* 60(1), 30-39; DOI: <https://doi.org/10.24349/acarologia/20204359>.
- Bazgir F., Shakaramia, J. y Jafari, S. (2020). Functional response of the predatory mite *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae) to *Eotetranychus frosti* (Tetranychidae) and *Cenopalpus irani* (Tenuipalpidae). *Acarologia* 60 (1), 30-39; DOI <https://doi.org/10.24349/acarologia/20204359>
- Bruzzone, O. A., Aguirre, M. B., Hill, J. G., Virla, E. G., & Logarzo, G. (2022). Revisiting the influence of learning in predator functional response, how it can lead to shapes different from type III. *Ecology and Evolution*, 12(2), 1–12. <https://doi.org/10.1002/ece3.8593>
- Chacón-Hernández, J. C., Cerna-Chávez, E., Reyes-Zepeda, F., Gaona-García, G., Rocandio-Rodríguez, M., & Landeros-Flores, J. (2017). Respuesta Funcional de *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot sobre cuatro estados de desarrollo de *Tetranychus urticae* Koch sobre discos de rosal. *Southwestern Entomologist*,

42(2), 485–492. <https://doi.org/10.3958/059.042.0218>

- Coblentz, K.E. y DeLong, J.P. (2020). Predator-dependent functional responses alter the coexistence and indirect effects among prey that share a predator. *Oikos* 129, 1.404-1.414. doi: <https://doi.org/10.1111/oik.07309>
- Demite, P. R., Mcurtry, J. A., & De Moraes, G. J. (2014). Phytoseiidae database: A website for taxonomic and distributional information on phytoseiid mites (Acari). *Zootaxa*, 3795(5), 571–577. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3795.5.6>
- Döker, I., Kazak, C., & Karut, K. (2016). Functional response and fecundity of a native *Neoseiulus californicus* population to *Tetranychus urticae* (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae) at extreme humidity conditions¹. *Systematic and Applied Acarology*, 21(11), 1463–1472. <https://doi.org/10.11158/saa.21.11.3>
- Dunn, R. P., & Hovel, K. A. (2020). Predator type influences the frequency of functional responses to prey in marine habitats. *Biology Letters*, 16(1). <https://doi.org/10.1098/rsbl.2019.0758>
- Fang, X., Lu, H., Ouyang, G., Xia, Y., Guo, M., & Wu, W. (2013). Effectiveness of two predatory mite species (Acari: Phytoseiidae) in controlling *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). *Florida Entomologist*, 96(4), 1325–1333. <https://doi.org/10.1653/024.096.0411>
- Fantinou, A. A., Baxevani, A., Drizou, F., Labropoulos, P., Perdikis, D., & Papadoulis, G. (2012). Consumption rate, functional response and preference of the predaceous mite *Iphiseius degenerans* to *Tetranychus urticae* and *Eutetranychus orientalis*. *Experimental and Applied Acarology*, 58(2), 133–144. <https://doi.org/10.1007/s10493-012-9557-6>
- Fathipour, Y., & Maleknia, B. (2016). Mite Predators. In *Ecofriendly Pest Management for Food Security*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803265-7.00011-7>
- Fathipour, Y., Karimi, M., Farazmand, A., & Talebi, A. A. (2018). Age-specific functional response and predation capacity of *Phytoseiulus persimilis*

(Phytoseiidae) on the two-spotted spider mite. *Acarologia*, 58(1), 31–40.
<https://doi.org/10.24349/acarologia/20184225>

Fernández Arhex, V., y Corley, J. C. (2004). La respuesta funcional: una revisión y guía experimental. *Ecología Austral* 14:000-000.
https://www.researchgate.net/publication/317539755_La_respuesta_funcional_una_revision_y_guia_experimental

Fernández-Arhex, V. y Corley, J. C. (2003). The functional response of parasitoids and its implications for biological control. *Biocontrol Science and Technology*, 13(4), 403-413. <https://doi.org/10.1080/0958315031000104523>

Gallardo, A., Vásquez, C., Morales, J., & Gallardo, J. (2005). Biología y enemigos naturales de *Tetranychus urticae* en pimentón. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 74, 34-40.

Gerson, U. y Weintraub, P.G. (2012). Mites (Acari) as a factor in greenhouse management. *Annual Review of Entomology*, 57, 229–247.
<https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120710-100639>

Gigon, V., Camps, C. y Le Corff, J. (2016). Biological control of *Tetranychus urticae* by *Phytoseiulus macropilis* and *Macrolophus pygmaeus* in tomato greenhouses. *Experimental and Applied Acarology*, 68(1), 55-70.
<https://doi.org/10.1007/s10493-015-9976-2>

Golizadeh, A., Ghavidel, S., Razmjou, J., Fathi, S.A.A. y Hassanpour, M. (2017). Comparative life table analysis of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) on ten rose cultivars. *Acarologia*, 57(3), 607-616.
<https://doi.org/10.24349/acarologia/20174176>

Hernández-Sampieri, R; Fernández-Collado, C; Baptista-Lucio, P. 2014. Metodología de la Investigación. Sexta. Ciudad de México, McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A.

Holling, C.S. (1959a). Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *The Canadian Entomologist*, 91(7), 385-398.

<https://doi.org/https://doi.org/10.4039/Ent91385-7>

- Holling, C.S. (1959b). The components of predation as revealed by a study of small-mammal predation of the european pine sawfly. *The Canadian Entomologist*, 91, 293–320. <https://doi.org/10.4039/Ent91385-7>
- Holling, C. S. (1965). The functional response of predators to prey density and its role in mimicry and population regulation. *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, 97(S45), 5-60. <https://doi.org/10.4039/entm9745fv>
- Holling, C. S. (1966). The functional response of invertebrate predators to prey density. *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, 98(S48), 5-86. <https://doi.org/10.4039/entm9848fv>
- Hoque, M. F., Islam, M. W. y Khalequzzaman, M. (2010). Functional response of *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot to *Tetranychus urticae* Koch: effects of prey life stages and temperature. *University Journal of Zoology, Rajshahi University*, 29, 1-8. <https://doi.org/10.3329/ujzru.v29i1.9458>
- Jafarian F., Jafari, S. y Fathipour, Y. (2022). Functional response of the predatory mite, *Typhlodromus bagdasarjani* (Acari: Phytoseiidae) to protonymphs of *Eotetranychus frosti* (Acari: Tetranychidae) on four apple cultivars. *Acarologia* 62(2), 454-464. <https://doi.org/10.24349/7ejy-uk7s>
- Jeschke, J. M., Laforsch, C., Diel, P., Diller, J. G. P., Horstmann, M. y Tollrian, R. (2022). Predation. In T. Mehner & K. Tockner (Eds.), *Encyclopedia of Inland Waters. Second Edition* (pp. 207-221). Elsevier.
- Koen-Alonso, M. (2007). A process-oriented approach to the multispecies functional response. *From Energetics to Ecosystems: The Dynamics and Structure of Ecological Systems*, 1–36. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5337-5_1
- Majid, U. 2018. Research Fundamentals: study design, population, and sample size. *Undergraduate Research in Natural and Clinical Science and Technology (URNCSST) Journal* 2(1), 1-7. DOI: <https://doi.org/10.26685/urncst.16>
- McMurtry, J.A., De Moraes, G.J., & Sourassou, N.F. (2013). Revision of the lifestyles

of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) and implications for biological control strategies. *Systematic and Applied Acarology*, 18(4), 297-320. <https://doi.org/10.11158/saa.18.4.1>

McMurtry, J.A., Sourassou, N.F., & Demite, P.R. (2015). Prospects for biological control of plant feeding mites and other harmful organisms. In D. Carrillo, G. J. de Moraes, & J. E. Peña (Eds.), *Prospects for Biological Control of Plant Feeding Mites and Other Harmful Organisms* (pp. 133-149). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-15042-0>

Mendoza, D., Dobronski, J., Vásquez, C., Frutos, V. y Paredes, S. (2018). Control de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) con *Bacillus subtilis* en hojas de fresa (*Fragancia vesca*). *Agronomía Costarricense*, 43(1), 125-133. <https://doi.org/10.15517/rac.v43i1.35676>

Mondal, M. y Ara, N. (2006). Biology and fecundity of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch. (Acari: Tetranychidae) under laboratory condition. *Journal of Life and Earth Science*, 1(2), 43-47. <http://web1.ru.ac.bd/flife/7.pdf>

Muimba-Kankolongo, A. (2018) Food Crop Production by Smallholder Farmers in Southern Africa Challenges and Opportunities for Improvement. Academic Press, Londres, Reino Unido. 382 pp.

Osman, M. y Tawfik, A. (2010). Functional Response of *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot to the two-spotted spider mite different stages (Acari: Tetranychidae). *Acarines: Journal of the Egyptian Society of Acarology*, 4(1), 57-61. <https://doi.org/10.21608/ajesa.2021.163538>

Patel, K. y Zhang, Z.Q. (2017). Functional and numerical responses of *Amblydromalus limonicus* and *Neoseiulus cucumeris* to eggs and first instar nymph of tomato/potato psyllid (*Bactericera cockerelli*). *Systematic and Applied Acarology*, 22(9), 1476-1488. <https://doi.org/10.11158/saa.22.9.12>

Pazmiño, P., Lema, G., Mendoza, D., Velástegui, G. y Vásquez, C. (2018). Parámetros biológicos de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) alimentados sobre dos cultivares de fresa en Ecuador. *Bioagro* 30(3), 229-234.

- Pereira de Sousa Neto, E., Filgueiras, R.M.C., Mendes, J.A. y Melo, J.W.D.S. (2019). Functional and numerical responses of *Neoseiulus idaeus* and *Neoseiulus californicus* to eggs of *Tetranychus urticae*. *International Journal of Acarology*, 45(6–7), 395-398. <https://doi.org/10.1080/01647954.2019.1638965>
- Pervez, A. y Omkar. (2005). Functional responses of coccinellid predators: An illustration of a logistic approach. *Journal of Insect Science*, 5(5), 1-6.
- Rafizadeh Afshar, F. y Latifi, M. (2017). Functional response and predation rate of *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae) at three constant temperatures. *Persian Journal of Acarology*, 6(4), 299-314.
- Rahmani Piyani, A., Shishehbor, P., Kocheili, F. y W, E. (2021). Functional and numerical responses of the predator *Amblyseius swirskii* to its prey *Tetranychus turkestanii* in the laboratory. *Acarología*, 61(4), 901-909. <https://doi.org/https://doi.org/10.24349/r82w-YLJ1>
- Silva, E., Reis, P., Carvalho, T. y Altoé, B. (2009). *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on *Gerbera jamesonii* Bolus and Hook (Asteraceae). *Brazilian Journal of Biology*, 69(4), 1121-1125. <https://doi.org/10.1590/s1519-69842009000500016>
- Solomon, M.E. (1949). The Natural Control of Animal Populations. *The Journal of Animal Ecology*, 18(1), 1. <https://doi.org/10.2307/1578>
- Song, Z.W., Zheng, Y., Zhang, B.X. y Li, D.S. (2016). Prey consumption and functional response of *Neoseiulus californicus* and *Neoseiulus longispinosus* (acari: Phytoseiidae) on *Tetranychus urticae* and *Tetranychus kanzawai* (Acari: Tetranychidae). *Systematic and Applied Acarology*, 21(7), 936-946. <https://doi.org/10.11158/saa.21.7.7>
- Souza-Pimentel, G.C., Reis, P.R., Bonatto, C.R., Alves, J.P. y Siqueira, M.F. (2017). Reproductive parameters of *Phytoseiulus macropilis* (Banks) fed with *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae) in laboratory. *Brazilian Journal of Biology*, 77(1), 162-169.

- Sugawara, R., Ullah, M.S., Ho, C. y Gotoh, T. (2018). Impact of temperature-mediated functional responses of *Neoseiulus womersleyi* and *N. longispinosus* (Acari: Phytoseiidae) on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Biological Control* 126, 26-35 <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.07.010>
- Tello Mercado, V.E., Zarzar Maza, M.E. y Suarez Pantoja, A.M. (2017). Functional response of *Cydnodromus picanus* (Acari: Phytoseiidae) on two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Acta Agronomica*, 66(2), 275-281. <https://doi.org/10.15446/acag.v66n2.55054>
- Van Leeuwen, T., Vontas, J., Tsagkarakou, A., Dermauw, W. y Tirry, L. (2010). Acaricide resistance mechanisms in the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* and other important Acari: A review. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 40(8), 563-572. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2010.05.008>
- Viteri Jumbo, L.O., Teodoro, A.V., Rêgo, A.S., Haddi, K., Galvão, A.S. y de Oliveira, E.E. (2019). The lacewing *Ceraeochrysa caligata* as a potential biological agent for controlling the red palm mite *Raoiella indica*. *PeerJ*, 2019(6), 1-18. <https://doi.org/10.7717/peerj.7123>
- Xiao, Y. y Fadamiro, H.Y. (2010). Functional responses and prey-stage preferences of three species of predacious mites (Acari: Phytoseiidae) on citrus red mite, *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae). *Biological Control*, 53(3), 345-352. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2010.03.001>
- Xiao, Y., Osborne, L. S., Chen, J. y McKenzie, C.L. (2013). Functional responses and prey-stage preferences of a predatory gall midge and two predacious mites with twospotted spider mites, *Tetranychus urticae*, as host. *Journal of Insect Science*, 13(8), 1-12. <https://doi.org/10.1673/031.013.0801>.
- Xiao, Y., Osborne, L.S., Chen, J. y Mckenzie, C.L. (2013). Functional responses and prey-stage preferences of a predatory gall midge and two predacious mites with twospotted spider mites, *Tetranychus urticae*, as host. *Journal of Insect Science* 13(8), 1-12.
- Zhu, R., Guo, J.-J., Yi, T.-C., Xiao, R., & Jin, D. (2019). Functional and numerical

responses of *Neoseiulus californicus* (McGregor) to eggs and nymphs of *Oulenziella bakeri* and *Tetranychus urticae*. *Systematic and Applied Acarology*, 24(7), 1225-1235. <https://doi.org/10.11158/saa.24.7.7>.

ANEXOS

Statistix 10,0
16/8/2022; 18:04:46

Completely Randomized AOV for HuevCons

Source	DF	SS	MS	F	P
HuevOfre	4	256,640	64,1600	29,98	0,0000
Error	20	42,800	2,1400		
Total	24	299,440			

Grand Mean 7,3200 CV 19,98

Homogeneity of Variances	F	P
Levene's Test	2,28	0,0970
O'Brien's Test	1,67	0,1960
Brown and Forsythe Test	0,82	0,5263

Welch's Test for Mean Differences

Source	DF	F	P
HuevOfre	4,0	40,48	0,0000
Error	9,8		

Component of variance for between groups 12,4040
Effective cell size 5,0

HuevOfre	Mean
5	2,800
10	4,400
20	8,400
30	9,800
40	11,200
Observations per Mean	5
Standard Error of a Mean	0,6542
Std Error (Diff of 2 Means)	0,9252

Statistix 10,0
16/8/2022; 18:05:09

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of HuevCons by HuevOfre

HuevOfre	Mean	Homogeneous Groups
40	11,200	A
30	9,8000	A
20	8,4000	A
10	4,4000	B
5	2,8000	B

Alpha 0,01 Standard Error for Comparison 0,9252
Critical Q Value 5,265 Critical Value for Comparison 3,4445
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

Statistix 10,0
16/8/2022; 18:06:26

Completely Randomized AOV for MovConsum

Source	DF	SS	MS	F	P
MovOfrec	4	53,4400	13,3600	33,40	0,0000
Error	20	8,0000	0,4000		
Total	24	61,4400			

Grand Mean 2,6800 CV 23,60

Homogeneity of Variances		F	P
Levene's Test		2,09	0,1197
O'Brien's Test		1,54	0,2295
Brown and Forsythe Test		1,25	0,3221

Welch's Test for Mean Differences

Source	DF	F	P
MovOfrec	4,0	M	M
Error	M		

Component of variance for between groups 2,59200
Effective cell size 5,0

MovOfrec	Mean
1	1,0000
2	1,6000
4	2,4000
8	3,2000
16	5,2000
Observations per Mean	5
Standard Error of a Mean	0,2828
Std Error (Diff of 2 Means)	0,4000

Statistix 10,0
16/8/2022; 18:06:43

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of MovConsum by MovOfrec

MovOfrec	Mean	Homogeneous Groups
16	5,2000	A
8	3,2000	B
4	2,4000	BC
2	1,6000	C
1	1,0000	C

Alpha 0,01 Standard Error for Comparison 0,4000
Critical Q Value 5,265 Critical Value for Comparison 1,4892
There are 3 groups (A, B, etc.) in which the means
are not significantly different from one another.