

**INTERACCIÓN ENTRE *Phytoseiulus Persimilis* (Athias-Henriot) (ACARI:  
PHYTOSEIIDAE) Y *Tetranychus urticae* (Koch) ACARINA: TETRANYCHIDAE)  
EN CULTIVOS DE ROSAL**

**JULIO CÉSAR CHACÓN HERNÁNDEZ**

**TESIS**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS EN

PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**

**ANTONIO NARRO**



Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre de 2014.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

“INTERACCIÓN ENTRE *Phytoseiulus Persimilis* (ATHIAS-HENRIOT) (ACARI:  
PHYTOSEIIDAE) Y *Tetranychus urticae* (KOCH) ACARINA: TETRANYCHIDAE)  
EN CULTIVOS DE ROSAL”

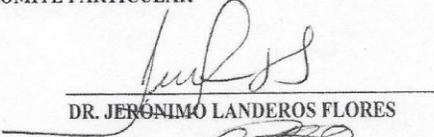
TESIS

JULIO CÉSAR CHACÓN HERNÁNDEZ

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y Aprobada como  
requisito parcial para optar al grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA  
COMITÉ PARTICULAR

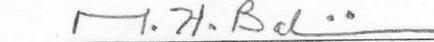
Asesor Principal:

  
DR. JERÓNIMO LANDEROS FLORES

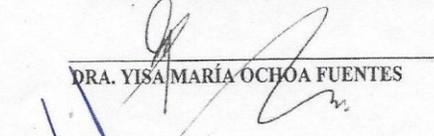
Asesor:

  
DR. ERNESTO CERNA CHÁVEZ

Asesor:

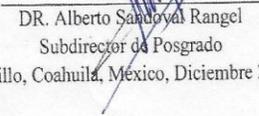
  
DR. MOHAMMAD HOSEIN BADI ZABEH

Asesor:

  
DRA. YISA MARÍA OCHOA FUENTES

Asesor:

  
DR. LEOBARDO BAÑUELOS HERRERA

  
DR. Alberto Sandoval Rangel  
Subdirector de Posgrado  
Saltillo, Coahuila, México, Diciembre 2014

## *AGRADECIMIENTOS*

*Mi agradecimiento más infinito a Dios por haberme dado la oportunidad de existir. Con el solo hecho de darme la vida, me ha dado el privilegio de conocer muchas cosas que con su sabiduría he disfrutado. Doy gracias por todo por lo bueno y lo malo que he vivido, porque gracias a ello estoy aquí, dispuesto a seguir luchando y espero llegar muy lejos, si Dios me lo permite.*

*A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por cobijarme con su sabiduría, por haberme permitido ser parte de ti y sobre todo por formar de mí un profesionalista capaz de salir adelante en este mundo y universo.*

*Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado durante mi estancia en el doctorado.*

*Al Departamento de Parasitología Agrícola por haberme acogido tres años más durante mis estudios doctorales. En especial a los maestros que integran el cuerpo docente de este gran departamento, a todos y cada uno de ellos que contribuyeron en mi formación brindándome sus conocimientos y enseñanzas.*

### *A mi cuerpo de asesores*

*Al Dr. Jerónimo Landeros Flores, por el tiempo, dedicación y conocimientos proporcionados durante el doctorado y realización de esta investigación.*

*Al Dr. Ernesto Cerna Chávez, por otorgarme su amistad, por lo consejos y colaboración en mi formación profesional.*

*Al Dr. Leobardo Bañuelos Herrera, por sus enseñanzas y aportaciones para que se realizara esta investigación.*

*Al Dr. Mohammad Badii, por sus enseñanzas y aportaciones para que se realizara esta investigación.*

*A la Dra. Yisa Ma. Ochoa Fuentes, por sus enseñanzas y aportaciones para que se realizara esta investigación.*

*A mis compañeros y amigos, Chava, Sandino, José Manuel, Juan Gonzales, Ali, Pifas, Agustín, Omegar, Mayo, Aidé, Los Güeros (Esmeralda, Julia y Roberto), Ivonne, Irvin, Iñaky, a todos ellos por los momentos especiales que pasamos juntos dentro de esta gran institución y fuera de ella. ¿DE DONDE SERA MAMA?.*

## *DEDICATORIA*

### *A MI PADRE*

*HECTOR MANUEL CHACÓN ELORZA*

*Quien con sacrificio y dedicación, supo de hacer de mi una persona de bien y de provecho, por enseñarme a enfrentar la vida a como se presente, por llevar a mi vida, sueños, alegrías e ilusiones, por ser la inspiración más preciada en mi vida, “TE AMO PAPA”.*

### *A MI MADRE*

*SIVIA HERNÁNDEZ GAITAN*

*Quien con amor, ternura y consejos supo educarme para lograr todos mis objetivos y metas. “TE AMO MAMA”*

### *A MI ESPOSA JUANA MARÍA ALMANZA MEZA*

*Por ser el amor de mi vida. Gracias por estar en los buenos y malos momentos, por amarme, por apoyarme durante todo este tiempo. “TE AMO”.*

### *A MIS PRINCESAS*

*JULIA NOHEMÍ, MIRIAM Y ANDREA,*

*Con todo mi amor. Por ser el motor de mi vida. Siempre luchan por sus sueños. “LAS AMO”*

### *A MI HERMANO*

*VICTOR MANUEL*

*Gracias por el cariño y apoyo que siempre me has dado.*

**COMPENDIO**

**INTERACCIÓN ENTRE *Phytoseiulus Persimilis* (Athias-Henriot) (ACARI:  
PHYTOSEIIDAE) Y *Tetranychus urticae* (Koch) ACARINA: TETRANYCHIDAE)  
EN CULTIVOS DE ROSAL**

**POR:**

**JULIO CÉSAR CHACÓN HERNÁNDEZ**

**DOCTORADO EN CIENCIAS**

**PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. NOVIEMBRE 2014.**

**Dr. Jerónimo Landeros Flores -Asesor-**

**Palabras clave:** Depredación, dinámica, control biológico, distribución.

El presente trabajo de investigación se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila, México, en el invernadero y en los laboratorios del

Departamento de Parasitología Agrícola durante el periodo de Enero 2011 a Diciembre de 2013.

Teniendo como objetivo estudiar la interacción entre *Phytoseiulus persimilis* y *Tetranychus urticae*, así como el comportamiento poblacional de ambas especies sobre nueve variedades de rosal: 1.- Ojo de toro, 2.- Virginia, 3.- Selena, 4.- Visión, 5.- Red Baiser, 6.- Samuray, 7.- Royal, 8.- Keiro, y 9.- Anastasia.

La colonia de la presa se estableció en plantas de frijol pinto a una temperatura  $27 \pm 2^\circ\text{C}$  con 60-70% HR. La cría de ácaros depredadores se desarrolló a partir de colonias iniciales obtenidas de la empresa Koppert, S.A. de C.V., la cría y multiplicación de los depredadores se realizó en cilindros de acuerdo a Fournier, *et al.* (1985) utilizando plantas de frijol infestadas de *T. urticae* a temperatura de  $27 \pm 2^\circ\text{C}$  con 60% HR.

Los experimentos de la respuesta funcional se evaluaron en una cámara bioclimática mediante la técnica de hoja arena (Ahmadi 1983) a una temperatura  $27 \pm 2^\circ\text{C}$  con 60-70% HR. Se utilizaron discos de hoja de rosal variedad Royal (*Rosa* sp).

Los datos de depredación (Respuesta funcional) se analizaron mediante el análisis de varianza y prueba de separación de medias de múltiple rango de Tukey a ( $P \leq 0.05$ ). Cuatro modelos fueron utilizados para determinar la respuesta funcional: Holling (1966), Fan y Petitt (1994), Rogers (1972) y Livdahl y Stiven (1983). Se utilizaron seis criterios de selección para la comparación de los modelos:  $\bar{R}^2$  *ajustada* (Sokal and Rohlf 2012),

Cp (Mallows 1973), AIC (Akaike 1973), SBIC (Schwarz 1978), PC (Amemiya 1980 )  
AIC, sesgo corregido (Hurvich y Tsai 1989).

Los datos se ajustan a una respuesta funcional de tipo II. El depredador alcanzó niveles de saciedad en promedio de 52.67, 49.13, 42.20 y 23.67 presas por día para huevo, larva, ninfa y adulto, respectivamente. Para el caso de larva y ninfa el modelo de tiempo continuo (Holling) fue el que mejor representó el conjunto de datos al ofrecer menor SCE, y con respecto al estadio de huevo y adulto el modelo de tiempo discreto (Rogers) fue el que mayor ajuste obtuvo a los datos. Lo anterior es avalado por los criterios AIC, SBIC, AICc y PC. Mediante los seis criterios de selección el modelo de Livdahl y Stiven fue el que presentó mayor ajuste a los datos para los cuatro estados de desarrollo.

La segunda etapa del experimento, fue estudiar la interacción entre *P. persimilis* y *T. urticae* sobre variedades de rosal. Esto se llevo a cabo bajo condiciones de invernadero en una cama de siembra de 60cm x 9m; dende se utilizaron las misma variedades de rosal que del experimento.

Al inicio del experimento se sembraron 10 plantas por variedad a una distancia de 10 cm a una temperatura de  $24 \pm 4^\circ\text{C}$  y  $60 \pm 10\%$  de H.R. Se fertilizaron semanalmente por un periodo de 101 semanas, con  $\text{KNO}_3$  (36.1010 g),  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (35.1612 g) y  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  (13.7478 g). 25 días antes de la infestación se aplicó Dibrol® 2.5 CE (1mL/L de agua) para evitar la presencia de otras insectos comunes en este cultivo. Posteriormente se realizó una infestación inducida y una semana después se realizó un

muestreo y se registro el número de huevos, larvas ninfas y adultos presentes, en una semana después de la infestación se realizó la liberación de *P. persimilis* bajo una relación depredador presa de 1:40. Después de la liberación, las evaluaciones se realizaron semanalmente con ayuda de un microscopio portátil de 30X.

Se realizaron ANVA para analizar la población inicial de *T. urticae*, determinar la preferencia de oviposición y ubicación (en la planta) de algún estado de la plaga, así como el movimiento del depredador en busca de su presa.

Los resultados del análisis de varianza de una vía, de la población inicial arrojaron diferencias significativas entre estados de desarrollo. La oviposición del ácaro de dos manchas tuvo preferencia por algún estrato según la variedad de rosal, ya que el análisis de varianza de dos vías arrojó diferencias significativas en la interacción. La población del estado larval no presentó preferencia por algún estrato según la variedad. Mientras que la población del estado de ninfa si mostro preferencia. La población del estado adulto de *T. urticae* no reflejo diferencias significativas en la interacción entre los estratos y variedades.

El análisis de varianza de tres vías para la población de *T. urticae* y *P. persimilis* arrojaron diferencias significativas en los factores y sus interacciones, es decir, por un lado la poblacional de *T. urticae* depende de la relación que existe entre los estados de desarrollo, las variedades de rosal y el tiempo (semanas) que duró el estudio; a su vez esta relación influye sobre la población del depredador.

A su vez se realizó el estudio de distribución espacial y fluctuación poblacional de *Tetranychus urticae* y *Phytoseiulus persimilis* en cuatro variedades de rosal Royal, Samuray, Red Baiser y Keiro bajo condiciones de invernadero. Se realizaron 9 muestreos para la plaga y 8 para el depredador. Del 20 de Septiembre al 18 de noviembre del 2013. *T. urticae* y *P. persimilis* presentaron una distribución agregada en la mayoría de las fechas de muestreo. Se observó un comportamiento sincrónico entre el depredador y su presa en las variedades Royal, Red Baiser y Keiro, aunque solo en los cultivares Royal y Samuray presentaron una correlación significativa ( $r = -0.68$ ,  $P < 0.05$ ;  $r = 0.69$ ,  $P < 0.05$ , respectivamente).

Por último se evaluó la eficiencia del depredador *Pselliopus latispina* sobre hembras de *T. urticae* usando la respuesta funcional a diferentes densidades de ácaros. Los ácaros fueron expuestos en cajas Petri bajo condiciones controladas en laboratorio durante 24 horas. El depredador consumió un promedio de 56.3 individuos de 64 hembras adultas de *T. urticae*, con una respuesta funcional tipo II según el modelo de Holling, una tasa instantánea de descubrimiento ( $a'$ ) de 1.0597 y una tasa de manipulación ( $Th$ ) de 0.00442. Estos resultados indican que *P. latispina* es un depredador con amplia perspectiva que se puede utilizar en diferentes cultivos.

## ÍNDICE GENERAL

|                                      | Pagina |
|--------------------------------------|--------|
| <b>ÍNDICE GENERAL</b> .....          | xi     |
| <b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....       | xiv    |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....       | xvi    |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....            | 1      |
| <b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....  | 4      |
| Producción de rosal.....             | 4      |
| Plagas.....                          | 7      |
| <i>Tetranychus urticae</i> .....     | 7      |
| Daño.....                            | 7      |
| Biología.....                        | 9      |
| Control Biológico.....               | 12     |
| <i>Phytoseiulus persimilis</i> ..... | 14     |
| Importancia.....                     | 15     |
| Reproducción y biología.....         | 15     |
| Hábitos alimenticios.....            | 18     |
| Dispersión y búsqueda.....           | 18     |
| Métodos de Liberación.....           | 20     |
| Respuesta Funcional.....             | 21     |

|  |     |
|--|-----|
| Criterios de Selección para el mejor modelo.....   | 24  |
| Distribución espacial.....   | 26  |
| <b>ARTICULO CIENTIFICO I</b>   |     |
| COMPARACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS: UNA HERRAMIENTA PARA EVALUAR LA RESPUESTA FUNCIONAL DE <i>Phytoseiulus persimilis</i> ATHIAS-HENRIOT (ACARI: PHYTOSEIIDAE) SOBRE <i>Tetranychus urticae</i> KOCH (ACARI: TETRANYCHIDAE)..... | 30  |
| <b>ARTICULO CIENTIFICO II</b>  |     |
| INTERACCIÓN ENTRE <i>Phytoseiulus Persimilis</i> (ATHIAS-HENRIOT) (ACARI: PHYTOSEIIDAE) Y <i>Tetranychus urticae</i> (KOCH) ACARINA: TETRANYCHIDAE) EN CULTIVOS DE ROSAL.....  | 58  |
| <b>ARTICULO CIENTIFICO III</b>   |     |
| DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y FLUCTUACIÓN POBLACIONAL DE <i>Tetranychus urticae</i> (KOCH) Y <i>Phytoseiulus persimilis</i> (ATHIAS-HENRIOT) EN CULTIVOS DE ROSAL.....   | 82  |
| <b>ARTICULO CIENTIFICO IV</b>  |     |
| EFICIENCIA DEPREDADORA DE <i>Pselliopus latispina</i> (HEMÍPTERA: REDUVIIDAE) SOBRE <i>Tetranychus urticae</i> (ACARI: TETRANYCHIDAE).....   | 98  |
| <b>CONCLUSIONES GENERALES</b> .....  | 105 |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| <b>LITERATURA CITADA .....</b> | <b>107</b> |
|--------------------------------|------------|

## ÍNDICE DE CUADRO

| Figura |  | Página |
|--------|--|--------|
| 1      | Criterios y reglas de decisión para la selección del mejor modelo (García-Olaverri, 1996).....   | 25     |
| 2      | Modelos de respuesta funcional de tipo II Lineales y No Lineales....   | 52     |
| 3      | Criterios y reglas de decisión para la selección del mejor modelo (Holling, Fan y Petitt, Rogers y Livdahl y Stiven).....                    | 53     |
| 4      | Resultados de la regresión lineal de log-transformado del modelo general de la respuesta funcional (Real 1977, 1979).....                    | 54     |
| 5      | Resultados del análisis de mínimos cuadrados no lineal y los criterios de selección de las respuestas funcionales.....                       | 55     |
| 6      | Presas Consumidas por <i>P. persimilis</i> y presas estimadas por los cuatro modelos, y parámetros de la respuesta funcional.....            | 56     |
| 7      | Promedio de la población de los cuatro estados de desarrollo de <i>T. urticae</i> de la primera semana en las nueve variedades de rosal..... | 76     |
| 8      | Análisis de varianza de dos vías para la población cero de <i>T. urticae</i>   | 77     |
| 9      | Análisis de varianza de la población de <i>T. urticae</i> y <i>P. persimilis</i> sobre nueve variedades de rosal.....                        | 78     |
| 10     | Promedio poblacional de <i>Tetranychus urticae</i> y <i>P. persimilis</i> en nueve variedades de rosal.....                                  | 79     |
| 11     | Total de la poblacional de <i>Tetranychus urticae</i> en nueve variedades de rosal.....  | 80     |
| 12     | Total de la poblacional de <i>Phytoseiulus persimilis</i> en nueve variedades de rosal   | 81     |
| 13     | Índices de agregación de <i>Tetranychus urticae</i> en cuatro variedades de rosal.....   | 92     |

|    |  |     |
|----|--|-----|
| 14 | Poblacional obtenida de <i>Tetranychus urticae</i> en cuatro variedades de rosal.....                              | 93  |
| 15 | Índices de agregación de <i>Phytoseiulus persimilis</i> en cuatro variedades de rosal.....                         | 94  |
| 16 | Poblacional obtenida de <i>Phytoseiulus persimilis</i> en cuatro variedades de rosal.....                          | 95  |
| 17 | Parámetros de la Respuesta Funcional Registradas para <i>P. latispina</i> sobre Hembras de <i>T. urticae</i> ..... | 102 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura |  | Página |
|--------|--|--------|
| 1      | Estados Productores de Ornamentos en 2012.....   | 5      |
| 2      | Superficie de Ornamentos con Tecnificación de Riego y de Temporal en 2012.....   | 6      |
| 3      | Distribución del Valor de Producción de Ornamentos por Variedad..  | 6      |
| 4      | Los tres tipos de respuesta funcional más comunes.....   | 23     |
| 5      | Patrones Básicos de Disposición Especial.....  | 29     |
| 6      | Consumo de presas observadas y estimadas por <i>P. persimilis</i> sobre los cuatro estados de <i>T. urticae</i> . A: Huevo, B: Larva, C: Ninfa, D: Adulto..... | 57     |
| 7      | Fluctuación poblacional de <i>Tetranychus urticae</i> y <i>Phytoseiulus persimilis</i> en cuatro variedades de Rosal.....                                      | 97     |

## INTRODUCCIÓN

Las plantas ornamentales del género *Rosa* L. (Rosales: Rosaceae) se producen en todo el mundo e incluyendo algunos de los cultivos florícolas más populares (Chow et al., 2009). En el campo de la floricultura en México tiene un gran potencial, gracias a las favorables condiciones climáticas de algunas regiones para el desarrollo de la actividad y la cercanía geográfica con Estados Unidos, segundo consumidor de flores en el mundo (SAGARPA, 2008). En México ocupa el quinto sitio de importancia en la producción de ornamentales (Gómez, 2009 Citado por Arriaga et al., 2012).

Actualmente los Estados con mayor producción de flores de corte en el país son: Estado de México, Morelos, Puebla, Michoacán, Veracruz y otros en menor proporción. El estado de México es el principal productor de flores del país, y dentro de este se encuentra ubicado los municipios de Texcoco, Tenancingo, Villa Guerrero, entre otros (Gómez, 2010).

Cuatro entidades de veinticinco que registraron producción en 2012 concentraron el 87.2% del valor generado por esta actividad: Estado de México (3,652 mdp), Puebla (866 mdp), Morelos (453 mdp) y el Distrito Federal (229 mdp) (FND. 2014).

Uno de los principales problemas de tipo fitosanitarios que se presentan en un cultivo de rosas es el ácaro de dos manchas *Tetranychus urticae* a tal grado que es considerado como plaga primaria. Todas las formas móviles de estos ácaros se alimentan principalmente del envés de las hojas (Jeppson et al., 1975), atacan de forma individual cada célula introduciendo su estilete y succionando el contenido citoplasmático; simultáneamente pueden inyectar toxinas salivares (Krantz, 1978). Los síntomas causados van desde simples necrosis foliares hasta defoliaciones o muerte de las plantas; además pueden afectar el vigor, el crecimiento y la producción (Papaioannou-Souliotis, 1979; Tomczyk y Kropczynska, 1985; Aponte y Aponte, 1990; Tomczyk, et al. 1996). Menciona Landeros et al. (2004) que densidades entre 10 y 50 ácaros por hoja de rosa causan una reducción del largo de los tallos florales del 17% y 26%, respectivamente, cuando se comparan con plantas que no tienen presencia de ácaros fitófagos.

Las especies pertenecientes a la familia Phytoseiidae son depredadores efectivos, dentro de las cuales se encuentra *P. persimilis*, el cual es considerado un importante depredador de ácaros de la familia Tetranychidae, en especial de *T. urticae* (Gerson y Smiley 1990). Se han realizado estudios de este ácaro depredador sobre *T. urticae* sobre múltiples especies hospederas demostrando que es el controlador biológico más efectivo por su habilidad para reducir la supervivencia y reproducción de *T. urticae* (Zemek y Nachman 1998).

Sin embargo, la información referente a la interacción entre *Phytoseiulus persimilis* y *Tetranychus urticae* es escasa en cultivares de rosal, al menos en relación al efecto que existe en la interacción entre el depredador-persa-planta.

El presente trabajo pretende sentar las bases que permitan incrementar la información sobre la interacción entre *P. persimilis* sobre *T. urticae* en variedades de rosal, con respecto al tiempo de control, dispersión espacial.

Por lo anteriormente se plantearon como objetivos: 1. Mostrar la interacción entre el depredador *P. persimilis* sobre todos los estados de desarrollo de *T. urticae* sobre en cultivos de rosal. 2. Determinar el patrón de distribución espacial y la fluctuación poblacional de *T. urticae* y de su depredador *P. persimilis*, en cuatro variedades de rosal bajo condiciones de invernadero. 3. Comparar diferentes modelos matemáticos (Holling (1966), Roger (1972), Livdahl y Stiven (1983) y Fan y Pettit (1994) para evaluar su capacidad de ajuste para describir la respuesta funcional de *P. persimilis* sobre *T. urticae*.

## **REVISIÓN DE LITERATURA**

### **Producción de rosal**

Los ornamentos tienen gran importancia en el sector agrícola mexicano, debido al alto valor de la enorme variedad de flores de corte, follaje, plantas y árboles que son comercializados a nivel nacional e internacional.

Se estima que alrededor del 70% de la producción, distribución y consumo de flores y plantas se realiza en la zona centro del país y que los productores cuentan con superficies de 1 a 3 hectáreas, lo que limita la generación de economías de escala.

Cuatro entidades de veinticinco que registraron producción en 2012 concentraron el 87.2% del valor generado por esta actividad: Estado de México (3,652 mdp), Puebla (866 mdp), Morelos (453 mdp) y el Distrito Federal (229 mdp).

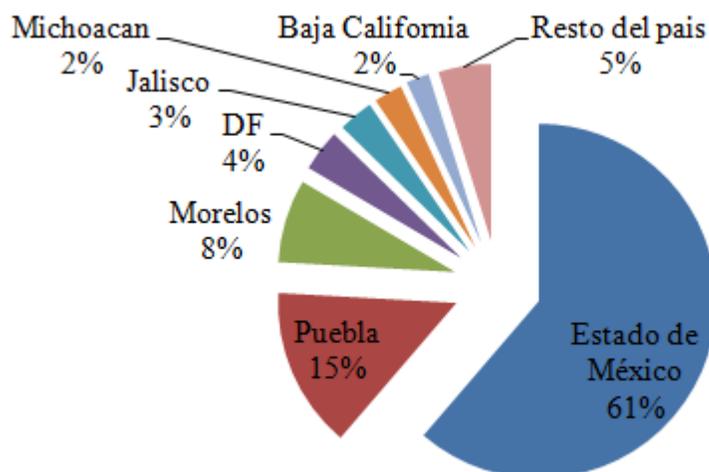


Figura 1. Estados Productores de Ornamentos en 2012.

Fuente: SIAP-SAGARPA (FND, 2014)

El 31.4% de la superficie sembrada se cultiva aún bajo temporal; en tanto el 68.6% cuenta con algún tipo de tecnificación de riego, principalmente la superficie dedicada a las flores de corte. Dentro de la extensa variedad de flores y plantas de ornato, destacan por su valor de producción: las rosas (1,480 mdp), crisantemos (1,079 mdp), gladiolas (824 mdp) y noche buenas (431 mdp), las cuales en conjunto generaron casi dos tercios del valor de los ornamentos en 2012.

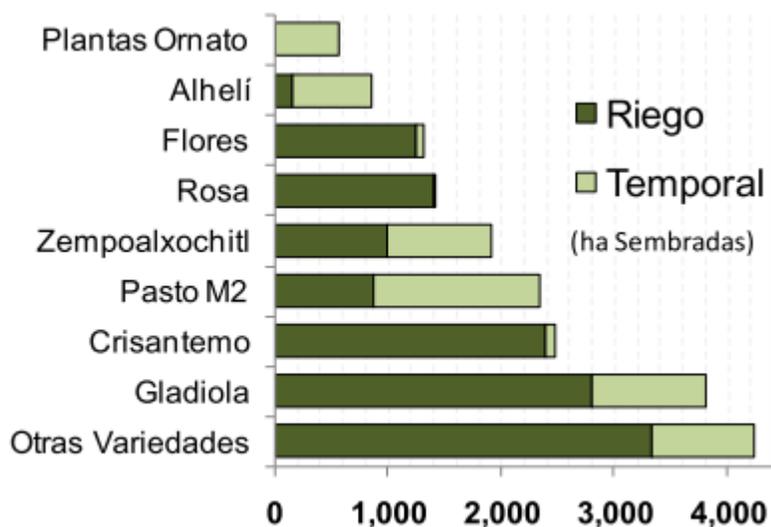


Figura 2. Superficie de Ornamentos con Tecnificación de Riego y de Temporal en 2012

Fuente: SIAP-SAGARPA (FND, 2014)

Mientras que las exportaciones corresponden en casi un 50% a flor de corte, en las importaciones, cerca del 80% es material de propagación como bulbos, esquejes, etc.

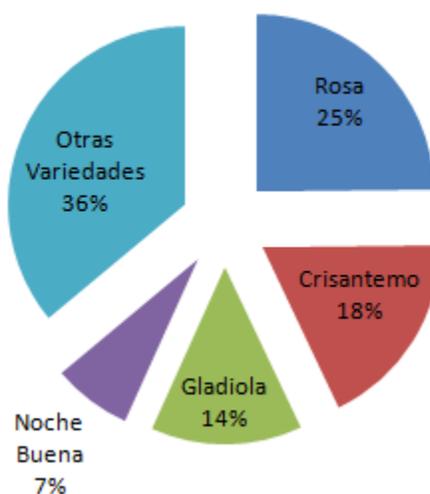


Figura 3. Distribución del Valor de Producción de Ornamentos por Variedad

Fuente: SIAP-SAGARPA (FND, 2014)

## **Plagas**

En muchas de las zonas donde se produce este ornamental se han observado pérdidas considerables en cantidad y calidad; que han provocado, además, incremento en los costos de producción y bajas posibilidades de exportación por el mal aspecto de la flor cortada y, por lo tanto, menos captación de recursos.

Existen seis grupos mayores de plagas foliares de plantas ornamentales: ácaros, gusanos cortadores, minadores, mosquitas blancas, pulgones y trips, entre los cuales los ácaros ocupan un lugar especial (Bautista et al., 2002).

### ***Tetranychus urticae* Koch**

La arañita roja, *Tetranychus urticae* Koch es una plaga en muchas especies de plantas en el mundo, incluyendo varios cultivos agrícolas y ornamentales, se le ha reportado en 180 especies de plantas en invernadero o en condiciones de campo (Kim et al., 2004). Su alto potencial reproductivo le permite incrementar la población rápidamente, de tal manera que en un corto tiempo puede rebasar el umbral económico si no se toman medidas de control pertinentes (Gould, 1987).

### **Daño**

*T. urticae*, se alimenta del contenido celular de las plantas, por lo cual ocasiona la reducción del contenido de clorofila y daño físico al mesófilo esponjoso y de

empalizada; además, se ha determinado que los tejidos afectados o estomas tienden a permanecer cerrados, lo que disminuye la tasa de transpiración (Hall y Ferree, 1975).

Se ha encontrado que los daños causados por los ácaros a las plantas debido a sus hábitos alimenticios, dependen generalmente de las condiciones del medio ambiente, del estado fisiológico de la planta y de la naturaleza de las sustancias inyectadas como toxinas o reguladores de crecimiento, los tetraníquidos al alimentarse introducen su estilete en el tejido vegetal provocando un daño mecánico que consiste en la remoción del contenido celular, los cloroplastos desaparecen y se aglutinan pequeñas cantidades de material celular coagulado, originando manchas de color ámbar (Jeppson *et al.*, 1975).

La araña roja desarrolla sus colonias en el envés de las hojas, los daños ocasionados por éstas se debe a que se alimentan de las células de la hoja. Se estima que cada individuo destruye alrededor de 20 células por minuto. Clavan sus quelíceros transformados en estiletos en la pared de una célula epidérmica hasta vaciarla total o parcialmente (Sadrás *et al.*, 1998).

El daño en general consiste en la remoción del contenido celular, quedando la célula prácticamente vacía con ligero contenido del material, el cual se seca para formar una masa color ámbar. Cuando hay pocos individuos sobre la superficie foliar, éstos causan daños aislados en las células, pero a medida que la población aumenta y la alimentación continúa, se incrementa el tamaño de las manchas cloróticas, hasta afectar

completamente la superficie foliar, causando necrosis y caída de hojas (Aponte y McMurtry, 1997).

### **Biología**

Los huevos de *T. urticae* miden en promedio entre 110 y 150  $\mu\text{m}$ . Son de color translucido a opaco blanquecino y cambian a color café conforme se va desarrollando el embrión, la superficie del corion es lisa con leves irregularidades. En la última etapa del desarrollo embrionario se presenta un cono respiratorio que se proyecta sobre la superficie del huevo (Crooker, 1985).

Las larvas son redondas y poseen tres pares de patas. Al emerger del huevo son blancas y únicamente se les notan las manchas oculares de color rojo carmín. Conforme pasa el tiempo se tornan de color verde claro y las manchas dorsales de color gris se empiezan a volver aparentes (Jeppson *et al.*, 1975)

Las protoninfas son ovaladas y poseen cuatro pares de patas. Son de color verde claro con manchas dorsales bien definidas y peritremas en forma de hoz. La deutoninfa es muy similar a la protoninfa de tal forma que resulta difícil diferenciarlas, es ligeramente más oscura, de mayor tamaño y en esta fase de desarrollo ya se puede identificar el sexo (Jeppson *et al.*, 1975).

El macho adulto es de coloración más pálida y es más pequeño que la hembra. Posee un abdomen puntiagudo y tiene el mismo número de setas que la hembra. Las

manchas dorsales son casi imperceptibles y de color gris. El primer tarso presenta cuatro pares de setas táctiles y dos sensoriales próximas a la dúplex proximales. La primer tibia presenta nueve setas táctiles y cuatro sensoriales (Jeppson *et al.*, 1975).

Las hembras pueden ovipositar hasta 300 huevos en todo su ciclo, lo que les permite tener alto potencial reproductivo. Si no se toman las medidas adecuadas para su manejo, esta plaga puede ocasionar deshidratación masiva del follaje y muerte de las plantas en pocos días, rebasando así los umbrales económicos de los cultivos afectados como frutales y hortalizas (Goodwin *et al.*, 1995).

La duración de desarrollo total varía mucho con la temperatura, la humedad y la planta hospedera. En general, la relación hembra: macho es de 3:1. A menudo un macho hace la guardia encima de una deutoninfa en su etapa de reposo para aparearse en cuanto haya terminado su desarrollo. Las hembras no fecundadas solo producen descendientes machos. La hembra pone la totalidad de sus huevos en 10 días a 35°C y en 40 días a 15°C, mientras que a 20°C pone aproximadamente 40 huevos en total. Bajo circunstancias favorables puede poner hasta 100 huevos. Con clima caliente y seco la araña roja puede desarrollarse muy rápido (Sabelis, 1985).

El ciclo biológico de *T. urticae* es típico de ácaros de clima cálido. Completa su desarrollo de huevo a adulto en 7–8 días a las 27.5–32.5 °C y además todos los estadios de vida se presentan a todo lo largo del año, a merced de las condiciones ambientales (Helle y Sabelis 1985). El desarrollo se realiza lentamente cuando la temperatura es mínima, requiriendo de hasta cuatro semanas para la duración del ciclo total. Las plantas

huésped, la nutrición de la misma, la edad de la hoja, y el estrés de la humedad también influyen en el desarrollo del ácaro de dos manchas. (Helle y Sabelis 1985).

Todos los ácaros de la familia Tetranychidae pasan por las fases inmaduras de larva, protoninfa, deutoninfa y finalmente adulto. Entre los estados inmaduros hay periodos intermedios de quiescencia llamados protocrisálida, deutocrisálida y teliocrisálida respectivamente. Durante los periodos de inactividad el ácaro se adhiere al sustrato y forma una cutícula (Crooker, 1985).

La proporción de sexo según Overmeer (citado por Helle y Pijnacker, 1985) depende esencialmente de la cantidad de esperma transferido a la hembra, si durante el apareamiento se interrumpe la cópula se produce un número inferior de hembras. En tanto que si se completa habrá una descendencia mayor de las mismas, pudiéndose considerarse como normal una producción de tres hembras por cada macho. Helle y Pijnacker (1985) mencionan que en caso de que las hembras no hayan sido fecundadas se producirán machos por partenogénesis.

El fenómeno de diapausa en el ácaro de dos manchas ha sido estudiado ampliamente (Van de Vrie *et al.*, 1972; Veerman, 1985). Veerman (1977) comenta que se ha demostrado ampliamente la importancia del fotoperíodo en la inducción de la diapausa en arañas rojas. Bondarenko (1950) fue el primero en reportar que *T. urticae* entraba en diapausa bajo la inducción de días cortos, de modo que bajo un régimen de cuatro horas luz por día indujeron la diapausa en la totalidad de los individuos de una colonia de esta especie. Bajo un régimen de 15 horas luz no existe diapausa.

## Control biológico

En la actualidad hay pocas dudas sobre el papel clave que desempeñan los enemigos naturales en el control de plagas. Irónicamente, este interés deriva del uso amplio de insecticidas que ocasionó rebrotes de especies anteriormente sometidas al control biológico natural. (Andrews, 1989).

Según De Bach (1968), el control biológico se considera, desde el punto de vista ecológico, como una fase del control natural; puede definirse entonces como la acción ejercida por parásitos, depredadores o patógenos para mantener la densidad de la población de otro organismo en un promedio más bajo que el que tendría en ausencia de ellos. El mismo autor opina que el control biológico aplicado se desarrolla en contra de organismos que son plagas actuales o potenciales. Si un organismo no logra llegar al status de plaga, es obvio que las condiciones climáticas y otros factores le son desfavorables; por consiguiente, uno de los mejores medios para modificar las condiciones ambientales que tienden a deprimir permanentemente la población de una plaga es el empleo de los enemigos naturales de la misma (De Bach, 1968).

Las características que determinan la eficiencia de un depredador, (concretamente un Phytoseiidae de hábitos especializados) son (McMurtry, 1982):

- a) Alto poder de dispersión.- Algunas especies de Phytoseiidae se dispersan entre los cultivos con las corrientes de aire, y otras muestran alta movilidad

bajo condiciones de invernadero. Sin embargo este factor está muy relacionado con algunas condiciones climáticas como la temperatura.

- b)** Distribución respecto a la presa.- este aspecto debe mirarse con cuidado, pues la distribución del depredador puede cambiar con la hora del día o con las condiciones climáticas; y algunas especies son atraídas por la telaraña que forman algunos tetraníquidos.
- c)** Alto potencial reproductivo.- Especies como *P. persimilis* presentan mayor potencial reproductivo que otras especies de Phytoseiidae, a causa principalmente de su alta fecundidad y del tiempo de desarrollo tan corto que tienen si lo comparamos con el de su presa, *T. urticae*. Así, varias generaciones del depredador pueden ser producidas con una generación de la presa. Es importante anotar que el depredador especializado requiere abundante cantidad de presa para sobrevivir y reproducirse.
- d)** Voracidad.- De acuerdo con Sabelis (1981), una hembra grávida de *P. persimilis* tiene alta capacidad de depredación: consume por día de 14 a 23 huevos de *T. urticae*.
- e)** Alto grado de especificidad de la presa.- Este carácter indica una buena adaptación biofisiológica al huésped, y una dependencia aparente directa de los cambios de población de la presa.

f) Características morfológicas y agrupamientos taxonómicos.- Según McMurtry (1982), las tres especies consideradas más efectivas (*Phytoseiulus persimilis*, *Typhlodromus occidentalis* y *Amblyseius fallacis*), como depredadores específicos de Tetranychidae, presentan una seta larga en posición media del escudo dorsal, similar a las de la serie de setas laterales. La posesión de estas setas indica probablemente convergencia, y sugiere que la depredación especializada de ácaros tetraníquidos evolucionó independientemente en varios grupos de Phytoseiidae.

#### ***Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot**

Durante los últimos años, el interés del papel de los miembros de la familia Phytoseiidae como depredadores de ácaros tetraníquidos se ha generalizado. Muchos de los fitoseidos son ahora usados como agentes de control biológico en algunos ecosistemas agrícolas y otros son factores importantes en sistemas de manejo integrado de plagas (Sabelis, 1985).

Dentro de las especies depredadoras que mayor éxito han alcanzado en programas de control biológico de arañas se incluye a: *Phytoseiulus persimilis* en cultivos de invernadero; *Typhlodromus occidentalis* en cultivos de hoja caduca tal como el manzano, nogal, y vid en el occidente de Norteamérica; y *Neoseiulus fallacis* sobre frutales de hoja caduca en el este oriental de Norteamérica (McMurtry, 1982).

## **Importancia**

Durante los inicios de los 60's se condujeron investigaciones sobre esta especie en Gran Bretaña, Holanda, Canadá y los Estados Unidos. Desde entonces estos estudios iniciales demostraron la habilidad de este depredador para controlar la arañita de dos manchas. Se ha tenido éxito en muchas plantas, incluyendo pepino, tomate (French *et al.*, 1976), hiedra ornamental, rosal (Simmonds, 1972), fresa (Laing y Huffaker, 1969). También en fresa se condujeron estudios bajo condiciones de invernadero o en cámaras de crecimiento, y se obtuvieron evidencias de que *P. persimilis* puede ser un enemigo natural dentro de plantaciones de este cultivo (McMurtry *et al.*, 1982).

## **Reproducción y Biología**

La fase de desarrollo de *P. persimilis* es similar a la de *T. urticae*, es decir, pasa por los estados de huevo, larva, protoninfa, deutoninfa y adulto (Laing, 1968; Sabelis, 1981).

Los huevos son ovales y son puestos cerca del alimento. Son naranja claro y traslúcidos cuando están recién depositados, pero conforme pasa el tiempo se van obscureciendo. Los huevos del depredador pueden ser distinguidos de los de la presa por el color o bien por la forma. La larva es hexápoda, al parecer no se alimenta y permanece inactiva al menos que sea perturbada. La primera comida es efectuada por la protoninfa, de hecho inmediatamente después de que la larva tira el exoesqueleto para convertirse en protoninfa empieza a buscar comida. Se alimenta y continúa buscando,

con periodos intermitentes de inactividad. La deutoninfa come en todo su tiempo de vida y más tarde muda, y da lugar al adulto (Laing, 1968; Sabelis, 1981).

El apareamiento generalmente ocurre pocas horas después de que mudó la deutoninfa y se convirtió en adulto. En el caso de *P. persimilis* aunque un solo apareamiento puede completar la ovoposición, la proporción sexual es aproximadamente cuatro hembras por cada macho (Laing, 1968). Una vez que la hembra ha sido apareada puede ovopositar durante todo el periodo de su vida (Sabelis, 1981).

Laing (1968) estudió las tablas de vida y desarrollo de *P. persimilis* y *T. urticae*. Esta investigación se realizó en cámaras de crecimiento bajo temperaturas que fluctuaron entre los 18–35°C. Se registró el tiempo gastado en cada fase de desarrollo así como aspectos relacionados con su reproducción y biología. Bajo estas condiciones experimentales, el mismo autor determinó que *P. persimilis* podría desarrollarse de huevo a adulto en un promedio de 7.45 días y reporta que representa la mitad del tiempo que requiere para el desarrollo de la arañita de dos manchas bajo condiciones similares. En este estudio, la tasa intrínseca de crecimiento ( $r_m$ ) para el depredador fue más alta que la de la presa 0.219 y 0.143 respectivamente. Dados estos resultados, no es sorprendente que *P. persimilis* sea uno de los enemigos naturales más efectivos de las arañitas de dos puntos. De hecho en un tiempo este puede ser demasiado efectivo, pudiendo con frecuencia erradicar la presa en invernaderos.

La tasa de oviposición en general no depende de la edad de la hembra, pero el número de huevos en condiciones de oviposición máxima o hasta que la hembra muere de vejez es de aproximadamente 50 días (Sabelis, 1981). Las condiciones más importantes que influyen en la tasa de oviposición son temperatura, humedad y densidad de la presa.

Se ha demostrado que la temperatura influye en el consumo de la presa, tiempo generacional, oviposición y longevidad de *P. persimilis* (Sabelis, 1981; Takafuji y Chant, 1976). El número de deutoninfas consumidas por la fase más voraz (la hembra joven ovipositando) generalmente crece cuando las temperaturas se incrementan (Force, 1967). El mismo autor menciona que a una humedad relativa de 75 %, el promedio de consumo de deutoninfas de arañita de dos puntos por una sola hembra del depredador fue de 8.8 a 17°C mientras a 26°C fue de 13.5. Pruszyński, (1976) también demostró que el consumo de la presa aumenta conforme disminuye la humedad relativa y aumenta la temperatura

La tasa en que *P. persimilis* se desarrolla está en función de la temperatura y se describe por una línea recta por encima del rango de temperaturas entre 15 y 30° C (Sabelis, 1981); en donde a medida que las temperaturas aumentan el tiempo necesitado para desarrollarse disminuye.

El tiempo de desarrollo puede también ser afectado por la humedad relativa. Investigaciones conducidas por Beglarow (1967) y Stenseth (1979), registraron un ligero incremento en el tiempo de desarrollo del depredador cuando se aumentó la

humedad de 40 al 70 %. Pralavorio y Almaguel-Rojas (1980) reportaron además que a humedades relativas por debajo del 70 % se observó una reducción significativa en la habilidad de los depredadores inmaduros al mudar de una fase a otra.

### **Hábitos Alimenticios**

Todas las etapas de desarrollo de la arañita de dos puntos sirven de alimento a la hembra adulta de *P. persimilis*. La etapa larval del depredador no se alimenta, pero la protoninfa y deutoninfa podría alimentarse de huevos, larvas y protoninfas de arañita de *T. urticae* (Takafuji y Chant, 1976). El número de cada estado ingerido, depende de la densidad de la presa y el depredador así como la temperatura, humedad, etapa de alimentación del depredador y que etapa de la presa están disponibles (Ashihara *et al.*, 1978; Chant, 1961). Ashihara *et al.*, (1978) reportaron que este depredador se alimentó, reprodujo y completó su desarrollo solo de arañitas de la subfamilia tetranychinae y al igual que Chant (1961) observó a *P. persimilis* ingiriendo trips jóvenes. Llegando *P. persimilis* a practicar el canibalismo en ausencia de su presa (Dosse, 1958; Laing, 1968).

### **Dispersión y Búsqueda**

McMurtry, (1982) reporta al comparar a *P. persimilis* con otras cinco arañitas depredadoras, con un mejor porcentaje de fuerza de dispersión, y esta distribución y la de sus presas estuvieron altamente correlacionadas. La habilidad de *P. persimilis* a dispersarse y encontrar nuevas colonias de presas depende de las características físicas del medio ambiente, distribución y densidad de la presa, densidad del depredador, y la

duración de infestación o la cantidad de telaraña que el ácaro presente (Takafuji 1977). El mismo investigador reporta que una característica importante medioambiental es la densidad de las plantas dentro del invernadero.

La hembra joven del depredador incrementa su tasa cuando la densidad se incrementa y la de la presa disminuye (Sabelis, 1981; Eveleigh y Chant, 1982). Cuando la densidad de la presa es baja en relación al número del depredador presente, el depredador adulto empieza a dispersarse y buscar nuevas fuentes de comida. En cambio las ninfas de *P. persimilis* tienen capacidad y tendencia más baja a dispersarse como lo hacen los adultos y como resultado, ellos permanecen detrás de cualquier tipo de comida antes de que empiecen a dispersarse (Takafuji, 1977).

La telaraña producida por la arañita de dos manchas ayuda al depredador a encontrar a su presa. Cuando el depredador se pone en contacto con la telaraña intensifica su búsqueda en un área inmediata, la telaraña parece actuar como un interruptor para la dispersión del depredador. En un estudio, las hembras podían encontrar a sus presas dos veces más rápido cuando la telaraña estaba presente comparado con la ausencia de la misma (Schmidt, 1976). El mismo autor también reportó que los huevos de arañita roja tienen un efecto similar. Las kairomonas son olores químicos que pueden ser responsables para esta búsqueda de comportamiento no aleatoria.

## Métodos de liberación

Para la implementación de *P. persimilis* en un programa MIP, que permite reducir la aplicación de acaricidas, es necesario realizar ensayos previos para determinar la distribución de *T. urticae* dentro del área de muestreo y posteriormente, tomar decisiones de manejo (Hialrión et al., 2008). Además es necesario tener en cuenta que *P. persimilis*, después de varias semanas de liberación puede llegar a establecerse dentro del cultivo (Casey et al., 2007).

Para el manejo de cualquier plaga agrícola con liberaciones de enemigos naturales es necesario establecer los criterios de liberación, con el fin de generar las condiciones más favorables que permitan obtener máximos índices de control. Para el caso del control biológico de *T. urticae* con liberaciones de *P. persimilis* en cultivo de rosa variedad Versilia, Hilarión et al. (2008) concluye que el criterio de liberación debe de estar basado de la siguiente forma: (1) Realización de un muestreo de área vegetal afectada por *T. urticae*, teniendo en cuenta un muestreo por etapas en hojas por plantas, plantas por cuadros y cuadros por área de muestreo. El número de muestras a tomar dependerá del promedio de individuos encontrados por hoja, que se encuentren en la edad susceptible de ser consumidos por *P. persimilis*. Con el fin de reducir tiempo en el muestreo y obtener una estimación más precisa de la población de la plaga, el muestreo de hojas debe estar dirigido hacia el tercio inferior de la planta y se debe contar el total de individuos de cada estadio presentes en los primeros cuatro folíolos de la hoja. (2) Aplicación de la relación predador-presa, que es el máximo número de individuos que puede consumir un individuo de *P. persimilis* por unidad de tiempo determinada en 24 h

para estimar el número de depredadores que se debe liberar según la población de *T. urticae* susceptible de ser consumida que se estimó en el muestro anterior.

Forero et al. (2008) implementaron el método presencia-ausencia en cultivos comerciales de flores, en el cual realizaron una comparación entre el control químico y biológico para el manejo de *T. urticae*, ellos concluyeron que el método convencional no es aplicable cuando se utilizan depredadores y sugiere que se debe utilizar la máxima capacidad de depredación proveniente de ensayos de respuesta funcional como criterio de liberación del ácaro depredador en campo.

### **Respuesta funcional**

En una revisión sobre la ecología de ácaros tetranychidae y sus enemigos naturales, Huffaker (1970) concluyeron que las poblaciones de ácaros depredadores son utilizados con éxito contra ácaros plaga. Una condición esencial para el control por depredadores es la existencia de un mecanismo de regulación, es decir, la mortalidad de la población de la presa excede la reproducción debido a la depredación, cuando la densidad de la presa incrementa más allá de un cierto valor. De esto, la regulación ocurrirá cuando el efecto del depredador incremente la tasa de mortalidad como aumente la densidad de la presa. La mortalidad de la presa debido a la depredación es el número de presas muertas por unidad de tiempo y el área de la hoja, cual es igual al producto de la densidad de la presa y el número de presas muertas por unidad de tiempo por depredador (Fransz, 1974).

El término de respuesta funcional, fue usado originalmente por Solomon (1949), el cual describe la relación entre el número de presas consumidas por un depredador en función de la densidad de la presa, en un espacio e intervalo de tiempo fijo. La ecuación de depredación propuesta por Lotka-Volterra asume dos respuestas posibles de los depredadores a los cambios de la densidad de las presas. A corto plazo, respondiendo funcionalmente; consumiendo más presas a medida que las presas se incrementan. O, a mediano y largo plazo, respondiendo numéricamente, aumentando su número, transformando lo que comen en hijos, o a través de la llegada de más depredadores desde otros sitios (Pavón et al., 2011). La respuesta funcional es central para cualquier descripción sobre parasitismo o depredación, precisamente porque el número de presas consumidas determina el desarrollo, supervivencia y reproducción de los depredadores o parasitoides (Oeten y Murdoch, 1975). La respuesta funcional, que implica la habilidad que tienen los depredadores para identificar a sus presas, atraparlas, consumirlas y digerirlas, está determinada por las adaptaciones de los depredadores, pero también por las condiciones ambientales en las que ocurre la depredación (Pavón et al., 2011).

La importancia de la respuesta funcional es la que determina el cambio del número de presas muertas por un depredador por unidad de tiempo, como función del cambio en la densidad de presa (Solomon, 1949), donde la máxima cantidad de presas muertas está determinada por el efecto combinado del tiempo de manipulación y la saciedad del depredador (Holling, 1961).

Este mismo autor clasifica la respuesta funcional en tres tipos: La de tipo I, en la cual el depredador consume sus presas en un principio en forma uniforme en relación al tiempo y llega un momento en que se estabiliza es decir ya no aumenta su consumo. Un ejemplo de lo anterior está representado en la Figura 4.

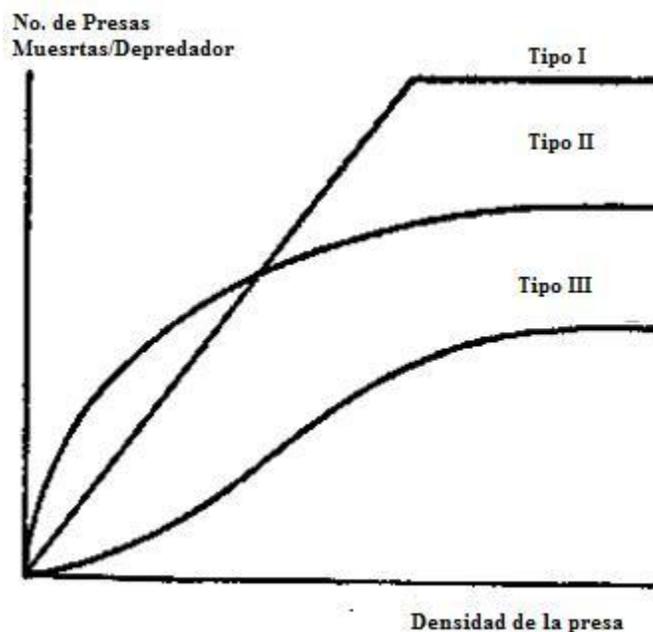


Figura 4. Los tres tipos de respuesta funcional más comunes.

En la respuesta funcional de tipo II, la tasa de consumo aumenta con la densidad de la presa, Figura 1, pero disminuye la velocidad de aumento hasta alcanzar una plataforma en la que la tasa de consumo permanece constante, independientemente de la densidad de la presa. La explicación de Holling (1959) para la respuesta de tipo II puede ser resumida del siguiente modo. Un consumidor ha de dedicar un cierto tiempo de manipulación a cada presa que consume (es decir, perseguir, dominar y consumir la presa, y luego prepararse para la siguiente búsqueda). A medida que aumenta la densidad de las presas, cada vez resulta más fácil encontrar una. Sin embargo, la

manipulación de una presa continúa exigiendo el mismo tiempo, y por lo tanto la manipulación total ocupa una proporción creciente del tiempo de consumidor hasta llegar a una densidad tal de las presas que el consumidor pasa realmente todo su tiempo manipulándolas. Por consiguiente, la tasa de consumo se aproxima y alcanza luego un máximo (plataforma) determinado por el número máximo de tiempos de manipulación que caben en el tiempo total disponible.

### **Criterios de Selección para el mejor modelo**

La construcción de modelos estadísticos surge de la necesidad de explicar y predecir el comportamiento de fenómenos reales que dependen de distintas variables. Cuando para una misma evidencia muestral existen modelos alternativos surge el problema de la selección. ¿Cuál es el mejor modelo de todas las alternativas formuladas? ¿Tiene sentido seleccionar un modelo en función del uso posterior que se vaya a dar al mismo? ¿Es siempre necesaria una evaluación extramuestral? (García-Olaverri, 1996).

Para dar respuesta a las anteriores cuestiones se han definido en la literatura estadística distintos criterios de selección de modelos. Algunos de ellos son muy empleados y los paquetes estadísticos incluyen desde hace tiempo información de este tipo (es el caso de los criterios AIC (Akaike), Cp (Mallows), SBIC(Schwarz), cuyo calculo está incluido en el software de uso más común) (García-Olaverri, 1996).

Menciona García-Olaverri (1996) que los distintos métodos de selección de modelos han sido objeto de comparación en la literatura sin que exista una postura

unánime sobre cuál es la mejor forma de seleccionar el modelo optimo. Gran parte de la controversia está basada en el hecho de que no todos los criterios han sido definidos con el mismo fin, es decir para todos los autores la idea de "mejor modelo" no es la misma. Sin embargo, parece claro que hay algunas propiedades deseables que todo criterio de selección debiera satisfacer; esto es, existen algunas formas objetivas de comparar los distintos criterios de selección y concluir cuál de ellos es el mejor, al menos en el área que estemos estudiando. En este sentido, en la literatura estadística se ha comparado el comportamiento de los criterios de selección cuando cambia el tamaño muestral (Geweke y Meese, 1981), la estructura del proceso que genero los datos (Koehler y Murphree, 1988), el grado de colinealidad entre las variables o la distribución del termino de error (Mills y Prasad, 1992; Garcia Olaverri y Aznar, 1994).

Cuadro 1. Criterios y reglas de decisión para la selección del mejor modelo (García-Olaverri, 1996).

| CRITERIO                               | ESTADISTICO   | Regla de decisión acepta mod1 frente a mod2 |
|--|---|---|
| Coefficiente de Determinación Ajustado | $\bar{R}^2 = \frac{RSS/n - 1 - p}{\sum(y_i - \bar{y})^2/n - 1}$ | $\bar{R}_1^2 < \bar{R}_2^2$                 |
| Cp de Mallows                          | $\hat{\sigma}_1^2 + \frac{2n}{n-k} \hat{\sigma}_2^2$            | $C_{p1} < C_{p2}$                           |
| AKAIKE                                 | $AIC_i = \ln \hat{\sigma}_k^2 + \frac{2k}{n}$                   | $AIC_1 < AIC_2$                             |
| Schwarz's                              | $SBIC = \ln(\hat{\sigma}_i^2) + \frac{k_i \ln(n)}{n}$           | $SBIC_1 < SBIC_2$                           |
| AIC, sesgo corregido                   | $AIC_c = \ln(\hat{\sigma}_i^2) + \frac{n+k}{n-k-2}$             | $AIC_{c1} < AIC_{c2}$                       |
| Amemiya                                | $PC = \hat{\sigma}_i^2 \left( \frac{n+k}{n-k} \right)$          | $PC_1 < PC_2$                               |

En los criterios del cuadro 2 se observan grandes diferencias y, como consecuencia de ello en ocasiones se seleccionan distintos modelos según sea el criterio considerado. Como ya ha quedado indicado, estas diferencias son debidas a los distintos objetivos con que han sido definidos los criterios de selección. Por ejemplo los criterios SBIC ha sido diseñado con el objetivo de ser consistentes (esto es, tender a seleccionar siempre el proceso generador de los datos a medida que el tamaño muestral aumenta), los criterios Cp y PC tienen como objetivo elegir aquel modelo que minimice el error cuadrático medio de predicción, el criterio AIC persigue seleccionar el modelo más próximo a la realidad (en términos de la medida de Kullback-Leibler) (Johnson y Omland, 2004). Un estudio exhaustivo sobre los distintos objetivos en los procedimientos de selección puede verse en Aznar (1989) (García-Olaverri, 1996).

### **Distribución espacial**

La distribución espacial es una de las propiedades más características de las especies, porque produce parámetros que las segregan y éstos son expresiones poblacionales del comportamiento a nivel individual. Se le puede definir como el producto de la heterogeneidad ambiental y el crecimiento de la población y reproducción, actuando sobre procesos aleatorios y dirigidos de movimiento y mortalidad (Badii *et al.*, 2000).

El patrón de distribución espacial en término general se clasifica en uno de tres tipos básicos: aleatorio, uniforme y en agregados. Una distribución aleatoria implica que la probabilidad de encontrar a un individuo es la misma para todos los puntos del

espacio, o que todos los individuos tienen la misma probabilidad de ser hallados en cada punto del espacio. De manera general, una distribución uniforme significa que las distancias entre individuos son aproximadamente las mismas dentro de la población, mientras que una distribución agregada implica que los individuos se agrupan en aglomerados o parches, dejando porciones del espacio relativamente desocupadas (Figura 2).

Parece claro que estos tres conceptos son más fácilmente aplicables cuando los organismos bajo estudio son sésiles, ya que los patrones espaciales son relativamente independientes del tiempo. En este caso, nos referiremos a estas distribuciones como patrones de disposición espacial. La situación para organismos con alta movilidad con respecto al periodo de muestreos será diferida para la siguiente sección. Sin embargo, los conceptos generales aquí expuestos aplican a ambas clases de organismos. Como cabe suponer, la mayor parte de los métodos y conceptos para el estudio de la disposición espacial han sido desarrollados por ecólogos vegetales (Krebs, 1978).

¿Qué factores causan un patrón determinado de disposición espacial? Las características de una población están determinadas por las interacciones múltiples entre factores extrínsecos e intrínsecos de la biología de los organismos. Podemos así plantear las causas para cada uno de los patrones espaciales en estos términos (Krebs, 1978):

- **Un patrón aleatorio implica la ausencia total de interacciones entre los individuos con el medio.** Para que la probabilidad de encontrar un individuo sea la misma en todos los puntos del espacio, es necesario que todo este espacio

ofrezca las mismas condiciones, lo cual no implica que estas condiciones sean favorables. Asimismo, la presencia de un individuo no debe afectar de ninguna manera la presencia de otro, es decir, los individuos no deben presentar ningún tipo de atracción o segregación, lo cual no implica que puedan ejercer alguna clase de efecto unidireccional de estas índoles sobre otras especies dentro de una comunidad.

- **Un patrón agregado indica la presencia de interacciones entre los individuos, o entre los individuos y el medio.** Existen muchas causas probables para la formación de un patrón agregado, cuyo estudio puede ser relevante para comprender mejor la biología o ecología de los organismos o el medio bajo estudio. Si sólo consideramos factores intrínsecos, la agregación podría ser consecuencia de interacciones sociales, tales como la organización para realización de tareas como la búsqueda del alimento o la crianza. Asimismo, podría ser una consecuencia del modo reproductivo predominante en la población (ejemplo: gemación o baja dispersión de semillas, larvas o juveniles). Si consideramos además factores extrínsecos, la agregación podría ser una consecuencia del patrón de disposición de los recursos o los peligros en el medio: comportamientos defensivos, o aprovechamiento de parches de alta calidad y despoblamiento de zonas pobres. Estas dos clases de factores pueden igualmente interactuar de muchas formas, y afectar la trayectoria evolutiva de la población o especie a todos los niveles de organización.

- **Un patrón uniforme es el resultado de interacciones negativas entre los miembros de la población.** Dado que es difícil suponer que *de manera natural* los recursos se dispongan equidistantes en el espacio, una disposición espacial de este tipo debe estar causada únicamente por factores intrínsecos. Dado que el espacio es finito, interacciones negativas o de segregación, tales como la competencia o el comportamiento agresivo intraespecífico parecen ser los principales agentes causales de un patrón uniforme, dado que es éste en el cual la supervivencia se maximiza y las interacciones hostiles se llevan a un mínimo.

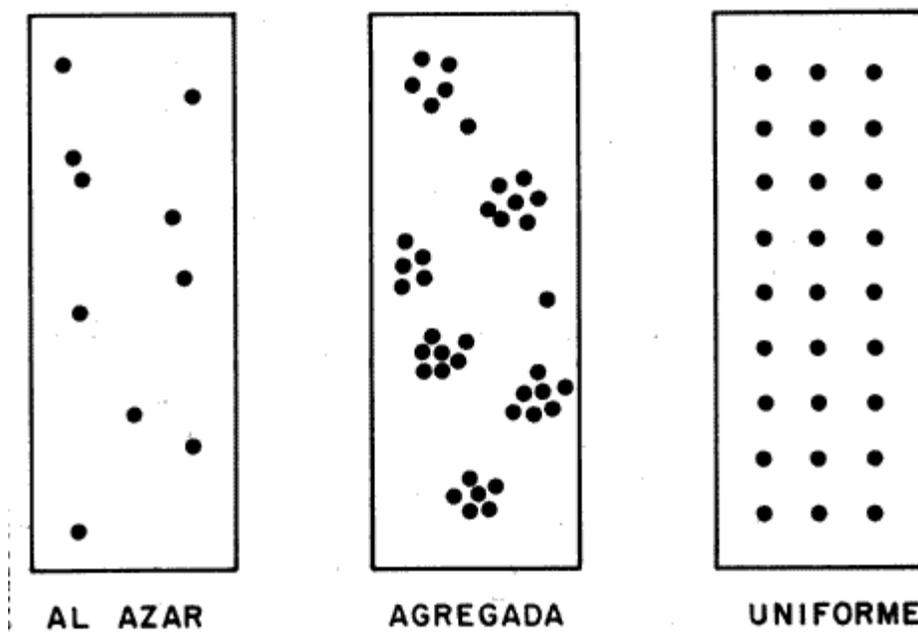


Figura 5. Patrones Básicos de Disposición Espacial

## ARTICULO I

**Comparación de modelos matemáticos: una herramienta para evaluar la respuesta funcional de *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) sobre**

***Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae)**

**Comparison of mathematical models: a tool to evaluate the functional response of**

***Phytoseiulus persimilis* on *Tetranychus urticae***

**Una herramienta para evaluar la respuesta funcional**

Julio Chacón-Hernández<sup>2</sup>, Mohammad Badii-Zabeh<sup>3</sup>, Ernesto Cerna-Chávez<sup>1</sup>, Yisa Ochoa-Fuentes<sup>1</sup>, Luis Aguirre-Uribe<sup>1</sup>, and Jerónimo Landeros-Flores<sup>1\*</sup>

---

<sup>1</sup> Departamento de Parasitología. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923. C.P. 23315. Buenavista, Saltillo, Coahuila; México. Tel. 52-844-411-0326 y 411-0226. \*Autor de correspondencia ([jlaflo@uaaan.mx](mailto:jlaflo@uaaan.mx)).

<sup>2</sup>Candidate to Doctor of Science's Grade in Parasitología Agrícola Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923. C.P. 23315 Buenavista, Saltillo, Coahuila; México. Tel. 52-844-411-0326 and 411-0226.

<sup>3</sup>Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. Apartado postal 391 San Nicolás de los Garza 66450. Nuevo León México.

## RESUMEN

Se obtuvo la respuesta funcional de *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot sobre densidades de *Tetranychus urticae* Koch bajo temperaturas controladas ( $27 \pm 2^\circ\text{C}$  con 60-70% HR) y a 24 horas de exposición. Se mostro una respuesta funcional del tipo II por el exponente  $\beta$  del modelo general de la respuesta funcional. Los resultados obtenidos se analizaron de acuerdo a cuatro modelos matemáticos: Holling, Roger, Livdahl y Stiven, Fan y Pettit en la facilidad de analizar su capacidad de ajuste mediante criterios de selección. El modelo de Livdahl y Stiven fue el que presento mayor ajuste a los datos para los cuatro estados de desarrollo, siendo avalado por los criterios AIC, SBIC, AICc y PC. La selección de un modelo no debe estar basada solamente sobre medidas estadísticas, sino también con la biología de las especies en estudio, ya que debe de concordar el comportamiento biológico con los parámetros estimados por estos.

**Palabras clave:** respuesta funcional, selección de modelos, depredación, ajuste.

## ABSTRACT.

The functional response of *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (ACARI: PHYTOSEIIDAE) on densities of *Tetranychus urticae* Koch (ACARI: TETRANYCHIDAE) was determined under controlled temperature ( $27 \pm 2^\circ\text{C}$  with 60-70% RH) and 24 hours of exposure. A type II functional response was shown for the  $\beta$  exponent of the general model of functional response. The results obtained were analyzed according to four mathematical models: Holling, Roger, Livdahl and Stiven and Fan and Pettit and the ease of analyzing their goodness-of-fit using selection criteria. The Livdahl and Stiven model best fit the data for the four stages of development, where they were evaluated by the criteria AIC, SBIC, AICc, Cp and PC. The selection of a

model should not be based solely on statistical measures, but also to the biology of the species under study, and it must be consistent with the biological behavior with the parameters estimated by these.

**Keywords:** Functional response; selection of models; predation; fit.

## INTRODUCCIÓN

El ácaro fitófago *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) es considerado actualmente como una de las plagas más importantes en cultivos bajo invernadero (33), además es la plaga principal del rosal en invernadero (51), ya que alteran los procesos fisiológicos de las plantas como la fotosíntesis y la respiración, y afectan el crecimiento, la floración y la fructificación en las plantas que infestan (20). Densidades entre 10 y 50 ácaros por hoja de rosa causan una reducción del largo de los tallos florares del 17% y 26%, respectivamente, cuando se comparan con plantas que no tienen presencia de ácaros fitófagos (30).

Uno de los depredadores más efectivo de *T. urticae*, es la especie *Phytoseiulus persimilis* (19). Se han realizado estudios de este ácaro depredador sobre *T. urticae* sobre múltiples especies hospederas demostrando que es el controlador biológico más efectivo por su habilidad para reducir la supervivencia y reproducción de *T. urticae* (52). Debido a su alta capacidad de depredación e incremento de la población puede disminuir rápidamente la población de la plaga (22), por lo que ha sido implementado en muchos países en cultivos bajo invernadero para el control de ácaros fitófagos, su uso ha incrementado debido a su eficiencia a nivel comercial (22, 19).

Numerosos modelos mecanísticos y fenomenológicos han sido utilizados para describir las respuestas funcionales (28) y para la estimación de parámetros biológicamente significativos (31). La respuesta funcional es uno de los aspectos más importantes de la dinámica de una relación depredador-presa, y es un componente importante de los modelos de población (7). Solomon (50) menciona que la relación entre la tasa de consumo de un individuo y la densidad del alimento recibe el nombre de respuesta funcional del consumidor. Menciona Lipcius y Hines (31) que estos modelos se pueden agrupar dentro de los modelos de tiempo continuo (modelo de Holling) y los de tiempo discreto (modelo de Rogers). Los modelo de tiempo continuo se relaciona con el número de encuentros de un depredador con su presa ( $N_a$ ), si sucede o no, para una función de densidad de la presa ( $N_o$ ), mientras que los modelos de tiempo discreto están relacionados al número de presas consumidas ( $N_a$ ) a la densidad de la presa. Holling (24) representó la respuesta funcional de tipo II utilizando la conocida “ecuación de los discos” siendo este el modelo original. La respuesta funcional tipo II es la más común reportada en insectos (8).

Recientemente, investigadores de diversas áreas de la ecología y la evolución han comenzado a cambiar la forma en que se analizan los datos y hacer inferencias biológicas. En lugar del enfoque tradicional, pruebas hipótesis nula, han adoptado un enfoque llamado modelo de selección, en el que varias hipótesis son simultáneamente confrontadas al mismo tiempo con datos. El criterio de modelo de selección se puede utilizar para identificar un modelo único y mejor, dando así apoyo a una hipótesis en particular, o puede ser utilizado para hacer inferencias basadas en el apoyo ponderado de un conjunto completo de modelos de la competencia. La selección del modelo es

ampliamente aceptado y bien desarrollado en algunos campos (27). Todos los modelos presentan errores aunque algunos son útiles (9), la selección del modelo se ve mejor como una forma de aproximar, en lugar de la identificación, de la realidad completa (12).

Un tema central de la selección del modelo es que, para evitar la elección de los modelos innecesariamente complejos, un modelo debe ser seleccionado en base a su generalización, más que a su bondad de ajuste. Este objetivo se realiza mediante la definición de un criterio de selección que hace un ajuste adecuado a su bondad de ajuste, teniendo en cuenta la contribución de la complejidad del modelo. Existen diferentes métodos de selección que se encuentran actualmente en uso (5). Se diferencian entre sí en términos de cómo se realizan dichos ajustes para estimar mejor la generalización de un modelo, estos incluyen el criterio de información de Akaike (AIC; 3, 10), el criterio de información bayesiano (BIC; 47), el coeficiente de determinación (50) entre otros (40). Por lo tanto el objetivo de este estudio es comparar diferentes modelos matemáticos (Holling (24), Roger (45), Livdahl y Stiven (32) y Fan y Pettit (15) para evaluar su capacidad de ajuste para describir la respuesta funcional de *P. persimilis* sobre *T. urticae*.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Material biológico**

La presente investigación se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Buenavista, Saltillo, Coahuila. Las especies que se utilizaron para el estudio de depredación fueron *T. urticae* como presa en su cuatro estados de

desarrollo (huevo, larva, ninfa y adulto); y *P. persimilis* como depredador. La colonia de la presa se estableció en plantas de frijol pinto a una temperatura  $27 \pm 2^\circ\text{C}$  con 60-70% HR. La cría de ácaros depredadores se desarrolló a partir de colonias iniciales obtenidas de la empresa Koppert, S.A. México, la cría y multiplicación de los depredadores se realizó en cilindros de acuerdo a Fournier, et al. (17) utilizando plantas de frijol infestadas de *T. urticae* a temperatura de  $27 \pm 2^\circ\text{C}$  con 60% HR.

### **Respuesta funcional**

Los experimentos de la respuesta funcional se evaluaron en una cámara bioclimática mediante la técnica de hoja arena (1) a una temperatura  $27 \pm 2^\circ\text{C}$  con 60-70% HR. Se utilizaron discos de hoja de rosal variedad Royal (*Rosa Korzaun*). La unidad experimental consistió de una caja petri de plástico 5.5 cm de diámetro, en su interior un disco de algodón húmedo de 5.2 cm de diámetro y el disco de hoja del rosal de 2.5 cm con el envés hacía arriba. El número de huevos, larvas y ninfas, por hoja se ajustaron a 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 y 100 y para hembras adultas 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64. En seguida se colocó una hembra de *P. persimilis* hembras fertilizadas de 24 horas de edad con 12 horas de ayuno en cada densidad de la presa durante 24 horas de luz continua. Se condujeron 15 repeticiones por cada tratamiento. Los datos de depredación (respuesta funcional) se analizaron mediante el análisis de varianza y prueba de separación de medias de múltiple rango de Tukey a ( $P \leq 0.05$ ), procesando los datos en SAS/STAT (46).

Cuatro modelos fueron utilizados para determinar la respuesta funcional e ilustrar los criterios considerados para su comparación (Cuadro 1). En este estudio se utilizó el

método de Marquardt y Gauss Newton para obtener los parámetros de la respuesta funcional; el tiempo de manipulación ( $T_h$ ) y la tasa de búsqueda ( $a'$ ) del depredador para los modelos de Holling y Rogers, mientras que para otros modelos dichos parámetros fueron estimados por regresión lineal. El ajuste de los datos a cada modelo y las estimativas de los parámetros se realizaron a través del proceso iterativo del algoritmo Marquardt (35) para el modelo de Holling y para el modelo de Rogers a través del algoritmo de Gauss-Newton (42). Cabe señalar que ambos procedimientos fueron para modelos no lineales PROC NLIN de SAS/STAT (47). Para los modelos Fan y Petitt y Livdahl y Stiven los parámetros se obtuvieron por regresión lineal.

donde  $N_a$  es el número de presas consumidas,  $a$  es la tasa de ataque constante (tasa de búsqueda instantánea),  $N_o$  es la densidad de la presa,  $T_t$  es el tiempo total disponible (24 h en este experimento) y  $T_h$  es el tiempo de manipulación.

Además se utilizó el modelo de Real (44), el cual es un indicador de la veracidad de la curva de la respuesta funcional. Siguiendo la metodología utilizada por Lipcius y Hines (31) para proporcionar una prueba estadística inequívoca de la forma de las respuestas funcionales, libres de los problemas potenciales asociados con el análisis de los modelos específicos de respuesta funcional (21; 33), se utilizó el modelo general de respuesta funcional derivado por el Real (43, 44).

$$N_a = \frac{K * N_t^\beta}{X + N_t^\beta}$$

$N_a$  = número de presas consumidas,

$K$  = la tasa de alimentación máxima (saciedad),

$N_t$  = densidad de presas inicial,

$X$  = la densidad de la presa en la que  $N = 0.5K$ ,

$\beta$  = el parámetro asociado con la forma de la curva de la respuesta funcional

Cuando  $\beta = 0$ , la curva se hace lineal, cuando  $\beta = 1$ , la curva es de tipo II (desaceleración da lugar a una asíntota), y cuando  $\beta > 1$ , la curva es de tipo III (sigmoidea) (44). Por lo tanto, un parámetro de ensayo del estadístico  $\beta$  es también una prueba de la forma de la respuesta funcional. Se probó las estimaciones de  $\beta$  con las pruebas t estándar (13).

### **Criterio de selección**

Los distintos métodos de selección de modelos han sido objeto de comparación en la literatura sin que exista una postura unánime sobre cuál es la mejor forma de seleccionar el modelo óptimo. Los criterios de selección de modelos que se utilizaron son los siguientes:  $\bar{R}^2_{ajustada}$  (50), Cp (34), AIC (3), SBIC (47), PC (4) AIC, sesgo corregido (26) (Cuadro 2).

donde  $n$  es el tamaño de la muestra,  $k$  es el número de parámetros en el modelo,  $\hat{\sigma}_i^2$  son estimadores de máxima verosimilitud de la varianza del término de error en los modelos, RSS es la suma cuadrada de residuales,  $y_i$  es la variable respuesta, y  $\bar{y}$  es la media de la variable de respuesta.

## RESULTADOS

Los datos se ajustan a una respuesta funcional de tipo II. La tasa de depredación tendió a disminuir con la densidad de la presa, probablemente debido a un aumento en la saciedad del depredador en los focos de mayor densidad y también por el efecto de tiempo de manipuleo ( $T_h$ ). La alimentación diaria del depredador sobre huevos, larvas y ninfas de *T. urticae* aumentó a un ritmo acelerado cuando la densidad de la presa estuvo entre 8 y 64 presas, la tasa de depredación se estabiliza a partir de la densidad de 64 presas. Para el estado de adulto, se registro un incremento en el consumo entre las densidades de 16 a 32 presas y la saciedad del depredador se estabilizo a partir de 32 presas ofrecidas. El depredador alcanzó niveles de saciedad promedia de 52.67, 49.13, 42.20 y 23.67 presas por día para huevo, larva, ninfa y adulto, respectivamente (Cuadro 5).

La respuesta funcional de *P. persimilis* sobre huevos y hembras adultas de *T. urticae* fue curvilínea la cual alcanzó una meseta prominente y en menor intensidad en larva y ninfa. Cabe señalar que la hembra de *P. persimilis* tuvo una preferencia por la etapa de huevo seguida por larva y ninfa, por último la etapa de adulto (Cuadro 5, Figura 1).

Los resultados de respuesta funcional obtenido mediante el método de Holling (23) y analizados mediante el modelo de Real (44, 45). Los valores de  $\beta$  obtenidos mediante el modelo Real son no significativamente diferentes en 1 para los cuatro estados de desarrollo (prueba de t, para huevo, larva y ninfa g.l.=6; adulto g.l.=5,  $P>0.05$ ), lo cual se reafirma que los datos obtenidos se ajustan a una respuesta funcional tipo II (Cuadro 3).

### **Criterios de selección de modelos en estudio**

Los valores derivados de los criterios de selección se muestran en el cuadro 4. Para evaluar la bondad del ajuste, es esencial examinar primero un gráfico de una curva superpuesta sobre los puntos de datos, es decir, hay que demostrar los datos por medio de las curvas de diferentes modelos para poder apreciar al menos visualmente el ajuste más apropiada, para los estados de huevo y adulto de *T. urticae* el modelo de Rogers es el que se ajusta, para el estado de larva los datos estimados por el modelo que mejor se ajustan a los datos observados es el de Fan y Petitt y la el estado de ninfa es el modelo de Holling (Figura 1). Los valores de  $\bar{R}^2$  ajustada encontrados tanto para los cuatro estados biológicos de *T. urticae* variaron entre 61.43 a 99.99 % (Cuadro 4) siendo el modelo de Fan y Petitt el menor y siendo de Rogers el mayor, ambos en el estado de huevo del fitófago.

Los criterios de selección permiten determinar qué tan bien los modelos se ajustan a una base de datos, para el caso de AIC se observo para el modelo de Livdahl y Stiven con -5.9776, -4.9784, -4.3287 y -5.5595 para huevo, larva, ninfa y adulto respectivamente (Cuadro 4). A pesar de que este modelo presentó los menores valores para los criterios de evaluación AIC, SBIC, AICc y PC, la variación entre modelos para el ajuste de los datos fue muy estrecha, indicando un adecuado ajuste de todos los modelos a los datos en estudio.

Comparando los algoritmos de Marquardt y Gauss-Newton en los modelos no lineales, para los casos de Holling (1959) y Rogers (1972) se arrojan los siguientes resultados. Para el estado de huevo y adulto de *T. urticae* el menor valor de AIC fue observado para el modelo de Roger (1972) con -1.1593 y 2.7970, respectivamente. El modelo de Holling obtuvo el valor más pequeño de AIC en los estados de larva y ninfa 3.7712 y 3.2585, respectivamente (Cuadro 4). Con respecto a los valores de SBIC, AICc y PC, en el estado larval del acaro fitófago fueron 2.7911, 4.7712 y 16.1523; y para ninfa 2.2683 4.2485 y 9.5765 respectivamente para el modelo Holling. Mientras que en los estados de huevo y adulto el modelo de Roger obtuvo los valores más bajos (huevo:- 2.1394, -0.1593 y 0.1167; adulto 1.8169, 3.7970 y 6.0971) (Cuadro 4).

## DISCUSIÓN

En este estudio el depredador *P. persimilis* consumió en todos los estados un promedio mayor al 60% una vez que alcanzo su saciedad el cual pudiera considerarse como un depredador voraz. Estos resultaos concuerdan con Holling (23) quien registra el número de presas consumidas en principio se eleva rápidamente con el aumento de la densidad de presas y en el punto de inflección se desacelerarse hasta llegar a un nivel asintótica (Figura 1). Los resultados de depredación obtenidos en este estudio fueron mayores a los reportados por Naher et al. (41), donde ellos obtuvieron un promedio de consumo de una hembra de *P. persimilis* de 27.54, 18.12 y 11.32 para los estados de desarrollo de huevos, inmaduros y adultos de *T. urticae*/día, respectivamente. Según Fernando y Hassel (16), el valor de máximo de capacidad de depredación de *P. persimilis* fue de 24 huevos ó larvas de *T. urticae* en 24 horas. Mientras que

Khalequzzaman et al. (29), obtuvieron un promedio de depredación de  $8.2 \pm 0.86$  huevos de *T. urticae* por un adulto de *P. persimilis* después de 24 horas.

*P. persimilis* mostro una preferencia por el consumo de huevo seguida por larva, ninfa y adulto de *T. urticae* (52.67, 49.13, 42.20 y 23.67 respectivamente, Cuadro 5). Estudios previos muestran que protoninfas de *P. persimilis* prefieren las larvas de *T. urticae* sobre deutoninfas, mientras que los adultos de *P. persimilis* prefieren deutoninfas sobre larvas (16). Un estudio realizado por Khalequzzaman et al. (29), demostraron que los adultos de *P. persimilis* atacan larvas y protoninfas de *T. pacificus*, pero prefieren huevos incluso cuando la disponibilidad de presas en fases móviles fueran abundantes.

Los parámetros de la respuesta funcional se estimaron mediante el método de mínimos cuadrados no lineal; el tiempo de manipulación ( $T_h$ ) del depredador fueron bajos, y la tasa de ataque altas (Cuadro 5) en comparación a los reportados por Hoque et al. (26) ( $a$ : 0.027, 0.009, 0.010 y 0.0036;  $T_h$ : 0.958, 0.580, 0.924, 1.75 y 4.16 para huevo larva ninfa y adulto respectivamente). García et al. (18), mencionan que diferentes factores afectan el consumo de presas por parte del depredador; por ejemplo, el tamaño de la presa afecta directamente el tiempo de manipulación ( $T_h$ ) y como consecuencia directa la tasa de ataque  $a'$ , ya que el depredador gasta más tiempo en manipular una presa cuando es de mayor tamaño. De acuerdo a lo esperado, el ayuno como un factor extrínseco de la depredación de *P. persimilis* influyo en el aumento de la capacidad de búsqueda, contrario a lo reportado por Martínez y Quiroz (36), el cual reporta una disminución en la tasa de ataque por este factor.

Fan y Pettit (4) encontraron que la transformación Woolf no sólo linealiza el modelo de Holling (23), sino que también reduce la heterogeneidad de varianza, lo que proporciona la mejor estimación de parámetros entre los cuatro modelos más usados y transformados linealmente (Holling, Rogers, Fan y Pettit, Livdahl y Stiven), así como la regresión no lineal. En base a esto, Sepúlveda y Carrillo (48) consideran, que los resultados de la transformación Woolf en la estimación de  $a'$  y  $T_h$  como el más preciso y, por lo tanto, la referencia estándar entre todos los modelos utilizados en este estudio. Sobre esta base, el tiempo de manipulación en la etapa de huevo, larva, ninfa y adulto, los modelos de Holling y Rogers, generan valores más altos para el tiempo de manipulación (es decir, se subestima este parámetro), mientras que el modelo de Livdahl y Stiven subestiman el parámetro en estado larval. Mientras que los modelos Holling y Rogers sobreestiman  $a'$  en la etapa de huevo, larva, ninfa y adulto (48,15)

En el Cuadro 2 y 4, se observan diferencias, debidas a los distintos objetivos con que han sido definidos los criterios de selección. Por ejemplo el criterio SBIC es también llamado Criterio de información Bayesiana (BIC), ha sido diseñado con el objetivo de ser consistente, varios estudios de simulación han tendido por verificar que SBIC consigue bien el orden correcto en muestras grandes, mientras que el  $AIC_C$  tiende a ser superior en muestras más pequeñas donde el número relativo de los parámetros es grande (37). El criterio  $C_p$  y PC tienen como objetivo elegir aquel modelo que minimice las medias de mínimas cuadradas de predicción (34; 4; 2), el criterio AIC sugiere la medición de la bondad de ajuste para estos modelos, equilibrando el error del ajuste contra el número de parámetros en el modelo (49). Un estudio exhaustivo sobre los distintos objetivos en los procedimientos de selección puede verse en Aznar (5).

Estudios anteriores han realizado comparación entre los modelos Holling, Fan y Pettitt, Livdahl y Stiven y Rogers (31, 36, 6, 48) encontrando diferencias entre ellos ya sea por el método de regresión que se utilizó y encuentran sobreestimadas o subestimadas los parámetros de tiempo de manipulación y/o la tasa de ataque, pero no los evalúan mediante criterios de selección para determinar cual se ajusta más a datos de depredación.

Muchos de los problemas potenciales son más fáciles de detectar gráficamente. Es inapropiado usar los resultados de un programa de regresión no lineal sin examinar un gráfico de los datos junto con el ajuste de la curva; por ejemplo el comportamiento de los valores estimados de depredación por el modelo de Rogers para los estados de larva y ninfa de *T. urticae* (Figura 1). Además de ver el gráfico, varios métodos estadísticos se pueden usar para cuantificar la bondad del ajuste (38). Menciona Johnson and Omland (27), que es un enfoque ingenuo la selección del modelo por  $\bar{R}^2$  ajustada aunque tenga el máximo ajuste sin considerar la complejidad del modelo, sin embargo, se tiene en cuenta el principio de parsimonia y, en consecuencia, puede resultar en estimaciones de los parámetros y predicciones imprecisas, por lo que es una técnica pobre para la selección de modelo. Por el contrario, las pruebas o criterios que dan cuenta tanto en complejidad y ajuste, son más adecuados para la selección de un modelo.

El mejor modelo es aquel que posea menor valor de AIC, SBIC, AICc y PC (11; 49). Doun (14) sugiere que los modelos con valores de AIC dentro de  $c$  del valor mínimo podría ser considerado competitivo (con  $c=2$  como un valor típico). El modelo

de Livdahl y Stiven fue el que resulto con menor AIC y AICc. Así como en los estadísticos SBIC y PC cuales son análogos del AICc pero con diferentes penalidades por la introducción de parámetros adicionales (11) también fueron menores. El AIC, SBIC, AICc y PC permiten determinar qué tan bien los modelos se ajustan a una base de datos.

Como la suma de los cuadrados totales (SCT) es siempre la misma para un conjunto de datos, el valor de la suma de cuadrados del error (SCE) depende exclusivamente del buen ajuste del modelo. Para el caso de larva y ninfa el modelo de tiempo continuo (Holling) fue el que mejor represento el conjunto de datos al ofrecer menor SCE, y con respecto al estadio de huevo y adulto el modelo de tiempo discreto (Rogers) fue el que mayor ajuste obtuvo a los datos. Lo anterior es avalado por los criterios AIC, SBIC, AICc y PC. Si bien los criterios balancean el cambio en la bondad de ajuste, evaluado por la suma de cuadrados (39). Mediante los seis criterios de selección el modelo de Livdahl y Stiven fue el que presento mayor ajuste a los datos para los cuatro estados de desarrollo.

La aplicación de distintas regresiones sobre un mismo problema nos permite realizar comparaciones, sin limitarse a un solo caso lineal o no lineal. La facilidad de que nos brindan las nuevas tecnologías, permite en poco tiempo efectuar comparaciones que nos permitan la correcta elección de un modelo adecuado, que describa a los datos, así como nos proporciona elementos de juicio suficientes para la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre.

## CONCLUSIONES

Existe una variedad de métodos para evaluar y comparar modelos de regresiones no lineales y lineales y determinar en base a estos cuál modelo debe de ser usado para obtener el mejor parámetro o la mejor curva que demuestre claramente el tipo de respuesta funcional. Existe una gran variedad de métodos de selección, dando oportunidad de elegir el más consistente para las condiciones intrínsecas del experimento. Aun que la selección de un modelo para explicar el conjunto de datos no debe estar basada solamente sobre medidas estadísticas, sino también se tiene que relacionar con la biología de las especies en estudio, ya que debe de concordar el comportamiento biológico con los parámetros estimados.

## BIBLIOGRAFIA

1. Ahmadi, A. 1983. Demographic toxicology as a method for studying the dicofol-two spotted spider mite (Acari:Tetranychidae) system. *Journal Economic Entomology* 76: 239-242.
2. Akaike, H. 1969. Fitting autoregressive models for prediction, *Annals of the Institute of Statistical Mathematics* 21: 243-247.
3. Akaike, H. 1973. Information theory and an extension of the maximum likelihood principal. Pp 267-281. *In* Petrov B.N. and F. Csaki, (eds.) 2nd International Symposium on Information Theory. Academia Kiado: Budapest.
4. Amemiya, T. 1980. Selection of Regressors. *International Economic Review* 21: 331-354.

5. Aznar, A. 1989. *Econometric Model Selection: A New Approach*. Dordrecht: 260 p. Kluwer Academic Publishers.
6. Badii, M.; Hernandez, E.; y Flores, S. 1993. Respuesta funcional de *Euseius mesembrinus* (Dean) en función de la densidad de *Brevipalpus californicus* (Banks) (Acari: Phytoseiidae, Tenuipalpidae). *Southwestern Entomologists*, **18**:301-304.
7. Berryman A. 1992. The origins and evolution of predator prey theory. *Ecology* **75**: 1530-1535.
8. Begon, M.; Harper, L.; Townsend, C. 1996. *Ecology: individuals, populations and communities*. 3rd ed. 1068 p. Blackwell Science Oxford, London.UK.
9. Box, G. 1976. Science and statistics. *Journal of the American Statistical Association* **71**: 791-79.
10. Bozdogan, H. 2000. Akaike's Information criterion and recent developments in information complexity. *Journal of Mathematical Psychology* **44**, 62-91.
11. Brockwell, J.; Davis, A. 1991. *Time series: Theory and methods*. 2nd ed. 577p. Springer-Verlag. Nueva York. USA.
12. Burnham, K.P.; Anderson, D.R.. 2002. *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretical Approach*. 488p. 2nd ed. Springer-Verlag, New York, New York, USA.
13. Chatterjee, S.; Price, B. 1977. *Regression analysis by example*. John Wiley and Sons, New York, New York, USA.
14. Duong, Q.P. 1984. On the choice of the order of autoregressive models: a ranking and selection approach. *Journal Time Series Analysis* **5**: 145-157
15. Fan, Y.Q.; Petitt, F.L. 1994. Parameter estimation of functional response. *Environmental Entomology* **23**: 785-794.

16. Fernando, M.H.J.P.; Hassell, M.P. 1980. Predator-prey responses in an acarine system. *Researches on Population Ecology* 22: 301–322.
17. Fournier, D.; Millot, P.; Pralavorio, M. 1985. Rearing and mass production of the predatory mite *Phytoseiulus persimilis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 38: 97-100
18. García J.; Benítez, E.; López-Ávila A. 2007. Efecto De la densidad de población de *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) Sobre la eficiencia del depredador *Delphastus Pusillus* (Coleoptera: Coccinellidae) *Revista Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 8: 17-21.
19. Gerson, U.; Smiley R. 1990. *Acarine Biocontrol Agents. A Illustrated Key and Manual.* 174 p. Chapman and Hall London, UK.
20. Hall, F.R.; Ferree D.C. 1975. Influence of twospotted spider mite population on photosynthesis of apple leaves. *Journal Economic Entomology* 68: 517-520.
21. Hassell, M.P. 1978. *The dynamics of arthropod predator-prey systems.* 248 p. Princeton University Press. Princeton, New Jersey, USA.
22. Helle, W.; Sabelis, M.W. 1985. *Spider mites: their biology, natural enemies and control.* 406 p. Volume 1A of the Series: World Crop Pests. Elsevier Science Publishing Amsterdam, The Netherlands.
23. Holling, C.S. 1959. Some characteristics of simple type of predation and parasitism. *The Canadian Entomologist* 91: 585-598.
24. Holling, C.S. 1966. The functional response of invertebrate predators to prey density. *Memoirs of the Entomology Society of Canada* 48: 1-86.
25. Hoque, F.; Islam, W.; 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: 01-08.
26. Hurvich, C.M.; Tsai, L. 1989. Regression and time series model selection in small samples. *Biometrika* 76: 297-307.
27. Johnson, J.; Omland, K. 2004. Model selection in ecology and Evolution. Trends in Ecology and Evolution 19: 101-108.
28. Juliano, S.A. 2001. Nonlinear curve fitting: Predation and functional response curves. 178-196 p. In Scheiner, S.M. and J. Gurevitch (eds.) Design and analysis of ecological experiments, 2nd ed. 415 p. Oxford University Press.
29. Khalequzzaman, M.; Mondal, M.; Haque M.; Sajedul, K.M. 2007. Predatory efficacy of *Phytoseiulus persimilis* athias-henriot (Acari: Phytoseiidae) on the two spotted spider mite *Tetranychus urticae* koch (Acari: Tetranychidae). Journal Bio-Science 15: 127-132.
30. Landeros, J.; Guevara, L.P., Badii, M.H.; Flores, F.; Pámanes, A. 2004. Effect of different densities of the twospotted spider mite *Tetranychus urticae* on CO<sub>2</sub> assimilation, transpiration and stomatal behaviour in rose leaves. Experimental Applied Acarology 32: 187-198.
31. Lipcius, R.; Hines, A. 1986. Variable functional responses of a marine predator in dissimilar homogeneous microhabitats. Ecology 67: 1361-1371.
32. Livdahl, T.P.; Stiven A.E. 1983. Statistical difficulties in the analysis of predator functional response data. The Canadian Entomologist 115: 1365-1370.
33. Malais, M.; Ravensberg, W.J. 1992. Knowing and recognizing: The biology of glasshouse pests and their natural enemies. 109 p. Koppert Biological Systems. Berkel in Rodenrijs, The Netherlands.

34. Mallows, C. 1973. Some Comments on *Cp*. *Technometrics* 15: 661-676.
35. Marquardt, D. W. 1963. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. *Journal of the Society of Industrial and Applied Mathematics*. 11: 431-441.
36. Martínez, J.; Quiroz, H. 1992. Respuesta funcional de *Laccophilus* sp. (Coleoptera: Dystiscidae) bajo ayuno sobre larvas de *Culex pipiens* L. (Diptera: Culicidae) en laboratorio. *Revista Biomédica* 3: 121-124.
37. McQuarrie, A.D.R.; Tsai, C-L. 1998. *Regression and Time Series Model Selection*. 455 p Singapore World Scientific.
38. Motulsky, H.; Ransnas L. 1987. Fitting curves to data using nonlinear regression: a practical and nonmathematical review. *Federation of American Societies for Experimental Biology Journal* 1: 365-374.
39. Motulsky H.; Christopoulos, A. 2003. *Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression*. 351p. GraphPad Software Inc., San Diego CA, USA, URL: [www.graphpad.com](http://www.graphpad.com).
40. Myung, I.J. 2000. The Importance of Complexity in Model Selection. *The Journal Mathematical Psychology* 44: 190-204.
41. Naher, N.; Islam, W.; Haque, M. 2005. Predation of three predators on two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* koch (Acari : Tetranychidae). *Journal of Life and Earth Science* 1: 1-4.
42. Ralston, M. L.; Jennrich, R. I. 1979. DUD, a derivative free algorithm for nonlinear least squares. *Technometrics* 1:7-14.
43. Real, L.A. 1977. The kinetics of functional response. *American Naturalist* 111: 298-300.

44. Real, L.A. 1979. Ecological determinants of functional response. *Ecology* 60: 481-485.
45. Rogers, D. 1972. Random search and insect population models. *Journal Animal Ecology* 41: 369-383.
46. SAS Institute (2004) SAS/STAT User's Guide. 5121 p. SAS Institute Inc., Cary, NC.
47. Schwarz, G. 1978. Estimating the dimension of a Model. *Annal of Statistics* 6: 461-464.
48. Sepúlveda, F.; Carrillo R. 2008. Functional response of the predatory mite *Chileseius camposi* (Acarina: Phytoseiidae) on densities of its prey, *Panonychus ulmi* (Acarina: Tetranychidae). *Revista de Biología Tropical* 56: 1255-1260.
49. Shumway, R.H.; Stoffer D.S. 2011. Time Series Regression and Exploratory 47-77 p. In Casella G., Fienberg, S. and Olkin I. (eds.) *Data Analysis Time Series Analysis and Its Applications: With R Examples*. Springer New York, NY. USA.
50. Sokal, R.R., Rohlf, F.J. 1995. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. 887 p. 3ra ed. Freeman, New York, USA.
50. Solomon, M.E. 1949. The natural control of animal populations. *Journal Animal Ecology* 18: 1-35.
51. Van de Vrie, M. 1985. Control of Tetranychidae in crops: greenhouse ornamentals, p 273–283. In Helle, W. and M.W. Sabelis (eds.) *Spider mites, their biology, natural enemies and control*, vol. 1B. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
52. Zemek, R., and G. Nachman. 1998. Interactions in a tritrophic Acarine Predator-Prey Metapopulation System: effects of *Tetranychus urticae* on the dispersal rates of

*Phytoseiulus persimilis* (Acarina: Tetranychidae, Phytoseidae). *Experimental and Applied Acarology* 22: 259-278.

Tabla 1. Modelos de respuesta funcional de tipo II Lineales y No Lineales.

Table 1. Models of type II functional response Linear and Nonlinear

| AUTOR                   | MODELO                                     |
|-------------------------|--|
| Holling (1966)          | $N_a = \frac{a T t N_o}{1 + (a' T h N_o)}$ |
| Fan y Petitt (1994)     | $\frac{N_o}{N_a} = \frac{1}{a} + T h N_o$  |
| Rogers 1972             | $N_a = N_o \{1 - e^{a(T h N_a - T t)}\}$   |
| Livdahl y Stiven (1983) | $\frac{1}{N_a} = \frac{1}{a N} + T h$      |

Tabla 2. Criterios y reglas de decisión para la selección del mejor modelo (Holling, Fan y Petitt, Rogers y Livdahl y Stiven).

Table 2. Criteria and decision rules for selecting the best model (Holling, Fan and Petitt, Rogers and Livdahl and Stiven).

| CRITERIO                               | ESTADISTICO  | Regla de decisión acepta mod1 frente a mod2 |
|--|--|---|
| Coefficiente de Determinación Ajustado | $\bar{R}^2 = \frac{RSS/n - 1 - p}{\sum (y_i - \bar{y})^2 / n - 1}$ | $\bar{R}_1^2 < \bar{R}_2^2$                 |
| Cp de Mallows                          | $\hat{\sigma}_1^2 + \frac{2n}{n-k} \hat{\sigma}_2^2$               | $C_{p1} < C_{p2}$                           |
| AKAIKE                                 | $AIC_i = \ln \hat{\sigma}_k^2 + \frac{2k}{n}$                      | $AIC_1 < AIC_2$                             |
| Schwarz's                              | $SBIC = \ln(\hat{\sigma}_i^2) + \frac{k_i \ln(n)}{n}$              | $SBIC_1 < SBIC_2$                           |
| AIC, sesgo corregido                   | $AIC_c = \ln(\hat{\sigma}_i^2) + \frac{n+k}{n-k-2}$                | $AIC_{c1} < AIC_{c2}$                       |
| Amemiya                                | $PC = \hat{\sigma}_i^2 \left( \frac{n+k}{n-k} \right)$             | $PC_1 < PC_2$                               |

Tabla 3. Resultados de la regresión lineal de log-transformado del modelo general de la respuesta funcional (Real 1977, 1979).

Table 3. Resultados de la regresión lineal de log-transformados de modelo general de la respuesta funcional (Real 1977, 1979).

| Características                | Huevo    | Larva    | Ninfa    | Adulto   |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Parametros estimados           |          |          |          |          |
| Intersecto                     | -5.03    | -4.82    | -4.77    | -3.98    |
| Pendiente                      | 1.95     | 1.71     | 1.71     | 1.87     |
| error estandar de la pendiente | 0.26     | 0.20     | 0.18     | 0.45     |
| Resumen estadístico            |          |          |          |          |
| Regresión ss                   | 13.630   | 55.803   | 55.816   | 29.283   |
| Residuos ss                    | 1.442    | 4.714    | 3.500    | 6.957    |
| Total ss                       | 15.072   | 60.517   | 59.316   | 36.241   |
| Regresión ss/ Total ss         | 0.904    | 0.922    | 0.941    | 0.808    |
| F-statistic                    | 56.69*** | 71.03*** | 95.69*** | 16.83*** |
| Prueba de Hpotesis             |          |          |          |          |
| $\beta=0$                      | ***      | ***      | ***      | *        |
| $\beta=1$                      | Ns       | Ns       | Ns       | Ns       |
| $\beta=2$                      | *        | *        | *        | §        |

\*\*\*P < 0.001, \*\*p < 0.01 \*P < 0.05, § P < 0.1

Tabla 4. Resultados del análisis de mínimos cuadrados no lineal y los criterios de selección de las respuestas funcionales.

Table 4. Results of least squares analysis nonlinear and linear and selection criteria and functional responses.

| ESTADIO | MODELOS                 | K | N | SCE     | $\hat{\sigma}^2$ | SSR       | SSNC o    | R <sup>2</sup> | $\bar{R}^2$ Adjustada | AIC            | SBIC           | AICc           | PC             |
|---------|-------------------------|---|---|---------|------------------|-----------|-----------|----------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|         |                         |   |   |         |                  |           | SST       |                |                       |                |                |                |                |
| HUEVO   | Holling (1966)          | 2 | 8 | 67.5048 | 11.2508          | 6784.800  | 6852.40   | 0.9901         | 0.9862                | 3.9204         | 2.9403         | 4.9204         | 18.7513        |
|         | Fan y Petitt (1994)     | 2 | 8 | 0.17867 | 0.0298           | 0.46991   | 0.64859   | 0.7245         | 0.6143                | -2.0140        | -2.9941        | -1.0140        | 0.0496         |
|         | Rogers (1972)           | 2 | 8 | 0.4200  | 0.0700           | 6851.9000 | 6852.40   | 0.9999         | <b>0.9999</b>         | <b>-1.1593</b> | <b>-2.1394</b> | <b>-0.1593</b> | <b>0.1167</b>  |
|         | Livdahl y Stiven (1983) | 2 | 8 | 0.0034  | 0.0006           | 0.858014  | 0.8614    | 0.9961         | 0.9945                | -5.9776        | -6.9578        | -4.9776        | 0.0009         |
| LARVA   | Holling (1966)          | 2 | 8 | 58.1483 | 9.6914           | 5508.20   | 5566.30   | 0.9896         | <b>0.9854</b>         | <b>3.7712</b>  | <b>2.7911</b>  | <b>4.7712</b>  | <b>16.1523</b> |
|         | Fan y Petitt (1994)     | 2 | 8 | 0.13719 | 0.0229           | 0.50881   | 0.64600   | 0.7876         | 0.7027                | -2.2782        | -3.2583        | -1.2782        | 0.0381         |
|         | Rogers (1972)           | 2 | 8 | 160.0   | 26.667           | 5406.3000 | 5566.30   | 0.9713         | 0.9598                | 4.7834         | 3.8033         | 5.7834         | 44.4444        |
|         | Livdahl y Stiven (1983) | 2 | 8 | 0.00922 | 0.0015           | 1.2378    | 1.24707   | 0.9926         | 0.9897                | -4.9784        | -5.9586        | -3.9784        | 0.0026         |
| NINFA   | Holling (1966)          | 2 | 8 | 34.475  | 5.7459           | 4242.800  | 4277.3000 | 0.9919         | <b>0.9887</b>         | <b>3.2485</b>  | <b>2.2683</b>  | <b>4.2485</b>  | <b>9.5765</b>  |
|         | Fan y Petitt (1994)     | 2 | 8 | 0.2523  | 0.04205          | 0.76356   | 1.01587   | 0.75163        | 0.65228               | -1.6688        | -2.6490        | -0.6688        | 0.0701         |
|         | Rogers (1972)           | 2 | 8 | 99.942  | 16.6570          | 4177.3000 | 4277.30   | 0.9766         | 0.9673                | 4.3128         | 3.3327         | 5.3128         | 27.7616        |
|         | Livdahl y Stiven (1983) | 2 | 8 | 0.0177  | 0.0029           | 1.78348   | 1.80113   | 0.9902         | 0.9863                | -4.3287        | -5.3089        | -3.3287        | 0.0049         |
| ADULTO  | Holling (1966)          | 2 | 8 | 22.842  | 3.8069           | 1232.80   | 1255.60   | 0.9818         | 0.9746                | 2.8368         | 1.8567         | 3.8368         | 6.3449         |
|         | Fan y Petitt (1994)     | 2 | 8 | 0.4160  | 0.0693           | 1.64781   | 2.06377   | 0.7984         | 0.7178                | -1.1689        | -2.1491        | -0.1689        | 0.1155         |
|         | Rogers (1972)           | 2 | 8 | 21.9497 | 3.6583           | 1233.7000 | 1255.60   | 0.9826         | <b>0.9756</b>         | <b>2.7970</b>  | <b>1.8169</b>  | <b>3.7970</b>  | <b>6.0971</b>  |
|         | Livdahl y Stiven (1983) | 2 | 8 | 0.00516 | 0.0009           | 0.73568   | 0.74084   | 0.9930         | 0.9903                | -5.5595        | -6.5396        | -4.5595        | 0.0014         |

K: parámetros, N: tamaño de la muestra, SCE: suma de cuadrados del error,  $\hat{\sigma}^2$ : estimadores de máxima verosimilitud de la varianza del término de error, SSR: Suma de cuadrados Regresión, SSNC: Suma de cuadrados no corregidos caso modelo no lineal, SST: suma de cuadrados totales caso modelo lineal.

K: parameters, N: sample size, SCE: sum of error squares.  $\hat{\sigma}^2$ : maximum likelihood estimators of the variance of the error term, SSR: Sum of Squares Regression, SSNC: Sum of squares uncorrected case nonlinear model, SST: total sum of squares linear model case.

Tabla 5. Presas Consumidas por *P. persimilis* y presas estimadas por los cuatro modelos, y parámetros de la respuesta funcional.

Table 5. Prey Consumed by *P. persimilis* and estimates by the four models, and parameters of the functional response

| HUEVO |       |        |        |          |        | LARVA |        |        |        |        |
|-------|-------|--------|--------|----------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| No    | Na    | NH     | NFP    | NR       | N L&V  | Na    | NH     | NFP    | NR     | N L&V  |
| 1     | 1.00  | 1.42   | 1.02   | 1.00     | 0.98   | 0.80  | 1.12   | 0.90   | 0.97   | 0.82   |
| 2     | 1.80  | 2.79   | 2.02   | 2.00     | 1.93   | 1.93  | 2.21   | 1.79   | 1.93   | 1.63   |
| 4     | 3.40  | 5.42   | 3.99   | 4.00     | 3.79   | 3.27  | 4.32   | 3.53   | 3.85   | 3.22   |
| 8     | 8.00  | 10.25  | 7.76   | .8.00    | 7.27   | 6.60  | 8.28   | 6.87   | 7.65   | 6.33   |
| 16    | 15.87 | 18.47  | 14.70  | 16.00    | 13.48  | 13.80 | 15.27  | 13.06  | 14.95  | 12.19  |
| 32    | 31.87 | 30.83  | 26.57  | 32.00    | 23.52  | 24.87 | 26.42  | 23.79  | 28.17  | 22.73  |
| 64    | 52.20 | 46.34  | 44.59  | 52.22    | 37.46  | 47.80 | 41.61  | 40.37  | 37.27  | 40.03  |
| 100   | 52.67 | 56.58  | 58.99  | 55.66    | 47.62  | 49.13 | 52.46  | 53.89  | 55.08  | 55.13  |
| a'    |       | 1.4395 | 1.0274 | 100.0450 | 0.9872 |       | 1.1311 | 0.9053 | 3.4796 | 0.8219 |
| Th    |       | 0.0107 | 0.0072 | 0.0188   | 0.0109 |       | 0.0102 | 0.0075 | 0.0157 | 0.0060 |

| NINFA |       |        |        |        |        | ADULTO |        |        |         |        |
|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| No    | Na    | NH     | NFP    | NR     | N L&V  | Na     | NH     | NFP    | NR      | N L&V  |
| 1     | 0.67  | 1.10   | 0.82   | 0.98   | 0.68   | 1.00   | 1.12   | 0.91   | 1.00    | 0.98   |
| 2     | 1.67  | 2.16   | 1.62   | 1.95   | 1.33   | 1.80   | 2.17   | 1.79   | 2.00    | 1.89   |
| 4     | 3.07  | 4.20   | 3.19   | 3.90   | 2.60   | 3.40   | 4.12   | 3.44   | 4.00    | 3.50   |
| 8     | 6.00  | 7.96   | 6.20   | 7.74   | 4.96   | 4.67   | 7.44   | 6.38   | 8.00    | 6.11   |
| 16    | 12.80 | 14.41  | 11.74  | 15.13  | 9.06   | 12.73  | 12.48  | 11.14  | 15.96   | 9.74   |
| 32    | 24.67 | 24.19  | 21.18  | 27.61  | 15.44  | 22.27  | 18.87  | 17.76  | 22.17   | 13.87  |
| 64    | 40.93 | 36.63  | 35.46  | 32.98  | 23.83  | 23.67  | 25.35  | 25.26  | 23.69   | 17.60  |
| 100   | 42.20 | 44.96  | 46.81  | 46.52  | 29.63  |        |        |        |         |        |
| a'    |       | 1.1129 | 0.8222 | 3.9029 | 0.6847 |        | 1.1524 | 0.9336 | 12.5986 | 1.0235 |
| Th    |       | 0.0133 | 0.0092 | 0.0199 | 0.0191 |        | 0.0259 | 0.0228 | 0.0407  | 0.0416 |

Densidad de presas inicial (No), media observada de presas atacadas (Na) y el número esperado de presas atacadas basado en Holling (1959b) (NH), Fan y Pettitt (NFP), Livdahl y Stiven (1983) (NL & S) y Rogers (1972) (NR).

Initial prey density (No), prey attacked (Na), expected number of prey attacked based on Holling (NH), Fan and Pettitt (NFP), Livdahl and Stiven (NL & S) and Rogers (NR).

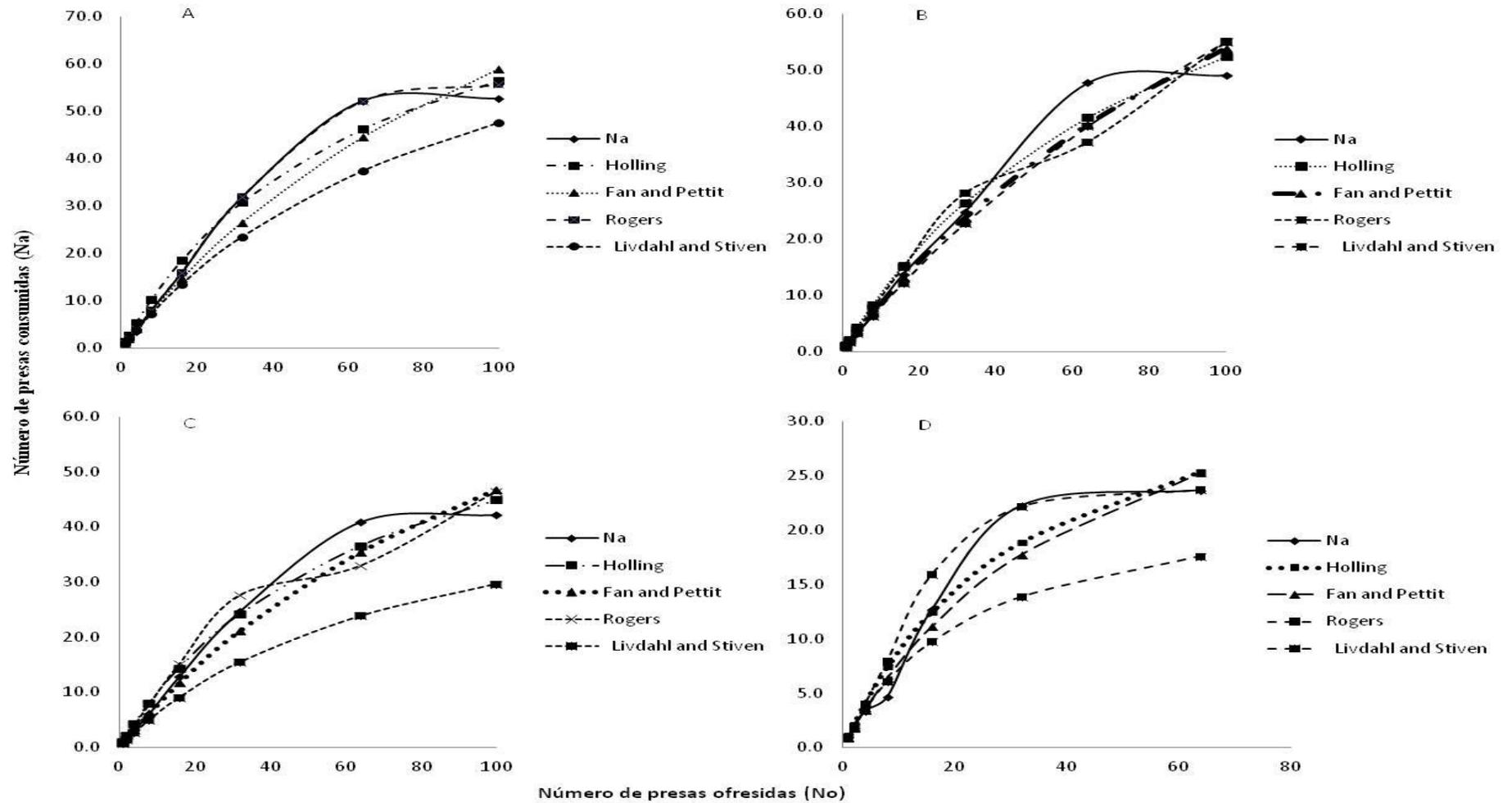


Figura 1. Consumo de presas observadas y estimadas por *P. persimilis* sobre los cuatro estados de *T. urticae*. A: Huevo, B: Larva, C: Ninfa, D: Adulto.

Figure 1. Consumption of prey observed and estimated per *P. persimilis* on the four stages of *T. urticae*; A: Egg, B: Larvae, C: Nymph, D: Adult.

## ARTICULO II

### INTERACCIÓN ENTRE *Phytoseiulus persimilis* (ATHIAS-HENRIOT) Y *Tetranychus urticae* (KOCH) EN CULTIVOS DE ROSAL

#### RESUMEN.

Se estudió la interacción entre el ácaro depredador *Phytoseiulus persimilis* y su presa *Tetranychus urticae* en nueve variedades de rosal bajo invernadero. La eficiencia del ácaro depredador se estudió mediante la dinámica poblacional de *T. urticae* sobre los rosales. Se observó excelente control biológico sobre los cuatro estados de desarrollo de *T. urticae* en siete de las nueve variedades con una relación depredador-presa 1:40. Se observaron diferencias en el comportamiento de los cuatro estados de desarrollo de *T. urticae* y *P. persimilis* sobre las nueve variedades de rosal; el ácaro de dos manchas presentó menor control en las variedades de Red Baiser y Royal, prolongándose dos semanas más en comparación con las otras siete variedades.

Palabras clave. Dinámica poblacional, Control biológico, Invernadero

#### INTRODUCCIÓN

México ocupa el cuarto lugar a nivel mundial en superficie cultivada de ornamentales con 23 mil 417 hectáreas de cultivo, 75 por ciento a cielo abierto y 25 por ciento en invernaderos o viveros (SAGARPA, 2011). Entre las plagas principales que afectan a los cultivos ornamentales se encuentra el ácaro de dos manchas (*Tetranychus urticae* Koch, Acarina: Tetranychidae) (Calvitti, 2000; Capinera, 2001) especialmente en varias especies de rosal (*Rosa* spp.) (Nicetic et al. 2001). Los

síntomas típicos producidos por la alimentación de *T. urticae* en la planta incluyen alteraciones mecánicas y bioquímicas (Tomczyk y Kropcznska, 1985; Kheradpir et al., 2007) causando abscisión de la hoja en infestaciones graves (Gorman *et al.*, 2001; de Moraes y Flechtmann, 2008). Densidades entre 10 y 50 ácaros por hoja en rosales de invernadero causan una reducción del largo de los tallos florales del 17% y 26%, respectivamente, en comparación con plantas que no tienen presencia de ácaros fitófagos (Landeros et al., 2004).

El control químico ha sido el principal método usado para el manejo de *T. urticae* en cultivos ornamentales (Jeppson et al., 1975; de Moraes y Tamai, 1999), su uso indiscriminado ha producido resistencia después de algunas generaciones (Stumpf et al., 2001; Stumpf y Nauen, 2002). El control biológico ofrece una alternativa para el manejo de *T. urticae*, y el depredador *Phytoseiulus persimilis* Athias Henriot (Acari: Phytoseiidae) el agente biológico más utilizado sobre *T. urticae* (Gillespie y Raworth, 2004).

En el estudio de la dinámica de población de las especies plaga, es fundamental considerar los sistemas depredador-presa, parasitoide-hospedante, y patógeno-hospedante (Gámez et al. 2000). La depredación conduce inevitablemente a la eliminación de las presas individuales de los sistemas ecológicos, que tienen un gran impacto en la dinámica poblacional de presas y ecosistemas enteros (Lima, 1998). A su vez, los modelos de población son una herramienta clave para entender las interacciones de una o más especies en el tiempo. (Aguirre et al., 2009; González et al., 2011; González y Rojas, 2012). Por lo que, el objetivo de este estudio es mostrar

la interacción entre el depredador *P. persimilis* sobre todos los estados de desarrollo de *T. urticae*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación, se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Buenavista, Saltillo, Coahuila. Las especies que se utilizaron para el estudio de depredación fueron *T. urticae* como presa y *P. persimilis* como depredador ambos en sus cuatro estados de desarrollo (huevo, larva, ninfa y adulto). La colonia de *T. urticae* se estableció en plantas de frijol pinto (*Phaseolus vulgaris*) a una temperatura  $27 \pm 2^\circ\text{C}$  con 60-70% HR. Los ácaros depredadores fueron adquiridos del producto comercial Spical® (Koppert, S.A. México).

El estudio se llevó a cabo bajo condiciones de invernadero en una cama de siembra de 60cm x 9m; se utilizaron nueve variedades de rosal para la realización del experimento: 1.- Ojo de toro, 2.- Virginia, 3.- Selena, 4.- Visión, 5.- Red Baiser, 6.- Samuray, 7.- Royal, 8.- Keiro, 9.- Anastasia. Al inicio del experimento se sembraron 10 plantas por variedad a una distancia de 10 cm a una temperatura de  $24 \pm 4^\circ\text{C}$  y  $60 \pm 10\%$  de H.R. Se fertilizaron semanalmente por un periodo de 101 semanas, con [KNO<sub>3</sub>](#) (36.1010 g), NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (35.1612 g) y (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> (13.7478 g). 25 días antes de la infestación se aplicó Dibro1® 2.5 CE (1mL/L de agua) para evitar la presencia de otros insectos comunes en este cultivo. Una semana antes de la infestación se dejó de fertilizar para evitar algún efecto de los macroelementos (Wermelinger et al., 1985; Wermelinger et al., 1991; Kielkiewicz et al., 2006; Najafabadi et al., 2011). Posteriormente se realizó una infestación inducida con 100 ácaros hembras adultas y

recién apareadas en cada variedad, una semana después se realizó un muestreo y se registro el número de huevos, larvas ninfas y adultos presentes, en tres folíolos tomados aleatoriamente en 8 plantas de cada variedad; una semana después de la infestación se realizó la liberación de *P. persimilis* bajo una relación depredador presa de 1:40. Los depredadores se trasladaron en cajas petri de 5cm de diámetro y se colocaron cuatros adultos por estrato en ocho plantas de cada variedad. Después de la liberación, las evaluaciones se realizaron semanalmente; observándose al azar tres folíolos por estrato (inferior, medio y superior), cada una por el envés y el haz, con tres repeticiones por estrato por variedad.

Se realizó un registro semanal de las poblaciones presa-depredador utilizando un Microscopio portátil de 30x, registrando de manera separada el número de huevos, larvas, ninfas y adultos (hembras y machos) de la presa y del depredador en estudio.

Los datos de la población inicial de los cuatro estados de desarrollo de *T. urticae* fueron analizados mediante un análisis de varianza de una vía. Para determinar la preferencia de oviposición y ubicación del algún estado de la plaga según el nivel de estrato y la variedad se realizó un ANVA de dos vías; para ambos análisis las medias se compararon a través de la prueba de Fisher a un nivel de significancia del 5%, se transformaron los datos cuando fuera necesario para cumplir con la homogeneidad de varianza, utilizando el programa SAS/STAT (SAS, 2001). Los datos obtenidos después de la liberación, se analizaron mediante el análisis de varianza de tres vías. Las medias se compararon a través de la prueba de Fisher a un

nivel de significancia del 5%, para estos análisis se utilizó el programa SAS/STAT (SAS, 2001).

Se utilizó el modelo exponencial para determinar la preferencia del depredador por algún estado de desarrollo del fitófago:  $N(t) = N_0 e^{-\beta t}$ ; donde:  $N_0$  es la población inicial y  $\beta$  es la tasa de decrecimiento de algún estado de desarrollo de *T. urticae* causada por el depredador. Para determinar la preferencia de consumo del depredador fue mediante  $\beta$ , entre mayor sea más alta es la preferencia.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Población Inicial

Los resultados del análisis de varianza de una vía, de la población inicial arrojaron diferencias significativas entre estados de desarrollo ( $F= 5.79$ ;  $gl=3,320$ ;  $P=0.0007$ ); siendo con el mayor promedio el estado de huevo con 20.91 seguido por adulto, ninfa y larva con 12.58, 9.69 y 8.13 respectivamente. La oviposición del ácaro de dos manchas tuvo preferencia por algún estrato según la variedad de rosal ya que el análisis de varianza de dos vías arrojó diferencias significativas en la interacción ( $gl=16,54$ ;  $F=3.45$ ;  $P=0.0003$ ). La variedad Selena la que presentó mayor promedio de huevos en los estratos superior (135.33) e inferior (58.00) y Virginia en el estrato medio (15.00); y Keiro presentó el promedio menor (5.00) en el estrato superior y Visión en el estrato medio e inferior con 2.67 y 0.00 respectivamente (Cuadro 1 y 2). La población del estado larval no presento preferencia por algún estrato según la variedad ( $gl=16,54$ ;  $F=0.95$ ;  $P=0.5223$ ); mientras que la población del estado de Ninfa si mostro preferencia ( $gl=16,54$ ;  $F=2.13$ ;  $P=0.0198$ ), siendo la variedad Virginia en el estrato superior con mayor promedio (18.33) y Keiro (15.67)

en el estrato medio y Royal en el inferior (60.33); el menor promedio de ninfas sobre el estrato superior y medio fue Ojo de Toro con 1.67 y 0.67 respectivamente (Cuadro 1 y 2).

La población del estado adulto de *T. urticae* no reflejó diferencias significativas en la interacción entre los estratos y variedades ( $gl=16,54$ ;  $F=1.32$ ;  $P=0.2176$ ), por lo que estos dos factores son independientes y no realizan un efecto en la densidad poblacional del ácaro adulto. Por lo que el ANVA sí reflejó diferencias por factor, en el caso del nivel de estrato el ácaro de dos manchas presentó una preferencia por el estrato superior (17.78) seguido por el inferior (10.85) y medio (9.11) (Cuadro 1, 2).

El comportamiento de las diferencias observadas en este estudio entre variedades y nivel de estrato son probablemente a la existencia de mecanismos de defensa (Peralta y Tello, 2011). En este sentido, las nueve variedades de rosal ofrecen condiciones diferentes que afectan la biología de *T. urticae* y *P. persimilis*. Estas condiciones involucran aspectos químicos, nutritivos, aspectos físicos como la pubescencia, la resistencia de los tejidos, la estructura superficial de las hojas, la superficie disponible para cada individuo y a los componentes secundarios de las plantas (Agrawal, 2000; Balkema-Boomstra et al., 2003; Biswas et al., 2004). Estos factores pueden reducir la calidad alimenticia, reduciendo la digestibilidad y afectando a la fertilidad, el crecimiento, la densidad poblacional, la supervivencia, el desarrollo y la mortalidad de los estados juveniles de las arañas rojas (Peralta y Tello, 2011). A su vez las diferencias entre los estratos siendo el superior el de mayor población, mencionan Jeppson et al., (1975) que el estrato superior es de

colonización y sus hojas son buscadas posiblemente por un gradiente de más alta humedad.

### **Preferencia de consumo**

Los resultados de la regresión del modelo exponencial fueron: adulto  $N(t) = 135.7e^{-0.215t}$ ,  $R^2 = 0.88$ ; huevo  $N(t) = 264.6e^{-0.301t}$ ,  $R^2 = 0.87$ ; larva  $N(t) = 112.3e^{-0.308t}$ ,  $R^2 = 0.89$ ; ninfa  $N(t) = 145.0e^{-0.133t}$ ,  $R^2 = 0.88$ ; mediante la tasa se determinó que el depredador tuvo una preferencia por larva y huevo con 0.308 y 0.301 respectivamente, siendo éstas las más altas, seguidas por ninfas (0.133) y adultos (0.215). Estudios previos muestran que el consumo sobre los estados más jóvenes de la plaga puede ser atribuida a la preferencia de *P. persimilis* sobre huevos y larvas (Fernando y Hassell, 1980; Hilarión et al., 2008).

### **Interacción *T. urticae*-*P. persimilis***

El análisis de varianza de tres vías para la población de *T. urticae* y *P. persimilis* arrojaron diferencias significativas en los factores y sus interacciones ( $P > 0.05$ ) (Cuadro 3), es decir, por un lado la poblacional de *T. urticae* depende de la relación que existe entre los estados de desarrollo, las variedades de rosal y el tiempo (semanas) que duró el estudio; a su vez esta relación influye sobre la población del depredador.

Después de la liberación de *P. persimilis*, la variedad Royal presentó el mayor promedio de adultos, ninfas y larva con 174.9, 208.5 y 94.3 respectivamente; y

Selena con 119.1 huevos en promedio de *T. urticae*. Por el contrario, Virginia presentó menor promedio en huevos, larvas, ninfas y adultos con 11.3, 4.3, 29.9 y 10.5 respectivamente (Cuadro 4). En los ocho muestreo que se realizaron, las variedades Royal y Red Baiser presentaron mayor promedio poblacional del fitófago en comparación con los demás cultivares (Cuadro 4). Con respecto al comportamiento de los cuatro estados de desarrollo de *T. urticae*, el estado de huevo fue el que presentó una disminución drástica de 100.2 a 0.1 huevos en promedio en los ocho muestreos de estudio seguido por larva (58.2~0.4), adulto (47.6~0.2) y ninfa (100.8~4.2).

Existieron diferencias significativas entre los factores sobre la población de *P. persimilis* ( $P>0.05$ ) (Cuadro 3), es decir la población del fitoseido es afectada por las interacciones entre el tiempo y los estados de desarrollo y las nueve variedades. En la semana cinco el fitoseido llegó a su máximo crecimiento poblacional con un promedio de 10.9, 9.8 y 2.2 para adultos, huevo y larva respectivamente, para el caso de ninfas fue en la semana seis con 3.6 ácaros en promedio y en la semana uno y dos fueron las que menor promedio presentaron con 0.7 y 0.1 respectivamente (Cuadro 4). Por otro lado, la variedad Red Baiser fue la que presentó mayor población de *P. persimilis* con 8.3 en la primer muestreo después de la liberación del fitoseido mientras que en la variedad Visión no se observó ningún estado de desarrollo del depredador, a su vez Virginia y Ojo de Toro presentaron en general los promedios más bajos en los ocho muestreos (contabilizando los cuatro estados de desarrollo), mientras que Royal y Selena presentaron promedios similares, así como Keiro y Samuray durante las ocho semanas que duró el estudio después de la liberación (Cuadro 4).

Los resultados en la cuarta y quinta semana sobre la variedad Samuray concuerdan con el incremento poblacional de *T. urticae* en la cuarta semana (118.25 promedio de los cuatro estados) por lo que a la quinta semana se duplicó la población de *P. persimilis* y disminuyó la población del fitófago a 29.00. La población del fitoseido y fitófago presentaron comportamientos inversos en la variedad Keiro, en la tercera, cuarta y quinta semana el fitófago presentó un promedio poblacional de 80.50, 31.50 y 11.50 y el depredador 8, 10 y 28 en las mismas semanas. Este comportamiento es similar a lo observado por Moya y Ferragut, (2009), ellos mencionan que en plantas de porte bajo, la eficacia del depredador depende de su habilidad para distribuirse espacialmente de acuerdo con su presa, agrupándose en las hojas o partes de la planta donde la población de la araña roja es mayor. Los mismos autores mencionan que la agregación de los fitoseidos está causada por dos hechos: pasan más tiempo en las zonas donde se concentra la presa y su potencial biótico, en estos lugares es mayor debido a un incremento en su supervivencia y fecundidad por la gran cantidad de alimento disponible. La importancia de estos dos factores ha sido puesta de manifiesto por Takafuji y Chant (1976) en estudios de laboratorio, ya que en campo no es posible separar estos efectos que son consecuencia de la distribución de la presa. Las variedades con menores presencia fueron Ojo de Toro en estado adulto del depredador con uno, Virginia y Anastasia con tres ninfas, Virginia y Visión ambos con una larva, Ojo de Toro y Virginia con nueve huevos. En un estudio realizado por Port y Scopes (1981) mostraron que pequeños números de *P. persimilis* pueden controlar al ácaro de dos manchas sobre fresas bajo invernadero en el sur de Inglaterra.

### **Dinámica poblacional de *T. urticae* y *P. persimilis***

Mediante los cambios poblacionales de los cuatro estados de desarrollo del ácaro de dos manchas se observó la eficiencia de *P. persimilis*. El cuadro 6 muestra el total de fitófagos al inicio y termino del estudio, por lo que el número de huevos sobre los cultivares de rosal en siete de las nueve variedades, el depredador controló al fitófago. La variedad Keiro presentó mayor control sobre los huevos del fitófago en la semana cinco (de 91 a 0, semana cero a la semana cinco), seguida por las variedades Anastasia y Visión en la semana seis (de 90 a 0 y de 224 a 0 respectivamente), y en la semana siete Virginia, Selena Samuray y Royal (de 140 a 0, de 621 a 0, de 35 a 0 y de 185 a 0 respectivamente), y para la siguiente semana Ojo de Toro y Red Baiser (de 203 a 0 y de 119 a 1).

Con respecto al estado de larva, Visión y Anastasia fueron donde el depredador presentó más eficiencia al eliminar a la plaga en la semana cuatro (de 49 a 0 y de 52 a 0 respectivamente), seguidas por Virginia, Selena y Keiro (de 81 a 0, de 81 a 0 y de 141 a 0 respectivamente), en la sexta semana Ojo de Toro y Samuray ya no presentaron presencia de la plaga (de 30 a 0 y de 40 a 0), para la siguiente semana Red Baiser y Royal (de 38 a 0 y de 147 a 0 respectivamente).

En la variedad Keiro, el fitoseido eliminó a ninfas de la plaga en la sexta semana después de su liberación, pasando de una población inicial de 103 a 0 ninfas. Virginia, Visión y Anastasia en la semana siguiente con poblaciones iniciales de 129, 32, 67 a 0 ninfas respectivamente, y para la octava semana en las variedades Ojo de Toro, Samuray y pasando de 11, 23 a 0, pero en las variedades Selena, Red Baiser y

Royal todavía se presentaban algunas ninfas (86,111, 218 a 1,33, y 4 respectivamente). Mientras que la tendencia de la dinámica poblacional de adultos de *T. urticae*, se comporto similar en seis de las nueve variedades siendo: Ojo de Toro, Virginia, Selena, Visión, Samuray y Anastasia con poblaciones iniciales de 43, 84, 185, 89, 47 y 132 y para la séptima semana no se observaron adultos de la plaga. Y en la octava semana en Red Baiser y Keiro no se observó la presencia del fitófago; en la última semana de evaluación en la variedad Royal se observaron dos fitófagos.

La población del ácaro de dos manchas tuvo el mismo comportamiento después de la liberación del depredador sobre las variedades Ojo de Toro, Virginia, Selena, Visón, Royal, Keiro y Anastasia (Cuadro 5). Esta investigación mostró un comportamiento similar a un estudio realizado por Decou (1994), donde la población de *T. urticae* en tres de siete campos de producción de fresas presentó un decrecimiento de la población al momento que observaron los primeros depredadores. Las variedades Royal y Red Baiser tuvieron un comportamiento fluctuacional con tendencia al control o eliminación de la plaga en un periodo de dos a tres semanas más respectivamente, por lo que el depredador requiere más tiempo comparado con las otras siete variedades. Este comportamiento es similar a un estudio realizado por Decou (1994) mostrando que *P. persimilis* redujo la población de *T. urticae* en el cuarto campo de producción de fresas en más tiempo comparado con los otros tres campos de producción. Después que creció la población del depredador y disminuyó la de su presa en las siete variedades antes mencionadas, en la quinta semana se observó en las variedades Royal y Red Baiser una respuesta favorable en el decrecimiento de la plaga (Cuadro 5). Una respuesta del excelente control de *P. persimilis* es la rápida propagación en busca de su presa, en un estudio realizado por Oatman et al. (1967) ellos demostraron que después de 2~3 semanas de la liberación

inicial en parcelas de fresas en el cual no se liberaron *P. persimilis*, ya se encontraba el depredador en busca de la presa, los sitios de liberación estuvieron de 5-10 ft (1.52-3.05 m) de distancia con respecto a las parcelas de donde no liberaron al depredador.

El comportamiento de *P. persimilis* en estado de huevo en la primera semana de conteo después de su liberación, en la variedad Red Baiser arrojó el mayor número con 24 y siendo ésta el segundo cultivar con mayor número con 55 en total en las ocho semanas, solo detrás de Samuray con 61 y en tercero Selena con 45. El menor número de huevos lo obtuvo Ojo de toro con 9 y el siguiente fue Visión con 10 (Cuadro 6). Red Baiser fue la que presentó un comportamiento constante en el número de huevos. En contraste, en el estado larval se observaron menores presencias, en Kerio en la cuarta semana 13 larvas, seguida por Samuray con 8 en la quinta semana. Mientras Red Baiser y Royal presentaron 12 ninfas hasta la sexta semana. En adultos las mayores presencias las obtuvieron las variedades Keiro con 8, 10 y 28 en la tercera, cuarta y quinta semana, Samuray con 10 y 20 en la cuarta y quinta semana seguida por Red Baiser por 9 y 14 en la quinta y sexta semana (Cuadro 6).

Se utilizó una relación depredador-presa 1:40 dando resultados a partir de la tercer semana después de la liberación del fitoseido, observándose una disminución y una tendencia de eliminación del fitófago en los estados de desarrollo de huevo, larva y adulto en las nueve variedades de rosal, por el contrario en el estado de ninfa sólo se obtuvieron excelentes resultados en las cultivares de Virginia, Visión, Keiro, Anastasia y Selena, en general Red Baiser fue la que presentó más población en los

cuatro estados de desarrollo del ácaro de dos manchas. En un estudio realizado por Mori y Imabayashi (1975) encontraron que poblaciones de *T. urticae* en condiciones de invernadero son eliminados por la introducción de *P. persimilis* dentro de 4~5 semanas a 20°C a 30°C. Mientras que Opitetal (2005) investigó el uso de *P. persimilis* para el control de *T. urticae* sobre el crecimiento de plantas de geranium y compararon la liberación de *P. persimilis* en razones depredador presa de 1:4, 1:20 y 1:60, usando una muestra de plantas, ellos determinaron que el umbral de acción para prevenir el daño económico fue de dos ácaros por hoja y el daño fue significativamente reducido si el *P. persimilis* fue liberado con una relación depredador presa de 1:4 y 1:20, pero no en 1:60. La presencia de *P. persimilis* en algunos casos mostró densidades menores que en otras variedades, pero aun así tienen asistencia en estos sucesos de controlar a la plaga cual fue el caso en la variedad Virginia, Ojo de Toro, y Anastasia (Cuadro 2, Cuadro 5).

## LITERATURA CITADA

- AGRAWAL, A.2000. Host-range evolution: adaptation and tradeoffs in fitness of mites on alternative hosts. *Ecology* 81: 500-508.
- Aguirre, P., E. González-Olivares, E S´aez. 2009. Three limit cycles in a Leslie-Gower predator-prey model with additive Allee effect. *SIAM Journal on Applied Mathematics* 69:1244–1262.
- Calvitti, M. 2000. Caratterizzazione biologica ed ecologica di due acari (*Tetranychus urticae* e *Phytoseiulus persimilis*) interagenti in alcuni ecosistemi agrari. *Inn-Bioagr-Eco. Italia*. 44p.
- Capinera, J. L. 2001. *Handbook of vegetable pests*. Academic, New York.

- Carter, A., and B. Spiering. 2002. Optical properties of intact leaves for estimating chlorophyll concentration. *J. Environ. Qual.* 31: 1424-1432.
- Balkema-Boomstra, A.; Zijlstra, S.; Verstappen, F.; Inggamer, H.; Mercke, P.; Jongsma, M. and Bouwmeester, H. 2003. Role of Cucurbitacin C in resistance to spider mite (*Tetranychus urticae*) in Cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Journal of Chemical Ecology* 29: 225-235.
- Biswas, G. C.; Islam, W.; Haque, M.M.; Saha, R. K.; Hoque, K. M. F.; Islam, M. S. and Haque, M. E. 2004. Some biological aspects of Carmine Mite, *Tetranychus cinnabarinus* Boisd. (Acari: Tetranychidae) infesting egg-plant from Rajshahi. *Journal of Biological Sciences* 4 (5): 588-591.
- de Moraes, G.; Tamai, M. 1999. Biological control of *Tetranychus* spp on ornamental plants. *Acta Horticulturae (ISHC)* 482:247-252.
- de Moraes GJ, C.H.W. Flechtmann. 2008. Manual de acarologia. Acarologia básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil. Holos Editora, Ribeirão Preto
- Decou, G.C. 1994. Biological control of the two-spotted spider mite (Acarina: Tetranychidae) on commercial strawberries in Florida with *Phytoseiulus persimilis* (Acarina: Phytoseiidae). *Fla. Entomol.* 77: 33–41.
- Gámez M., R. Carreño, A. S. Andújar, P. Barranco Y T. Cabello. 2000. Modelos matemáticos de depredador-presa en cultivos hortícolas en invernadero en el Sudeste de la Península Ibérica. *Bol. San. Veg. Plagas*, 26: 665-672.
- Gillespie, D.R. and D.A. Raworth. 2004. Biological control of two-spotted spider mites on greenhouse vegetable crops, p. 185–199. In: K.M. Heinz, R.G.

- González, E., J. Mena, A. Rojas, J. D. Flores. 2011. Dynamical complexities in the Leslie-Gower predator-prey model as consequences of the Allee effect on prey, *Applied Mathematical Modelling* 35:366–381.
- González, E., A. Rojas. 2012. Limit cycles in a Gause-type predator prey model with sigmoid functional response and weak Allee effect on prey, *Math. Meth. Appl. Sci.* 35:963–975.
- Gorman K., F. Hewitt, I. Denholm, G.J. Devine. 2001. New developments in insecticide resistance in the glasshouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) and the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) in the UK. *Pest Manag Sci* 58:123–130
- Hussey, N.W. and Parr, W.J. 1963. The effect of glasshouse red spider mite (*Tetranychus urticae* Koch) on the yield of cucumbers. *J. Hort. Sci.*, 38: 255-263.
- Jeppson, L. R; Keifer, H. H; Baker, E.W. 1975. *Mites injurious to economic plants.* University California. 614p
- Karlik, J.F., P.B. Goodell and G.W. Osteen. 1995. Sampling and treatment thresholds for spider mite management in field grown rose plants. *HortScience* 30:1268–1270.
- Kielkiewicz, M., Pitera, E., Olszac, I., and Żurańska. 2006. Spider-mite susceptibility of scab Vf –resistant apple genotypes. *Biological Letters* 43(2): 327-334.
- Kheradpir, N.; Khalghani, J.; Ostovan, H. and Rezapanah, M. R. 2007. The comparasion of demographic traits in *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) on five different greenhouse cucumber hybrids (*Cucumis sativus*). *Acta Hortic.* 747:425-429.

- Landeros, J. Rodriguez, S. Badii, M.H., Cerda, P.A., Flores, A.E. 2001. Functional response and population parameters of *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot on *Tetranychus urticae* Koch. *Southwestern Entomologist*. 26:253-258.
- Landeros J, Guevara L P, Badii M H, Flores F, Pámanes A. 2004. Effect of different densities of the twospotted spider mite *Tetranychus urticae* on CO<sub>2</sub> assimilation, transpiration, and stomatal behaviour in rose leaves. *Expl Appl Acar* 32, 187-198.
- Lieth, J.H. and C.C. Pasian. 1990. A model for net photosynthesis of rose leaves as a function of photosynthetically active radiation, leaf temperature, and leaf age. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115:486–491.
- Nachman, G. y Zemek, R. 2002a. Interactions in a tritrophic acarine predator-prey metapopulation system III: Effects of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on host plant condition. *Exp. Appl. Acarol.*, 25: 27-42.
- Najafabadi S.S.M.; Shoushtari R.V.; Zamani A.; Arbad M. and Farazmand H. 2011. Effect of nitrogen fertilization on *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) populations on common bean cultivars. *American-Eurasian Journal of Agriculture & Environmental Sciences* 11:568-576.
- Nicetic, O., D.M. Watson, G.A.C. Beattie, A. Meats and J. Zheng. 2001. Integrated pest management of two-spotted mite *Tetranychus urticae* on greenhouse roses using Petroleum spray oil and the predatory mite *Phytoseiulus persimilis*. *Experimental and Applied Acarology* 25: 37–53.
- Ostle B. 1980. *Estadística aplicada*, editorial científico técnica. Mexico D.F. 629p.
- 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: 21-26.

- Port CM. Scopes NEA. 1981. Biological control by predator mites (*Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot) of red spider mite (*Tetranychus urticae* Koch) infesting strawberries in 'walk' in plastic tunnels. *Plant Pathology* 30, 95-99.
- SAS Institute (2001) *SAS/STAT User's Guide*. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2011. (SAGARPA). Boletín 042 / 09 – Mayo.
- Stumpf, N., P.W. Claus, W. Kraus, G.D. Moores, and R. Nauen. 2001. Resistance to organophosphates and biochemical genotyping of acetylcholinesterases in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Pestic. Biochem. Physiol.* 69:131-142.
- Stumpf, N., and R. Nauen. 2002. Biochemical markers linked to abamectin resistance in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Pestic. Biochem. Physiol.* 72:111-121.
- Tomczyk, A.; Kropcznska, D. 1985. Effects on the host Plant. In: Helle W. y Sabelis M. 1985. *Spider Mites: Their Biology, Natural Enemies and Control*. Vol 1A. Elsevier Science Publishing Co., Amsterdam, The Netherlands. Pp. Xx-yy.
- Wermelinger, B., J.J. Oertli and V. Delucchi, 1985. Effect of host plant nitrogen fertilization on the biology of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. *Entomol. Exp. Appl.*, 38: 23-28.
- Wermelinger, B., J.J. Oertli and J. Baumgärtner 1991. Environmental factors affecting the life-tables of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) III. Host-plant nutrition. *Experimental & Applied Acarol.*, 12: 259-274.
- Waldhoff, D., B. Furch, and W. J. Junk. 2002. Fluorescence parameters, chlorophyll concentration, and anatomical features as indicators for flood adaptation of an

abundant tree species in Central Amazonia: *Symmeria paniculata*. Environ. Exper. Bot. 48:225-235.

Cuadro 1. Promedio de la población de los cuatro estados de desarrollo de *T. urticae* de la primera semana en las nueve variedades de rosal.

| Variedad      | HUEVO   |       |       |       | LARVA   |       |       |       | NINFA   |       |       |       | ADULTO  |       |       |       |
|---------------|---------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|
|               | ESTRATO |       |       | M     |
|               | SUP     | MED   | INF   |       | SUP     | MED   | INF   |       | SUP     | MED   | INF   |       | SUP     | MED   | INF   |       |
| ANASTASIA     | 5.33    | 12.67 | 12.00 | 10.00 | 5.33    | 3.00  | 9.00  | 5.78  | 5.00    | 5.33  | 12.00 | 7.44  | 7.67    | 19.67 | 16.67 | 14.67 |
| KEIRO         | 5.00    | 14.33 | 11.00 | 10.11 | 28.00   | 12.67 | 6.33  | 15.67 | 8.67    | 15.67 | 10.00 | 11.44 | 18.67   | 16.67 | 10.00 | 15.11 |
| OJO TORO      | 52.33   | 8.00  | 7.33  | 22.56 | 4.67    | 2.00  | 3.33  | 3.33  | 1.67    | 0.67  | 1.33  | 1.22  | 8.00    | 3.33  | 3.00  | 4.78  |
| RED<br>BAISER | 9.00    | 7.33  | 23.33 | 13.22 | 6.00    | 1.67  | 5.00  | 4.22  | 14.33   | 4.33  | 18.33 | 12.33 | 8.33    | 5.00  | 29.67 | 14.33 |
| ROYAL         | 36.67   | 9.00  | 16.00 | 20.56 | 7.33    | 8.00  | 33.67 | 16.33 | 5.67    | 10.00 | 60.33 | 25.33 | 25.00   | 10.00 | 23.00 | 19.33 |
| SAMURAY       | 1.67    | 8.00  | 2.00  | 3.89  | 4.33    | 6.67  | 2.33  | 4.44  | 3.67    | 3.67  | 0.33  | 2.56  | 8.33    | 6.00  | 1.33  | 5.22  |
| SELENA        | 135.33  | 9.00  | 58.00 | 67.44 | 8.67    | 7.00  | 11.33 | 9.00  | 10.33   | 9.00  | 9.33  | 9.56  | 48.33   | 8.33  | 5.00  | 20.56 |
| VIRGINIA      | 18.33   | 15.00 | 13.33 | 15.56 | 13.33   | 5.67  | 8.00  | 9.00  | 18.33   | 8.67  | 16.00 | 14.33 | 8.00    | 11.00 | 9.00  | 9.33  |
| VISIÓN        | 72.00   | 2.67  | 0.00  | 24.89 | 10.33   | 6.00  | 0.00  | 5.44  | 5.67    | 3.33  | 0.00  | 3.00  | 27.67   | 2.00  | 0.00  | 9.89  |
| $\mu$         | 37.30   | 15.89 | 9.56  |       | 2.41    | 1.71  | 1.69  |       | 6.74    | 8.15  | 14.19 |       | 17.78   | 10.85 | 9.11  |       |

M: Promedio por variedad por estado  $\mu$ : Promedio por estrato por estado.

Cuadro 2. Análisis de varianza de dos vías para la población cero de *T. urticae*

| Fuente de Variación    | DF | Suma de Cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|------------------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| <b>Huevo</b>           |    |                   |                      |         |        |
| Estrato                | 2  | 11411.4321        | 5705.71605           | 10.88   | 0.0001 |
| Variedad               | 8  | 25175.284         | 3146.91049           | 6       | <.0001 |
| Variedad*Estrato       | 16 | 28973.0124        | 1810.81327           | 3.45    | 0.0003 |
| Error                  | 54 | 28326.6667        | 524.5679             |         |        |
| Total Correcto         | 80 | 93886.3951        |                      |         |        |
| <b>Larva Log(Y+1)</b>  |    |                   |                      |         |        |
| Variedad               | 8  | 2.98157051        | 0.37269631           | 1.48    | 0.1879 |
| Estrato                | 2  | 0.21131458        | 0.10565729           | 0.42    | 0.6603 |
| Variedad*Estrato       | 16 | 3.83407468        | 0.23962967           | 0.95    | 0.5223 |
| Error                  | 54 | 7964.66667        | 147.49383            |         |        |
| Total Correcto         | 80 | 12181.5062        |                      |         |        |
| <b>Ninfa</b>           |    |                   |                      |         |        |
| Variedad               | 8  | 4038.83951        | 504.854938           | 3.19    | 0.0049 |
| Estrato                | 2  | 844.617284        | 422.308642           | 2.66    | 0.0788 |
| Variedad*Estrato       | 16 | 5412.49383        | 338.280864           | 2.13    | 0.0198 |
| Error                  | 54 | 8557.33333        | 158.46914            |         |        |
| Total Correcto         | 80 | 18853.284         |                      |         |        |
| <b>Adulto Log(Y+1)</b> |    |                   |                      |         |        |
| Variedad               | 8  | 3.56598533        | 0.44574817           | 1.86    | 0.086  |
| Estrato                | 2  | 1.69624569        | 0.84812285           | 3.54    | 0.036  |
| Variedad*Estrato       | 16 | 5.07662142        | 0.31728884           | 1.32    | 0.2176 |
| Error                  | 54 | 12.9469513        | 0.23975836           |         |        |
| Total Correcto         | 80 | 23.2858037        |                      |         |        |

Cuadro 3. Análisis de varianza de la población de *T. urticae* y *P. persimilis* sobre nueve variedades de rosal.

| Fuente de Variación | DF  | <i>T. urticae</i>    |         |        | <i>P. persimilis</i> |         |        |
|---------------------|-----|----------------------|---------|--------|----------------------|---------|--------|
|                     |     | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
| Estado              | 3   | 33775.125            | 18.98   | <.0001 | 70.242188            | 6.08    | <.0001 |
| Variedad            | 8   | 69637.016            | 39.14   | <.0001 | 127.69792            | 11.05   | <.0001 |
| Tiempo              | 7   | 67491.077            | 37.94   | <.0001 | 141.61855            | 12.25   | <.0001 |
| Variedad*Estado     | 24  | 6069.4948            | 3.41    | <.0001 | 15.085938            | 1.31    | 0.167  |
| Tiempo*Estado       | 21  | 4845.9239            | 2.72    | 0.0002 | 28.375165            | 2.46    | 0.0008 |
| Variedad*Tiempo     | 56  | 10046.834            | 5.65    | <.0001 | 32.516989            | 2.81    | <.0001 |
| Error               | 168 | 1779.065             |         |        |                      |         |        |
| Total Correcto      | 287 |                      |         |        |                      |         |        |

Cuadro 4. Promedio poblacional de *Tetranychus urticae* y *P. persimilis* en nueve variedades de rosal

|   | <i>Tetranychus urticae</i> |      |       |       |                  |       |       |       |       |       |      | <i>Phytoseiulus persimilis</i> |     |     |     |                  |     |     |     |      |      |      |     |     |  |
|---|----------------------------|------|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------------------------------|-----|-----|-----|------------------|-----|-----|-----|------|------|------|-----|-----|--|
|   | Var×Estado                 |      |       |       | Variedad×Semanas |       |       |       |       |       |      | Var×Estado                     |     |     |     | Variedad×Semanas |     |     |     |      |      |      |     |     |  |
|   | H                          | L    | N     | A     | X1               | X2    | X3    | X4    | X5    | X6    | X7   | X8                             | H   | L   | N   | A                | X1  | X2  | X3  | X4   | X5   | X6   | X7  | X8  |  |
| Anastasia   | 14.8                       | 9.1  | 17.1  | 21.9  | 36.3             | 45.8  | 30.5  | 7.8   | 4.3   | 1.3   | 0.0  | 0.0                            | 1.8 | 0.4 | 0.4 | 3.8              | 0.8 | 1.8 | 1.3 | 2.8  | 5.3  | 0.5  | 0.3 | 0.0 |  |
| Keiro   | 15.5                       | 8.1  | 37.9  | 29.9  | 12.0             | 46.5  | 80.5  | 31.5  | 11.5  | 0.3   | 0.5  | 0.0                            | 4.0 | 2.0 | 1.4 | 7.0              | 0.3 | 0.0 | 4.0 | 11.8 | 9.5  | 3.0  | 0.3 | 0.0 |  |
| Ojo de Toro   | 41.4                       | 10.0 | 46.8  | 13.3  | 56.5             | 57.0  | 34.0  | 16.8  | 48.5  | 9.5   | 0.5  | 0.0                            | 1.1 | 0.4 | 0.6 | 0.1              | 0.5 | 0.0 | 0.8 | 1.5  | 0.3  | 1.5  | 0.0 | 0.0 |  |
| Red Baiser  | 153.3                      | 52.6 | 176.8 | 76.8  | 112.8            | 251.3 | 156.8 | 109.8 | 106.0 | 130.0 | 42.8 | 9.5                            | 6.9 | 1.4 | 4.3 | 5.8              | 8.3 | 0.0 | 2.0 | 3.3  | 4.5  | 10.3 | 2.8 | 5.5 |  |
| Royal   | 96.0                       | 94.3 | 208.5 | 174.9 | 252.5            | 455.3 | 132.8 | 156.5 | 86.0  | 47.3  | 15.5 | 1.5                            | 2.6 | 0.6 | 3.4 | 4.3              | 0.5 | 0.3 | 2.0 | 2.5  | 3.5  | 6.5  | 4.8 | 1.8 |  |
| Samuray   | 40.6                       | 23.1 | 53.3  | 27.1  | 30.5             | 73.0  | 25.5  | 118.3 | 29.0  | 11.3  | 0.8  | 0.0                            | 7.6 | 1.8 | 1.0 | 4.5              | 0.5 | 0.8 | 0.8 | 7.0  | 18.8 | 1.8  | 0.3 | 0.0 |  |
| Selena  | 119.1                      | 14.5 | 82.0  | 30.5  | 67.8             | 120.0 | 167.8 | 49.0  | 79.5  | 6.3   | 1.8  | 0.3                            | 5.6 | 1.3 | 1.9 | 2.5              | 0.8 | 0.0 | 3.8 | 3.3  | 11.3 | 2.5  | 1.0 | 0.0 |  |
| Virginia  | 11.3                       | 4.3  | 29.9  | 10.5  | 49.5             | 31.0  | 17.5  | 9.0   | 1.3   | 3.5   | 0.0  | 0.0                            | 1.1 | 0.1 | 0.4 | 0.4              | 0.3 | 0.3 | 0.0 | 0.8  | 2.5  | 0.3  | 0.0 | 0.0 |  |
| Visión  | 49.0                       | 13.6 | 33.8  | 16.6  | 72.5             | 106.5 | 37.5  | 6.8   | 2.3   | 0.5   | 0.0  | 0.0                            | 1.3 | 0.1 | 0.6 | 2.3              | 0.0 | 0.0 | 5.3 | 1.5  | 1.5  | 0.0  | 0.0 | 0.3 |  |
| <b>Semanas ×Población de los cuatro estados de desarrollo</b> |                            |      |       |       |                  |       |       |       |       |       |      |                                |     |     |     |                  |     |     |     |      |      |      |     |     |  |
| X1  | 100.2                      | 58.2 | 100.8 | 47.6  |                  |       |       |       |       |       |      |                                | 3.4 | 0.3 | 0.7 | 0.8              |     |     |     |      |      |      |     |     |  |
| X2  | 195.6                      | 81.1 | 143.4 | 107.1 |                  |       |       |       |       |       |      |                                | 0.6 | 0.1 | 0.1 | 0.6              |     |     |     |      |      |      |     |     |  |
| X3  | 97.2                       | 20.4 | 120.8 | 65.0  |                  |       |       |       |       |       |      |                                | 3.6 | 0.3 | 0.9 | 4.0              |     |     |     |      |      |      |     |     |  |
| X4  | 27.4                       | 23.0 | 101.8 | 72.3  |                  |       |       |       |       |       |      |                                | 7.4 | 2.2 | 1.8 | 3.8              |     |     |     |      |      |      |     |     |  |
| X5  | 43.6                       | 11.3 | 68.9  | 39.9  |                  |       |       |       |       |       |      |                                | 9.8 | 2.2 | 2.4 | 10.9             |     |     |     |      |      |      |     |     |  |
| X6  | 15.8                       | 7.8  | 50.0  | 19.7  |                  |       |       |       |       |       |      |                                | 2.3 | 1.4 | 3.6 | 4.3              |     |     |     |      |      |      |     |     |  |
| X7  | 0.9                        | 1.8  | 19.8  | 5.0   |                  |       |       |       |       |       |      |                                | 0.4 | 0.1 | 1.8 | 1.8              |     |     |     |      |      |      |     |     |  |
| X8  | 0.1                        | 0.4  | 4.2   | 0.2   |                  |       |       |       |       |       |      |                                | 0.9 | 0.3 | 1.1 | 1.0              |     |     |     |      |      |      |     |     |  |

H: Huevo, L: Larva, N: Ninfa, A: Adulto. X: Semanas

Cuadro 5. Total de la poblacional de *Tetranychus urticae* en nueve variedades de rosal.

| Muestra | Ojo de Toro | Virginia | Selena | Visión | Red Baiser | Samuray | Royal | Keiro | Anastasia |
|---------|-------------|----------|--------|--------|------------|---------|-------|-------|-----------|
| HUEVOS  |             |          |        |        |            |         |       |       |           |
| 0       | 203         | 140      | 621    | 224    | 119        | 35      | 185   | 91    | 90        |
| 1       | 69          | 43       | 148    | 112    | 207        | 39      | 224   | 17    | 43        |
| 2       | 97          | 15       | 254    | 259    | 460        | 128     | 447   | 46    | 54        |
| 3       | 19          | 17       | 393    | 14     | 265        | 57      | 34    | 57    | 19        |
| 4       | 14          | 10       | 28     | 5      | 58         | 76      | 53    | 3     | 0         |
| 5       | 127         | 1        | 125    | 2      | 105        | 23      | 7     | 0     | 2         |
| 6       | 4           | 4        | 5      | 0      | 126        | 2       | 1     | 0     | 0         |
| 7       | 1           | 0        | 0      | 0      | 4          | 0       | 0     | 0     | 0         |
| 8       | 0           | 0        | 0      | 0      | 1          | 0       | 0     | 0     | 0         |
| LARVAS  |             |          |        |        |            |         |       |       |           |
| 0       | 30          | 81       | 81     | 49     | 38         | 40      | 147   | 141   | 52        |
| 1       | 31          | 20       | 24     | 30     | 108        | 18      | 252   | 6     | 35        |
| 2       | 17          | 9        | 24     | 65     | 166        | 34      | 369   | 18    | 28        |
| 3       | 8           | 4        | 35     | 13     | 38         | 8       | 44    | 25    | 9         |
| 4       | 14          | 0        | 12     | 1      | 11         | 98      | 55    | 15    | 1         |
| 5       | 9           | 1        | 19     | 0      | 39         | 25      | 8     | 1     | 0         |
| 6       | 1           | 0        | 0      | 0      | 48         | 2       | 19    | 0     | 0         |
| 7       | 0           | 0        | 0      | 0      | 4          | 0       | 2     | 0     | 0         |
| 8       | 0           | 0        | 0      | 0      | 0          | 0       | 0     | 0     | 0         |
| NINFAS  |             |          |        |        |            |         |       |       |           |
| 0       | 11          | 129      | 86     | 32     | 111        | 23      | 218   | 103   | 67        |
| 1       | 113         | 101      | 71     | 109    | 56         | 35      | 383   | 10    | 29        |
| 2       | 58          | 76       | 108    | 79     | 208        | 59      | 619   | 51    | 33        |
| 3       | 85          | 33       | 175    | 61     | 275        | 30      | 193   | 180   | 55        |
| 4       | 28          | 17       | 145    | 17     | 222        | 219     | 206   | 52    | 10        |
| 5       | 57          | 3        | 133    | 3      | 200        | 56      | 150   | 10    | 8         |
| 6       | 32          | 9        | 18     | 1      | 273        | 24      | 91    | 0     | 2         |
| 7       | 1           | 0        | 5      | 0      | 147        | 3       | 22    | 0     | 0         |
| 8       | 0           | 0        | 1      | 0      | 33         | 0       | 4     | 0     | 0         |
| ADULTOS |             |          |        |        |            |         |       |       |           |
| 0       | 43          | 84       | 185    | 89     | 129        | 47      | 175   | 136   | 132       |
| 1       | 13          | 34       | 28     | 39     | 80         | 30      | 151   | 15    | 38        |
| 2       | 56          | 24       | 94     | 23     | 171        | 71      | 386   | 71    | 68        |
| 3       | 24          | 16       | 68     | 62     | 49         | 7       | 260   | 60    | 39        |
| 4       | 11          | 9        | 11     | 4      | 148        | 80      | 312   | 56    | 20        |
| 5       | 1           | 0        | 41     | 4      | 80         | 12      | 179   | 35    | 7         |
| 6       | 1           | 1        | 2      | 1      | 73         | 17      | 78    | 1     | 3         |
| 7       | 0           | 0        | 0      | 0      | 13         | 0       | 31    | 1     | 0         |
| 8       | 0           | 0        | 0      | 0      | 0          | 0       | 2     | 0     | 0         |

Cuadro 6. Total de la poblacional de *Phytoseiulus persimilis* en nueve variedades de rosal.

| Muestra | Ojo de Toro | Virginia | Selena | Visión | Red Baiser | Samuray | Royal | Keiro | Anastasia |
|---------|-------------|----------|--------|--------|------------|---------|-------|-------|-----------|
| HUEVOS  |             |          |        |        |            |         |       |       |           |
| 1       | 1           | 1        | 0      | 0      | 24         | 1       | 1     | 1     | 2         |
| 2       | 0           | 0        | 0      | 0      | 0          | 0       | 1     | 0     | 4         |
| 3       | 2           | 0        | 11     | 6      | 2          | 0       | 0     | 8     | 3         |
| 4       | 4           | 1        | 4      | 4      | 8          | 16      | 8     | 19    | 3         |
| 5       | 0           | 7        | 27     | 0      | 4          | 42      | 4     | 2     | 2         |
| 6       | 2           | 0        | 3      | 0      | 9          | 1       | 5     | 1     | 0         |
| 7       | 0           | 0        | 0      | 0      | 0          | 1       | 2     | 1     | 0         |
| 8       | 0           | 0        | 0      | 0      | 8          | 0       | 0     | 0     | 0         |
| LARVAS  |             |          |        |        |            |         |       |       |           |
| 1       | 0           | 0        | 1      | 0      | 1          | 1       | 0     | 0     | 0         |
| 2       | 0           | 1        | 0      | 0      | 0          | 0       | 0     | 0     | 0         |
| 3       | 1           | 0        | 0      | 0      | 1          | 1       | 0     | 0     | 0         |
| 4       | 0           | 0        | 2      | 1      | 0          | 1       | 0     | 13    | 3         |
| 5       | 1           | 0        | 6      | 0      | 1          | 8       | 1     | 3     | 0         |
| 6       | 1           | 0        | 1      | 0      | 6          | 3       | 2     | 0     | 0         |
| 7       | 0           | 0        | 0      | 0      | 0          | 0       | 1     | 0     | 0         |
| 8       | 0           | 0        | 0      | 0      | 2          | 0       | 1     | 0     | 0         |
| NINFAS  |             |          |        |        |            |         |       |       |           |
| 1       | 1           | 0        | 1      | 0      | 4          | 0       | 0     | 0     | 0         |
| 2       | 0           | 0        | 0      | 0      | 0          | 1       | 0     | 0     | 0         |
| 3       | 0           | 0        | 3      | 3      | 0          | 0       | 2     | 0     | 0         |
| 4       | 2           | 0        | 4      | 1      | 1          | 1       | 1     | 5     | 1         |
| 5       | 0           | 3        | 2      | 1      | 4          | 5       | 1     | 5     | 1         |
| 6       | 2           | 0        | 3      | 0      | 12         | 1       | 12    | 1     | 1         |
| 7       | 0           | 0        | 2      | 0      | 6          | 0       | 8     | 0     | 0         |
| 8       | 0           | 0        | 0      | 0      | 7          | 0       | 3     | 0     | 0         |
| ADULTOS |             |          |        |        |            |         |       |       |           |
| 1       | 0           | 0        | 1      | 0      | 4          | 0       | 1     | 0     | 1         |
| 2       | 0           | 0        | 0      | 0      | 0          | 2       | 0     | 0     | 3         |
| 3       | 0           | 0        | 1      | 12     | 5          | 2       | 6     | 8     | 2         |
| 4       | 0           | 2        | 3      | 0      | 4          | 10      | 1     | 10    | 4         |
| 5       | 0           | 0        | 10     | 5      | 9          | 20      | 8     | 28    | 18        |
| 6       | 1           | 1        | 3      | 0      | 14         | 2       | 7     | 10    | 1         |
| 7       | 0           | 0        | 2      | 0      | 5          | 0       | 8     | 0     | 1         |
| 8       | 0           | 0        | 0      | 1      | 5          | 0       | 3     | 0     | 0         |

### ARTICULO III

## DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y FLUCTUACIÓN POBLACIONAL DE *Tetranychus urticae* (KOCH) Y *Phytoseiulus persimilis* (Athias-Henriot) EN CULTIVOS DE ROSAL

Spatial distribution and population fluctuation of *Tetranychus urticae* (Koch) and  
*Phytoseiulus persimilis* (Athias-Henriot) in crops roses

Julio Chacón-Hernández<sup>2</sup>

Ernesto Cerna-Chávez<sup>1</sup>

Yisa Ochoa-Fuentes<sup>1</sup>

Leobardo Bañuelos-Herreara<sup>1</sup>

Mohammad Badii-Zabeh<sup>1</sup>

Jerónimo Landeros-Flores<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Parasitología.  
Buenavista, Saltillo, Coahuila; México. C.P. 25315.

<sup>2</sup>Estudiante candidato al grado de Doctor en Ciencias en Parasitología Agrícola.  
Departamento de Parasitología. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.  
Calzada Antonio Narro 1923. C.P. 25315 Buenavista, Saltillo, Coahuila; México.

Distribución espacial y fluctuación poblacional de *Tetranychus urticae* y  
*Phytoseiulus persimilis*.

Número de Figuras: 1

Número de Tablas: 4

Dirección de Correspondencia: Jerónimo Landeros-Flores. Departamento de  
Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada

Antonio Narro 1923. C.P. 25315 Buenavista, Saltillo, Coahuila; México, *e-mail*:

jlanflo@uaaan.mx

Microsoft Windows Vista: Microsoft Word 2010

**Resumen.** Se determinó la distribución espacial y la fluctuación poblacional de *Tetranychus urticae* (Koch) y su depredador *Phytoseiulus persimilis* (Athias-Henriot) en cuatro variedades de rosal Royal, Samuray, Red Baiser y Keiro bajo condiciones de invernadero. Se realizaron 9 muestreos para la plaga y 8 para el depredador. Del 20 de Septiembre al 18 de noviembre del 2013. *T. urticae* y *P. persimilis* presentaron una distribución agregada en la mayoría de las fechas de muestreo. Se observó un comportamiento sincrónico entre el depredador y su presa en las variedades Royal, Red Baiser y Keiro, aunque solo en los cultivares Royal y Samuray presentaron una correlación significativa ( $r = -0.68$ ,  $P < 0.05$ ;  $r = 0.69$ ,  $P < 0.05$ , respectivamente).

**Palabras Clave:** Rosal, Distribución espacial, *Phytoseiulus persimilis*, *Tetranychus urticae*, Fluctuación poblacional.

**Abstract.** Spatial distribution, population fluctuation of *Tetranychus urticae* (Koch) and its predator *Phytoseiulus persimilis* (Athias-Henriot) was determined in four varieties of rose Royal, Samuray, Red Baiser and Keiro under greenhouse conditions. 9 samples for pest and 8 for the predator were performed. From 20 September to November 18, 2013. *T. urticae* and *P. persimilis* presented an aggregated distribution pattern during most of the sampling dates. Synchronous behavior between predator and prey in Royal, Red Baiser and Keiro varieties was observed, but only in the

cultivar Royal and Samuray presented a significant correlation ( $r = -0.68$ ,  $P < 0.05$ ;  $r = 0.69$ ,  $P < 0.05$ , respectively).

**Key Words:** Rosal, Spatial distribution, *Phytoseiulus persimilis* and *Tetranychus urticae*, Population fluctuation.

## INTRODUCCIÓN

Las plantas ornamentales del género *Rosa* L. (Rosales: Rosaceae) se producen en todo el mundo e incluyen algunos de los cultivos florícolas más populares (Chow et al., 2009). El ácaro de dos manchas, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), es una plaga importante de los cultivos ornamentales bajo invernadero en todo el mundo (Van de Vrie 1985) y la principal plaga en rosas de corte (Casey et al., 2007), ya que alteran los procesos fisiológicos de las plantas como la fotosíntesis y la respiración, y afectan el crecimiento, la floración y la fructificación en las plantas que infestan (Hall & Ferree 1975).

Uno de los depredadores más efectivos de *T. urticae*, es la especie *Phytoseiulus persimilis*, (Gerson & Smiley 1990). Sin embargo pocos estudios existen sobre la relación espacial y temporal de ambas especies (Cross 1984, García-Mari et al., 1991, Nachman 2006). Al respecto se han desarrollado varios modelos que intentan comprender la dinámica depredador-presa (Begon et al., 1997). Sobre la especie *Phytoseiulus persimilis*, Croft et al., (2004) señalan que son depredadores especialistas, que sobreviven depredando arañas rojas. Por lo anterior el objetivo de esta investigación es determinar el patrón de distribución espacial y la fluctuación

poblacional de *T. urticae* y de su depredador *P. persimilis*, en cuatro variedades de rosal bajo condiciones de invernadero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en las instalaciones del Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Buenavista, Saltillo, Coahuila. Para el estudio se utilizaron las especies *T. urticae*, *P. persimilis* y cuatro variedades de rosal (*Rosa* sp.). La colonia de *Tetranychus urticae* se inició con material biológico recolectado en huertas de manzano en la localidad de Huachichil, Municipio de Arteaga, Coahuila. Los ácaros recolectados en campo (previamente identificados) fueron colocados en plantas de frijol para incrementar la población, bajo condiciones de invernadero a una temperatura de  $27 \pm 2^\circ\text{C}$ . La obtención de *Phytoseiulus persimilis* fue a través de la empresa KOOOPER Biological Systems S.A. de C.V.

El estudio se llevó a cabo en una cama de siembra de 60 cm x 9 m; se utilizaron cuatro variedades de rosal: 1.- Red Baiser, 2.- Samuray, 3.- Royal, 4.- Keiro. Se colocaron 10 plantas por variedad a una distancia de 10 cm, bajo condiciones de invernadero. Posteriormente se realizó una infestación inducida en forma aleatoria con 100 hembras adultas recién apareadas, una semana después se realizó un muestreo de la población de la araña roja, e inmediatamente se liberaron 12 hembras adultas de *P. persimilis* en forma aleatoria, una semana después se inician una serie de muestreos semanales tanto para el depredador como en la presa

en los estratos superior, medio e inferior de tres foliolos por estrato y en tres plantas de cada variedad. El conteo se realizó con ayuda de un microscopio portátil de 30X. Los modelos utilizados para determinar el tipo de agregación fueron: Morisita (1959)  $[\sum(X(X-1)) / ((\sum X)(\sum X - 1))]N$ , Taylor (1961) ( $a m^b$ ), Iwao (1968) ( $\bar{X}^* = \alpha + \beta \bar{X}$ ); donde  $\beta$  es la pendiente de la línea de regresión que determina el tipo de dispersión espacial,  $X$  es el número de individuos en la  $i$ -ésima unidad muestral,  $\sum X$  es el número de individuos en todas las unidades muestrales y  $N$  número de unidades muestrales respectivamente del índice de Morisita. La ley de poder de Taylor describe una relación potencial entre la media y la varianza en donde  $a$  corresponde al antilogaritmo de la intersección con la ordenada,  $b$  a la pendiente de una línea de regresión que determina el tipo de distribución espacial y  $m$  a la densidad media de la muestra. Por último se realizó los métodos de correlación Pearson o Spearman (Restrepo y González 2007) para medir el grado de relación o asociación existente entre la abundancia del ácaro fitófago *T. urticae* y la de su depredador *P. persimilis*, utilizando el programa SAS/STAT (SAS 2001).

## RESULTADOS

### Patrón de distribución espacial de *Tetranychus urticae*

En todos los muestreos el modelo de Morisita presentó una distribución agregada, mientras que el modelo de Taylor mostró una distribución uniforme en dos fechas en las variedades Red Baiser y Samuray, cuatro en Royal y tres en Keiro; e Iwao presentó una distribución uniforme en dos fechas en la variedad Red Baiser, Royal y Keiro y una en Samuray (Tabla 1). Se registró una mayor abundancia sobre

las variedades Samuray, Royal y Keiro (424, 1753 y 395 ácaros respectivamente) en el estrato superior, mientras que, en Red Baiser se presentó casi la misma abundancia en el estrato medio e inferior (996 y 995 ácaros respectivamente) (Tabla 2).

### **Patrón de distribución espacial de *Phytoseiulus persimilis***

En todas la fechas el modelo Morisita mostró que *P. persimilis* presentó un patrón de distribución agregada en las variedades Red Baiser y Royal, así como el modelo de Iwao en la variedad Keiro, mientras que, el índice de Taylor presentó una distribución uniforme en dos fechas en la variedad Red Baiser y una en la variedad Samuray. El modelo de Iwao mostró una distribución aleatoria en una fecha y dos en la variedad Royal (Tabla 3). Se registró una mayor abundancia sobre las variedades Samuray y Keiro en el estrato superior (28 ácaros). Mientras que en las variedades Royal y Red Baiser en el estrato medio y inferior respectivamente (29 y 30 ácaros).

### **Fluctuación poblacional**

Sobre el comportamiento poblacional registrado de *T. urticae* y su depredador *P. persimilis*, se observó en general que la población de la plaga disminuyó a medida que se fue incrementando la población del depredador. La correlación de estas dos especies mostró significancia de acuerdo a Pearson en la variedad Royal y por Spearman en la variedad Samuray ( $r = -0.68$ ,  $P < 0.05$ ;  $r = 0.69$ ,  $P < 0.05$ , respectivamente) (Pearson: Red Baiser,  $r = -0.23$ ,  $P > 0.05$ ; Spearman: Keiro,  $r = 0.39$ ,  $P > 0.05$ ).

## DISCUSIÓN

Se ha registrado un patrón de distribución agregado de *T. urticae* en rosas (Hilarión et al., 2008) y en conjunto con *P. persimilis* (Nachman 2006). De hecho este patrón de distribución es común en insectos y ácaros (Badii 1994). Ambas especies de ácaros tuvieron distintas distribuciones; la razón de encontrar en varios de los índices algunas fechas en las que el ácaro depredador muestra diferentes tipos de distribución quizás se deba a la sensibilidad del modelo o bien como lo sugiere Taylor (1984), que en algunos casos las especies se reproducen muy rápido de tal forma que la densidad poblacional también cambia y por consecuencia su dispersión espacial. En otros estudios realizados con *P. persimilis* (Nachman 1981 y Ryoo 1996) indican que la dispersión de la presa dentro de la planta y la coincidencia espacial entre el depredador y la misma determinan la respuesta funcional del depredador.

El comportamiento poblacional de *P. persimilis* fue similar a la de *T. urticae* sobre los tres estratos de las variedades Samuray y Keiro y siendo en estas donde el depredador controló en menor tiempo al fitófago (Tabla 2, 4), por lo que, la eficacia del depredador depende de su habilidad para distribuirse espacialmente de acuerdo con su presa, agrupándose en las hojas o partes de la planta donde la población de la araña roja es mayor (Gómez-Moya y Ferragut 2009). Los mismos autores mencionan que la agregación de los fitoseidos es debido a dos razones: pasan más tiempo en las zonas donde se concentra la presa y su potencial biótico en estos lugares es mayor por el incremento en supervivencia y fecundidad debido a la gran cantidad de alimento disponible.

En las variedades Red Baiser, Samuray y Keiro, las poblaciones de la *T urticae* y *P. persimilis* presentaron un crecimiento sincrónico durante el periodo de estudio, es decir un incremento en la población de la plaga fue seguido por un incremento en la población del depredador (Fig. 1). Los incrementos en la población del depredador se presentaron a partir del decimo día después de incrementarse la tasa de crecimiento de la población de la plaga. Al respecto, Badii y Flores (1993) mencionan que la selección natural favorece a aquellos depredadores que están bien sincronizados con sus presas y al mismo tiempo favorece a aquellas presas que pueden evitar esta sincronización.

## REFERENCIAS

- Badii, M.H. y A.E. Flores (1993). Ecología de poblaciones. Memorias del Diplomado en Ecología. Centro de Calidad Ambiental del Instituto Tecnológico de Monterrey. Monterrey, Nuevo León; México, p. 43-51.
- Badii, M.H. (1994). Selección de enemigos naturales para el control biológico. *Entomofago* 3: 4-5.
- Begon, M., J.L. Harper y C.R. Townsend (1997). Ecología. Individuos, poblaciones y comunidades. Ediciones Omega S. A. Barcelona, España, 886 p.
- Casey, C., J.P. Newman, K.L. Robb, S.A. Tjosvold, J.M. MacDonald & M.P. Parrella (2007). IPM program successful in California greenhouse cut roses. *California Agriculture* 61:71-78
- Chow, A., A. Chau & K.M. Heinz (2009). Reducing Fertilization for Cut Roses: Effect on Crop Productivity and Twospotted Spider Mite Abundance, Distribution, and Management. *Journal of Economic Entomology* 102:1896-1907.

- Croft, B.A., J.S. Blackwood, & J.A. McMurtry (2004). Classifying life-style types of phytoseiid mites: diagnostic traits. *Experimental and Applied Acarology* 33:247-260.
- Cross, J.V. (1984). Biological control of two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) by *Phytoseiulus persimilis* on strawberries grown in walk-in' plastic tunnels, and a simplified method of spider mite population assessment. *Plant Pathology* 33: 417-423.
- García-Mari, F. J.E. González-Zamora, S. Orenga-Royo, J. Saques-Fernández, R. Laborda-Cenjor, A. Soto-Sánchez y A. Ribes-Koninckx (1991). Distribución espacial y asociación entre especies de ácaros fitófagos (Tetranychidae) y depredadores (Phytoseiidae) en hojas de fresón. *Boletín Sanidad Vegetal. Plagas* 17: 401-415.
- Gerson U. & R. Smiley (1990). Acarine Biocontrol Agents. An Illustrated Key and Manual. Chapman & Hall, London, England. 184 p.
- Gómez-Moya C.A. y F. Ferragut. (2009). Distribución en la planta y eficacia de *Neoseiulus californicus* y *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) en el control de arañas rojas de cultivos hortícolas en condiciones de semicampo. *Boletín Sanidad Vegetal. Plagas* 35: 377-390.
- Hall F. R & D.C. Ferree (1975). Influence of Twospotted Spider Mite Population on Photosynthesis of Apple Leaves. *Journal of Economic Entomology* 68:517-520.
- Hilarión, A., A. Niño, F. Cantor, D. Rodríguez, y J.R. Cure (2008). Criterios para la liberación de *Phytoseiulus persimilis* Athias Henriot (Parasitiformes: Phytoseiidae) en cultivo de rosa. *Agronomía Colombiana* 26:68-77.

- Iwao, S. (1968). A new regression method for analyzing the aggregation pattern of animal populations. *Researches on Population Ecology* 10: 1-20.
- Morisita, M. (1959). Measuring the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns. *Memoirs of the Faculty of Science, Kyushu University, Series E (Biology)* 2: 215-235.
- Nachman, G. (1981). Temporal and Spatial Dynamics of an Acarine Predator-Prey System. *Journal of Animal Ecology* 50: 435-451.
- Nachman, G. (2006). The effects of prey Patchiness, Predator Aggregation, and Mutual Interference on the Functional Response of *Phytoseiulus persimilis* Feeding on *Tetranychus urticae* (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae). *Experimental & Applied Acarology*. 38:87-111.
- Restrepo, L.F. y J.L. González (2007). De Pearson a Spearman. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 20:183-192.
- Ryoo, M.I. (1996). Influence of the spatial distribution pattern of prey among patches and spatial coincidence on the functional and numerical response of *Phytoseiulus persimilis* (Acarina, Phytoseiidae). *Journal of Applied Entomology* 120: 187:192.
- Taylor, L.R. (1961). Aggregation, Variance and the Mean. *Nature* 189:732-735.
- Van de Vrie, M (1985) Greenhouse ornamentals. Spiders Mites Their Biology, Natural enemies and Control. World crop pests. Vol.1B. In: Helle W. & M. W. Sabelis (eds). Elsevier Amsterdam, The Netherlands.

**Tabla 1.** Índices de agregación de *Tetranychus urticae* en cuatro variedades de rosal.  
**Table 1.** Index of aggregation of *Tetranychus urticae* in four varieties of roses.

| Fecha      | RED BAISER |            |          |        |                   | SAMURAY |            |          |        |      |
|------------|------------|------------|----------|--------|-------------------|---------|------------|----------|--------|------|
|            | $\mu$      | $\sigma^2$ | Morisita | Taylor | Iwao              | $\mu$   | $\sigma^2$ | Morisita | Taylor | Iwao |
| 20/09/2013 | 30.89      | 1057.11    | 1.96     | 1.48   | 1.49              | 12.22   | 117.44     | 1.63     | 0.85   | 1.15 |
| 30/09/2013 | 27.11      | 1025.36    | 2.21     | 2.15   | 2.48              | 9.22    | 73.69      | 1.68     | 1.04   | 1.74 |
| 07/10/2013 | 60.56      | 1420.53    | 1.33     | 0.04   | 0.48              | 18.22   | 195.94     | 1.48     | 1.73   | 1.40 |
| 14/10/2013 | 40.22      | 474.44     | 1.24     | 4.92   | 1.41              | 5.00    | 23.50      | 1.67     | 0.96   | 1.12 |
| 21/10/2013 | 42.33      | 949.75     | 1.45     | 1.61   | 1.24              | 44.11   | 723.11     | 1.31     | 1.03   | 0.75 |
| 28/10/2013 | 35.44      | 436.03     | 1.28     | 3.48   | 1.34              | 10.33   | 63.5       | 1.45     | 1.07   | 1.12 |
| 04/11/2013 | 43.78      | 1667.69    | 1.76     | 2.40   | 1.39              | 4.78    | 26.19      | 1.85     | 0.98   | 1.04 |
| 11/11/2013 | 18.56      | 204.28     | 1.48     | 1.47   | 1.39              | 0.33    | 0.25       | $\Phi$   | **     | **   |
| 18/11/2013 | 4.11       | 15.86      | 1.64     | 0.76   | 0.73 <sup>z</sup> | 0       | 0          | 0        | 0      | 0    |
|            |            |            | ROYAL    |        |                   | KEIRO   |            |          |        |      |
| 20/09/2013 | 60         | 2685       | 1.65     | 2.74   | 1.32              | 42.22   | 3774.4     | 2.87     | 2.31   | 4.11 |
| 30/09/2013 | 87.33      | 9617.5     | 2.11     | 1.74   | 1.63              | 3.44    | 37.03      | 3.60     | 1.55   | 1.77 |
| 07/10/2013 | 152.7      | 6422       | 1.24     | 4.54   | 1.50              | 15.56   | 172.53     | 1.58     | 2.76   | 1.68 |
| 14/10/2013 | 55.22      | 554.44     | 1.15     | -1.20  | 1.13              | 29.44   | 484.53     | 1.47     | 0.96   | 1.02 |
| 21/10/2013 | 63.67      | 1084.75    | 1.22     | -0.20  | 0.58              | 13.67   | 150.5      | 1.66     | 0.53   | 0.46 |
| 28/10/2013 | 37.44      | 274.28     | 1.15     | 1.84   | 1.07              | 5.11    | 34.11      | 2.01     | 0.84   | 0.63 |
| 04/11/2013 | 20.89      | 107.86     | 1.18     | 1.82   | 1.1               | 0       | 0          | 0        | 0      | 0    |
| 11/11/2013 | 6.67       | 21         | 1.29     | -2.10  | 0.52              | 0       | 0          | 0        | 0      | 0    |
| 18/11/2013 | 1          | 1.5        | 1.50     | 0.13   | -0.5              | 0       | 0          | 0        | 0      | 0    |

$\mu$ : Media muestral  $\sigma^2$ : Varianza muestral; Datos de Morisita, Taylor y Iwao igual a 1: Distribución al azar (aleatorio);  $1 <$ : Distribución uniforme;  $>1$ : Distribución Agregada; \*\*: Ausencia de ácaros móviles en dos de los tres estratos;  $\xi$ : Varianza menor que la media;  $\xi$ : Varianza igual a la media;  $\Phi$ : Dividendo es igual cero; 0: No se observaron ácaros; =: Medias Iguales;  $\theta$ : Se observó solo un individuo.

**Tabla 2.** Poblacional obtenida de *Tetranychus urticae* en cuatro variedades de rosal.**Table 2.** Population of *Tetranychus urticae* obtained in four varieties of roses.

| Fecha      | RED BAISER          |     |        |    |               |       |       |    |                  |     |       |    |      | SAMURAY             |     |      |    |               |       |      |    |                  |     |      |    |      |  |  |  |  |
|------------|---------------------|-----|--------|----|---------------|-------|-------|----|------------------|-----|-------|----|------|---------------------|-----|------|----|---------------|-------|------|----|------------------|-----|------|----|------|--|--|--|--|
|            | Estrato de Superior |     |        |    | Estrato Medio |       |       |    | Estrato Inferior |     |       |    | T    | Estrato de Superior |     |      |    | Estrato Medio |       |      |    | Estrato Inferior |     |      |    |      |  |  |  |  |
|            | T                   | N   | M      | Po | EE            | N     | m     | Po | EE               | N   | m     | Po |      | EE                  | N   | m    | Po | EE            | N     | m    | Po | EE               | N   | m    | Po | EE   |  |  |  |  |
| 20/09/2013 | 278                 | 86  | 28.67  | 0  | 26.3          | 33    | 11.0  | 0  | 13.9             | 159 | 53    | 0  | 44.8 | 110                 | 49  | 16.3 | 1  | 16.01         | 49    | 16.3 | 0  | 5.8              | 12  | 4.0  | 1  | 5.3  |  |  |  |  |
| 30/09/2013 | 244                 | 91  | 30.33  | 0  | 33.5          | 34    | 11.3  | 0  | 12.1             | 119 | 39.7  | 0  | 47.0 | 83                  | 40  | 13.3 | 1  | 14.05         | 32    | 10.7 | 0  | 2.5              | 11  | 3.7  | 1  | 4.0  |  |  |  |  |
| 07/10/2013 | 545                 | 212 | 70.67  | 0  | 37.3          | 218   | 72.7  | 0  | 41.0             | 115 | 38.3  | 0  | 38.7 | 164                 | 72  | 24.0 | 0  | 15.72         | 27    | 9.0  | 0  | 7.2              | 65  | 21.7 | 0  | 17.0 |  |  |  |  |
| 14/10/2013 | 362                 | 65  | 21.67  | 0  | 2.9           | 161   | 53.7  | 0  | 28.4             | 136 | 45.3  | 0  | 16.0 | 45                  | 14  | 4.7  | 0  | 1.15          | 31    | 10.3 | 0  | 3.5              | 0   | 0.0  | 3  | 0.0  |  |  |  |  |
| 21/10/2013 | 381                 | 90  | 30     | 0  | 19.1          | 199   | 66.3  | 0  | 39.7             | 92  | 30.7  | 0  | 23.7 | 397                 | 202 | 67.3 | 0  | 28.15         | 82    | 27.3 | 0  | 28.3             | 113 | 37.7 | 0  | 2.3  |  |  |  |  |
| 28/10/2013 | 319                 | 107 | 35.67  | 0  | 26.3          | 145   | 48.3  | 0  | 22.5             | 67  | 22.3  | 0  | 6.4  | 93                  | 36  | 12.0 | 0  | 7.81          | 19    | 6.3  | 0  | 6.5              | 38  | 12.7 | 0  | 10.7 |  |  |  |  |
| 04/11/2013 | 394                 | 38  | 12.67  | 0  | 6.0           | 129   | 43.0  | 0  | 39.0             | 227 | 75.7  | 0  | 46.2 | 43                  | 11  | 3.7  | 1  | 3.21          | 6     | 2.0  | 2  | 3.5              | 26  | 8.7  | 0  | 6.8  |  |  |  |  |
| 11/11/2013 | 167                 | 42  | 14     | 1  | 13.1          | 58    | 19.3  | 0  | 15.3             | 67  | 22.3  | 0  | 18.9 | 3                   | 0   | 0    | 3  | 0             | 3     | 1.0  | 0  | 0                | 0   | 0    | 3  | 0    |  |  |  |  |
| 18/11/2013 | 37                  | 5   | 1.67   | 2  | 2.9           | 19    | 6.3   | 0  | 4.9              | 13  | 4.3   | 1  | 3.8  | 0                   | 0   | 0    | 3  | 0             | 0     | 0    | 3  | 0                | 0   | 0    | 3  | 0    |  |  |  |  |
|            |                     |     |        |    |               | ROYAL |       |    |                  |     |       |    |      |                     |     |      |    |               | KEIRO |      |    |                  |     |      |    |      |  |  |  |  |
| 20/09/2013 | 540                 | 114 | 38     | 0  | 21.6          | 85    | 28.3  | 0  | 7.2              | 341 | 113.7 | 0  | 60.6 | 380                 | 166 | 55.3 | 0  | 89.9          | 135   | 45.0 | 0  | 70.2             | 79  | 26.3 | 0  | 38.1 |  |  |  |  |
| 30/09/2013 | 786                 | 522 | 174    | 0  | 140.0         | 79    | 26.3  | 0  | 30.8             | 185 | 61.7  | 0  | 8.5  | 31                  | 27  | 9.0  | 0  | 8.7           | 2     | 0.7  | 2  | 1.2              | 2   | 0.7  | 2  | 1.2  |  |  |  |  |
| 07/10/2013 | 1374                | 487 | 162.33 | 0  | 121.7         | 559   | 186.3 | 0  | 73.9             | 328 | 109.3 | 0  | 27.6 | 140                 | 17  | 5.7  | 0  | 2.5           | 61    | 20.3 | 0  | 17.2             | 62  | 20.7 | 0  | 12.9 |  |  |  |  |
| 14/10/2013 | 497                 | 182 | 60.67  | 0  | 38.0          | 129   | 43.0  | 0  | 19.5             | 186 | 62.0  | 0  | 7.6  | 265                 | 124 | 41.3 | 0  | 24.8          | 116   | 38.7 | 0  | 15.1             | 25  | 8.3  | 0  | 9.3  |  |  |  |  |
| 21/10/2013 | 573                 | 244 | 81.33  | 0  | 36.2          | 184   | 61.3  | 0  | 25.5             | 145 | 48.3  | 0  | 39.3 | 123                 | 30  | 10.0 | 0  | 10.2          | 55    | 18.3 | 0  | 12.7             | 38  | 12.7 | 0  | 16.9 |  |  |  |  |
| 28/10/2013 | 337                 | 159 | 53     | 0  | 15.6          | 104   | 34.7  | 0  | 13.3             | 74  | 24.7  | 0  | 7.6  | 46                  | 31  | 10.3 | 0  | 4.2           | 12    | 4.0  | 2  | 6.9              | 3   | 1.0  | 2  | 1.7  |  |  |  |  |
| 04/11/2013 | 188                 | 30  | 10     | 0  | 3.6           | 80    | 26.7  | 0  | 8.7              | 78  | 26.0  | 0  | 8.7  | 1                   | 0   | 0    | 3  | 0             | 0     | 0    | 3  | 0                | 1   | 0.3  | 2  | 0.6  |  |  |  |  |
| 11/11/2013 | 60                  | 13  | 4.33   | 0  | 2.5           | 28    | 9.3   | 0  | 1.2              | 19  | 6.3   | 0  | 7.6  | 1                   | 0   | 0    | 3  | 0             | 0     | 0    | 3  | 0                | 1   | 0.3  | 2  | 0.6  |  |  |  |  |
| 18/11/2013 | 9                   | 2   | 0.67   | 2  | 1.2           | 4     | 1.3   | 1  | 1.2              | 3   | 1.0   | 2  | 1.7  | 0                   | 0   | 0    | 3  | 0             | 0     | 0    | 3  | 0                | 0   | 0    | 3  | 0    |  |  |  |  |

T= Total de ácaros, N = Número de individuos por estrato; m= promedio de ácaros por foliolo; EE = Error estándar; Po = Número de unidades con cero individuos

**Tabla 3.** Índices de agregación de *Phytoseiulus persimilis* en cuatro variedades de rosal.

**Table 3.** Index of aggregation of *Phytoseiulus persimilis* in four varieties of roses.

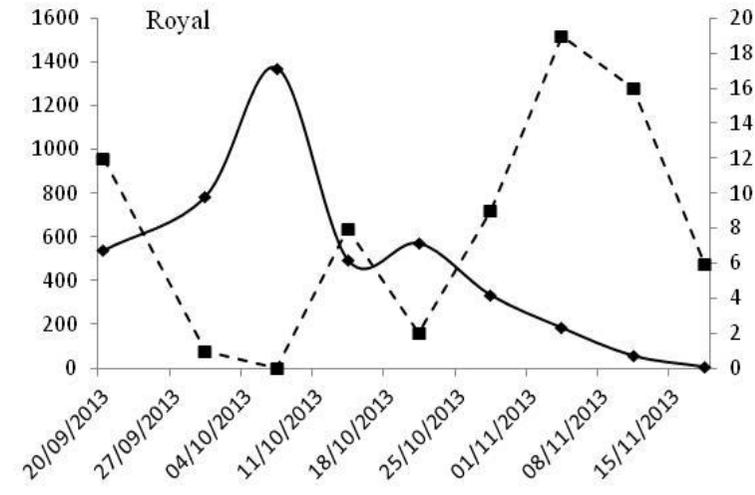
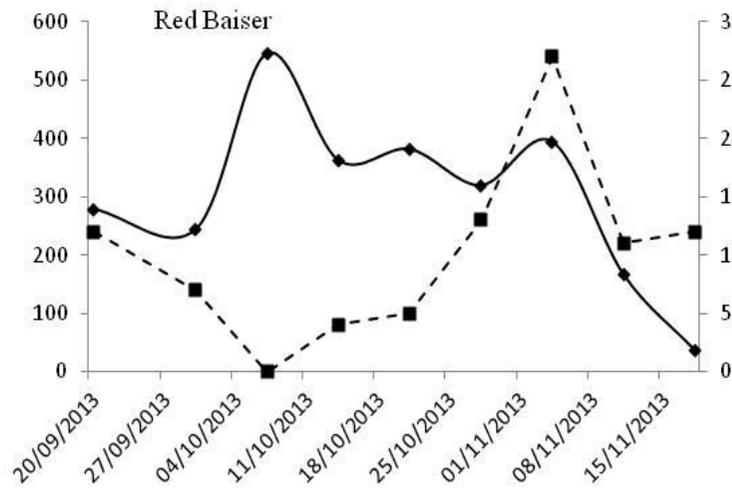
| Fecha      | Red Baiser |            |          |        |                    | Samuray |            |          |        |      |
|------------|------------|------------|----------|--------|--------------------|---------|------------|----------|--------|------|
|            | $\mu$      | $\sigma^2$ | Morisita | Taylor | Iwao               | $\mu$   | $\sigma^2$ | Morisita | Taylor | Iwao |
| 30/09/2013 | 0.78       | 1.94       | 3.00     | 1.35   | 1.60               | 0       | 0          | 0        | 0      | 0    |
| 07/10/2013 | 0          | 0          | 0        | 0      | 0                  | 0.33    | 1.00       | 9.00     | £      | £    |
| 14/10/2013 | 0.44       | 0.53       | 1.50     | 1.00   | =                  | 0.22    | 0.19       | 0        | 1.00   | 1.00 |
| 21/10/2013 | 0.56       | 0.28       | 0        | 1.00   | -0.50 <sup>z</sup> | 1.22    | 5.19       | 3.60     | 1.67   | 2.25 |
| 28/10/2013 | 1.44       | 2.53       | 1.50     | 0.50   | 1.00 <sup>*</sup>  | 2.67    | 6          | 1.43     | 0.06   | 0.75 |
| 04/11/2013 | 3          | 2.5        | 0.95     | -0.97  | 0.39 <sup>z</sup>  | 0.33    | 0.25       | 0        | =      | =    |
| 11/11/2013 | 1.22       | 2.19       | 1.64     | 1.40   | 1.75               | 0       | 0          | 0        | 0      | 0    |
| 18/11/2013 | 1.33       | 3          | 1.91     | 1.49   | 1.86               | 0       | 0          | 0        | 0      | 0    |
|            |            |            | Royal    |        |                    | Keiro   |            |          |        |      |
| 30/09/2013 | 0.11       | 0.11       | 0        | **     | **                 | 0       | 0          | 0        | 0      | 0    |
| 07/10/2013 | 0          | 0          | 0        | 0      | 0                  | 0       | 0          | 0        | 0      | 0    |
| 14/10/2013 | 0.89       | 1.36       | 1.61     | 0.65   | 0.99 <sup>z</sup>  | 0.89    | 0.86       | 0.96     | 2.81   | 2.88 |
| 21/10/2013 | 0.22       | 0.19       | 0        | **     | **                 | 1.67    | 3.25       | 1.54     | 2.40   | 2.75 |
| 28/10/2013 | 1          | 1.75       | 1.75     | 1.72   | 1.98               | 3.56    | 4.28       | 1.05     | 0.96   | 1.32 |
| 04/11/2013 | 2.11       | 6.36       | 1.89     | 1.35   | 1.72               | 1.22    | 3.69       | 2.62     | 2.16   | 2.18 |
| 11/11/2013 | 1.78       | 3.19       | 1.43     | 0.94   | 0.91               | 0       | 0          | 0        | 0      | 0    |
| 18/11/2013 | 0.67       | 2.75       | 6.00     | 1.84   | 3.57               | 0       | 0          | 0        | 0      | 0    |

$\mu$ : Media muestral  $\sigma^2$ : Varianza muestral; Datos de Morisita, Taylor y Iwao igual a 1: Distribución al azar (aleatorio); 1<: Distribución uniforme; >1: Distribución Agregada;; \*\*: Ausencia de ácaros móviles en dos de los tres estratos; £: Varianza menor que la media;  $\xi$ : Varianza igual a la media;  $\Phi$ : Dividendo es igual cero; 0: No se observaron ácaros; =: Medias Iguales;  $\theta$ : Se observó solo un individuo

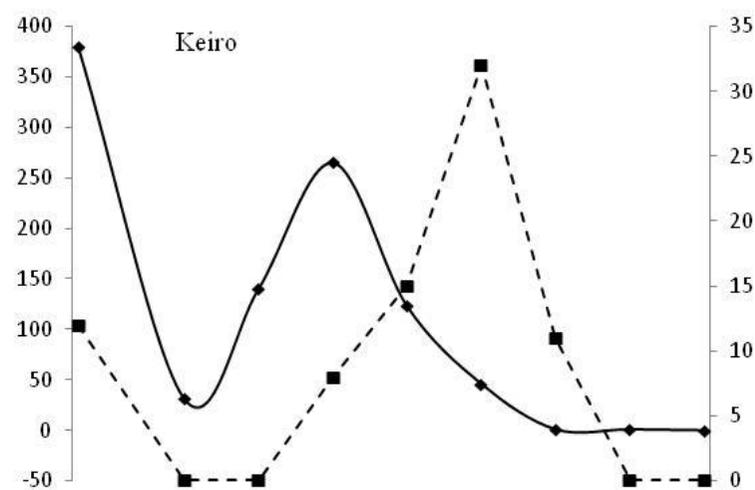
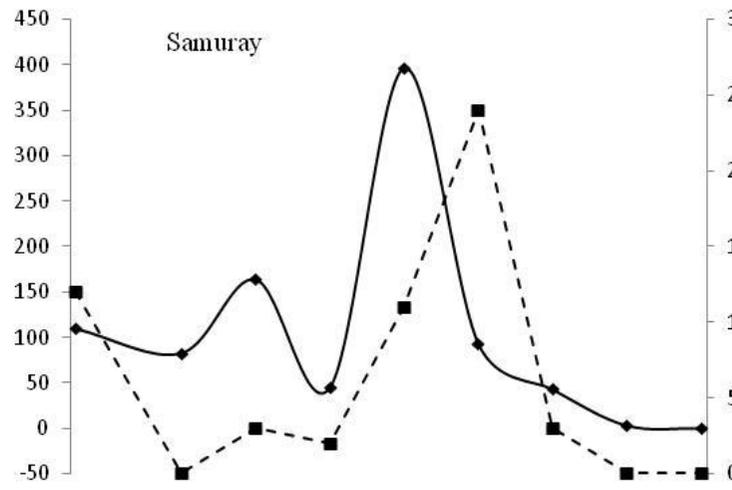


**Fig. 1.** Fluctuación poblacional de *Tetranychus urticae* y *Phytoseiulus persimilis* en cuatro variedades de Rosal.

**Fig. 1.** Population fluctuation of *Tetranychus urticae* and *Phytoseiulus persimilis* on four varieties of roses.



—◆— *T. urticae*  
 -■- *P. persimilis*



## ARTICULO IV

### **Eficiencia Depredadora de *Pselliopus latispina* (Hemiptera: Reduviidae) Sobre *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae)**

### **Predation Efficiency of *Pselliopus latispina* (Hemiptera: Reduviidae) on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae)**

Jerónimo Landeros-Flores, Salvador Ordaz-Silva, Agustín Hernández Juárez,  
Ernesto Cerna-Chávez, Gabriel Gallegos-Morales, y Julio César Chacón-Hernández\*

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Parasitología, Calzada  
Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México CP 25315

**Abstract.** Reduviidae (Hemiptera) is a family of polyphagous predators that can be used as biological control agents for one or more pest species. Predator efficiency of *Pselliopus latispina* over *Tetranychus urticae* Koch females was evaluated using the functional response at different mite densities. Mites were exposed to predation in Petri dishes under laboratory controlled conditions during 24 hours. Predators consumed an average of 56.3 individuals of 64 adult females of *T. urticae*, with a type II functional response according to Holling's instant discovery rate model (a') of 1.0597, and a handling time (th) of 0.00442. These results indicated that *Pselliopus*

*latispina* is a predator with broad perspective that can be used in different crops.

La araña roja *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) es una de las principales plagas de hortalizas y otros cultivos de importancia económica (Opit et al. 2004). Sin embargo, el uso inapropiado de acaricidas sintéticos para su control ha ocasionado un elevado desarrollo de resistencia a dichos productos (Granham y Helle 1985). Como resultado de ello, cada vez es más recomendado un enfoque integrado que incluya el control biológico de insectos depredadores y/o ácaros (Skirvin y Fenlon 2001).

La familia Reduviidae, comúnmente conocidas como chinches asesinas, tiene más de 6,000 especies descritas, y es una de las tres familias con más especies en el Orden Hemiptera (Forero 2008), y la segunda más grande del suborden Heteroptera, exhibiendo una amplio rango de hábitats (Weirauch y Schuh 2011). McMurtry (1982) registra dentro de las características que determinan la eficiencia de un depredador la voracidad de éste y Sabelis (1985) refiere que la respuesta funcional es una de las características de la eficiencia depredadora de una especie. El objetivo de este estudio fue evaluar la eficiencia de *Pselliopus latispina* sobre diferentes densidades de *T. urticae* mediante los parámetros de la respuesta funcional.

La investigación se realizó en el Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Buenavista, Saltillo, Coahuila. Hembras adultas de *T. urticae* como presa, obtenidas de una colonia de laboratorio preestablecida en la UAAAN. Primer instar de *Pselliopus latispina* fueron recolectados en árboles de cedro blanco (*Juniperus flaccida*

Schlechtendal) en la Sierra de Álvarez, San Luis Potosí, México. Se empleó el método de hoja arena (Ahmadi 1983), el cual consistió de una caja Petri (5.5 cm de diámetro) conteniendo un disco de hoja de papel filtro húmedo y sobre este un disco de hoja de frijol (2.5 cm de diámetro) (*Phaseolus vulgaris* L.) en el cual se depositaron diferentes densidades de la presa, ajustado a 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, y 80 y en seguida se le colocó un *Pselliopus latispina* con un día en ayuno. Se realizaron 10 repeticiones para cada una de las densidades de presa con un tiempo de exposición de 24 horas. Los datos de depredación se analizaron mediante el análisis de varianza completamente al azar y pruebas de medias de comparación múltiples de Tukey a ( $P \leq 0.05$ ) (SAS 2002). Se determinó la respuesta funcional de las presas consumidas por *Pselliopus latispina* mediante la ecuación de Holling (1959) utilizando el proceso iterativo del algoritmo Marquardt para modelos no lineales PROC NLIN de SAS/STAT (Marquardt 1963, SAS 2002). Posteriormente mediante el método *Jackknife* (Meyer et al. 1986) se estimaron las medias y varianzas del coeficiente de ataque ( $a'$ ) y el tiempo de manipulación ( $T_h$ ). De la estimación del  $T_h$  fue obtenido el tiempo total de manipulación ( $T_hT$ ) y tiempo de búsqueda ( $T_s$ ); utilizando las siguientes formulas:  $T_hT_{Total} = T_h * N_a$ ;  $T_s = T - T_hT_{Total}$ . La eficiencia de búsqueda ( $E$ ) del depredador fue calculada de la cantidad de presas consumidas y ofrecidas a través de la ecuación:  $E = N_a/N_o$  (Rocha y Redaelli 2004).

Los datos se ajustaron a una respuesta funcional del tipo II, esto nos conducen a los siguientes resultados: la tasa de depredación tendió a disminuir con el aumento de la densidad de la presa, probablemente debido a un aumento en la saciedad del depredador en los focos de mayor densidad. La depredación de *Pselliopus latispina* sobre *T. urticae* fue en promedio 1, 2, 4, 7.4, 12.7, 30.1, 56.3, y

58.8 presas muertas para las densidades 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, y 80, respectivamente (Cuadro 1).

El tiempo de manipulación ( $T_h$ ) del depredador, fue de 0.00442, parámetro menor al obtenido en otros reportes y presumimos que esto sucede cuando el depredador queda en ayuno por 24 horas, como en este estudio, por el cual asumimos que no pasó mucho tiempo manipulando a la presa y su tasa de consumo se vuelve constante, determinada por la cantidad de presas que un depredador puede manipular por unidad de tiempo (Cuadro 1). Además, el tiempo de manipulación puede influir en otros componentes tales como tasa de ataque y la eficiencia de búsqueda (Beddington 1975), situación que ocurrió en este estudio, como una respuesta a un tiempo bajo de manipulación sobre la presa lo que le permite al depredador incrementar su tasa de ataque.

En general, la eficiencia de búsqueda ( $E$ ) disminuyó gradualmente conforme la densidad de presa aumento. Mientras que  $T_s$  y  $T_{ht}$  mostraron una correlación inversa al aumentar la densidad de presa, esto indica una denso-dependencia entre el depredador y su presa, por lo que, es un tipo de respuesta necesaria para realizar una regulación efectiva.

En este estudio se demostró que *P. latispina* es un depredador que resultó con un alto impacto sobre *T. urticae*, sin embargo, una liberación en el campo y su establecimiento sería una prueba contundente de la eficiencia de este depredador; y con base a esto se puede realizar liberaciones con una relación depredador-presa de 1:56, siendo óptima para el control de la plaga en 24 horas.

Cuadro 1. Parámetros de la Respuesta Funcional Registradas para *P. latispina* sobre Hembras de *T. urticae*

Table 1. Functional Response Parameters Recorded for *P. latispina* on Female *T. urticae*

| No | Na      | ± | SE      |    | Holling | a'     | Th     | T Th   | Ts     | Na máx. | E    |
|----|---------|---|---------|----|---------|--------|--------|--------|--------|---------|------|
| 1  | 1       | ± | 0.00    | e  | 1.05    | 1.0598 | 0.0044 | 0.0044 | 0.9956 |         | 1    |
| 2  | 2       | ± | 0.00    | e  | 2.01    | 1.0601 | 0.0044 | 0.0088 | 0.9956 |         | 1    |
| 4  | 4       | ± | 0.00    | de | 4.16    | 1.0611 | 0.0041 | 0.0162 | 0.9960 |         | 1    |
| 8  | 7.4     | ± | 1.26    | d  | 8.17    | 1.0726 | 0.0046 | 0.0339 | 0.9954 |         | 0.93 |
| 16 | 12.7    | ± | 6.45    | c  | 15.77   | 1.1702 | 0.0056 | 0.0716 | 0.9944 |         | 0.79 |
| 32 | 30.1    | ± | 2.64    | b  | 29.49   | 1.0281 | 0.0041 | 0.1219 | 0.9960 |         | 0.94 |
| 64 | 56.3    | ± | 4.00    | a  | 52.18   | 1.0085 | 0.0045 | 0.2550 | 0.9955 |         | 0.88 |
| 80 | 58.8    | ± | 2.74    | a  | 61.17   | 0.9192 | 0.0007 | 0.0409 | 0.9993 | 58.8    | 0.74 |
| a' | 1.0597  | ± | 0.1738* |    |         |        |        |        |        |         |      |
| Th | 0.00442 | ± | 0.0013* |    |         |        |        |        |        |         |      |

No: presas ofrecidas, N<sub>a</sub>: número de presas consumidas, Th: tiempo de manipulación, a': tasa de ataque, Ts: tiempo de búsqueda, T Th: tiempo total de manipulación, Na máx.: consumo máximo y E: eficiencia de búsqueda. Medias con la misma letra no muestran diferencia significativa mediante la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). SE: desviación estándar; \*Error estándar Jackknife.

### Referencias Citadas

- Ahmadi, A. 1983. Demographic toxicology as a method for studying the dicofol twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) system. *J. Econ. Entomol.* 76: 239-242.
- Beddington, J. R. 1975. Mutual interference between parasites or predators and its effects on searching efficiency. *J. Anim. Ecol.* 44: 331-340.
- Foglar, H., J. C. Malausa, E. Wajnberg, and C. S. Holling. 1990. The functional response and preference of *Macrolophus caliginosus* (Heteroptera: Miridae) for two of its prey: *Myzus persicae* and *Tetranychus urticae*. *Entomophaga* 35: 465-474.

- Forero, D. 2008. The systematics of the Hemiptera. *Rev. Col. Entomol.* 34: 1-21.
- Granham, J. E., and W. Helle. 1985. Pesticide resistance in Tetranychidae, pp. 405-420. *In* W. Helle and M. W. Sabelis [eds.], *Spider Mites. Their Biology, Natural Enemies and Control*. Elsevier, Amsterdam.
- Holling, C. S. 1959. Some characteristics of simple type of predation and parasitism. *Can. Entomol.* 91: 385-398.
- Marquardt, D. W. 1963. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. *J. Soc. Ind. Appl. Math.* 11: 431-441.
- McMurtry, J. A. 1982. The use of phytoseiids for biological control: progress and future prospects. *In* M. A. Hoy [ed.], *Recent Advances in Knowledge of the Phytoseiidae*. Division of Agricultural Sciences, Univ. of Calif. Pub. 3284.
- Meyer, J. S., C. G. Ingersoll, L. L. McDonald, and M. S. Boyce. 1986. Estimating uncertainty in population growth rates: Jackknife vs. Bootstrap techniques. *Ecology* 67: 1156-1166.
- Opit, G. P., J. R. Nechols, and D. C. Margolies. 2004. Biological control of twospotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), using *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) on ivy geranium: assessment of predator release ratios. *Biol. Control* 29: 445-452.
- Rocha, L. da., and L. R. Redaelli. 2004. Functional response of *Cosmoclopius nigroannulatus* (Hem.: Reduviidae) to different densities of *Spartocera dentiventris* (Hem.: Coreidae) nymphae. *Braz. J. Biol.* 64: 309-316.
- Sabelis, M. W. 1985. Predation on spider mites, pp. 103-129. *In* W. Helle and M. W. Sabelis [eds.], *World Crop Pests. Spider Mites, their Biology, Natural Enemies and Control*, Elsevier, Amsterdam. Vol. IB.

- SAS Institute. 2002. The SAS System for Windows, Release 9.0. SAS Institute, Cary, NC.
- Skirvin, D. J., and J. S. Fenlon. 2001. Plant species modifies the functional response of *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae): implications for biological control. Bull. Entomol. Res. 91: 61-67.
- Weirauch, C., and R. T. Schuh. 2011. Systematics and evolution of Heteroptera: 25 years of progress. Annu. Rev. Entomol. 56: 487-510.

## CONCLUSIONES GENERALES

Por lo anterior podemos concluir que los datos se ajustan a una respuesta funcional de tipo II. Con respecto a la comparación de entre los modelos: para el caso de larva y ninfa el modelo de tiempo continuo (Holling) fue el que mejor se ajustó al conjunto de los datos, y con respecto al estadio de huevo y adulto el modelo de tiempo discreto (Rogers) fue el que mayor ajuste obtuvo a los datos. Pero el modelo de Livdahl y Stiven fue el que resultó con menor AIC y AICc. Así como en los estadísticos SBIC y PC en las cuatro evaluaciones por lo tanto este modelo se ajusta mejor que los demás.

Por otro lado en las variedades Keiro, Anastasia y Visón, *Phytoseiulus persimilis* presentó mayor eficiencia, ya que a las sexta semana ya no se observaron huevos, larvas, ninfas y adultos de *Tetranychus urticae*.

En las variedades Royal y Red Baiser el depredador presentó menor eficiencia, ya que hasta la séptima semana se observó control sobre *T. urticae*.

Los resultados de los modelos de distribución espacial, mostraron que el tamaño e intensidad de los agregados está determinado por la presencia de *Phytoseiulus persimilis*. En general, el modelo Taylor y Iwao mostraron que el fitoseido sí afecta la distribución del ácaro de dos manchas en las variedades Red Baiser, Samuray, Royal y Keiro; ya que al disminuir la población del fitófago por la

depredación cambia la distribución espacial del ácaro de dos manchas; y al no tener alimento suficiente el depredador también cambia su distribución espacial. Otro hecho es que, el depredador provoca el movimiento del fitófago por lo que éste cambia su distribución espacial.

El depredador se agrupa en los folíolos, donde la población de la araña roja es mayor en comparación a los otros estratos; lo cual le permite que la eficiencia dependa de su habilidad para distribuirse espacialmente en relación al movimiento de su presa en la planta.

Con respecto a *P. latispina*, es un depredador que resultó con un alto impacto sobre *T. urticae*, sin embargo, una liberación en el campo y su establecimiento sería una prueba contundente de la eficiencia de este depredador; y con base a esto se puede realizar liberaciones con una relación depredador-presa de 1:56, siendo óptima para el control de la plaga en 24 horas.

## LITERATURA CITADA

- Andrews, K. 1989. "Introducción a los conceptos del manejo integrado de plagas." En: Manejo integrado de plagas insectiles en la agricultura; estado actual y futuro. Andrews, K & Quezada, J.R. (ed). 4-20 pp.
- Aponte, O.; Aponte, F. 1990. Daño de *Tetranychus urticae* Koch y su influencia en el cultivo de la caraota (*Phaseolus vulgaris* L.). Boletín Entomológico de Venezuela 5(20): 197- 204.
- Aponte, O. McMurtry J.A. 1997. Damage on Hass avocado leaves, webbing and nesting behavior of *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae). Experimental and Applied Acarology 21: 265-272.
- Arriaga M.R, A González Huerta, V Olalde Portugal, BG Reyes Reyes, AM Castillo González, DJ Pérez López, LI Aguilera Gómez. 2012. Interrelationship between phosphorus, *Bacillus subtilis* and *Glomus fasciculatum* with *Lilium* quality. Phytom. 81:59-68.
- Ashihara, W., T. Hamamura, and N. Shinkaji. 1978. Feeding reproduction, and development of *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acarina:Phytoseiidae) on various food substances. Bull. Fruit Tree Res. Stn. Ser. E 1978. 2:91- 98.
- Aznar, A. 1989. Econometric Model Selection: A New Approach. Dordrecht: 260 p. Kluwer Academic Publishers.

- Badii, M.H., A.E. Flores, R. Forughbakhch & H. Quiroz. 2000. Fundamentos de muestreo. Pp. 129-144. In: M.H. Badii, A.E. Flores & L.J. Galán (eds.). Fundamentos y perspectiva de Control Biológico, UANL, Monterrey.
- Bautista, N., J. Alvarado, J.C. Chavería, H. Sánchez. (Eds.). 2002. Menajo Fitosanitario de Ornamentales. Colegio de Posgraduados e Instituto de Fitosanidad.
- Begljarow, G. A. 1967. Ergebnisse der Untersuchungen und der Anwendung von *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot als biologische Bekämpfungsmittel gegen Spinnmilben in der Sowjetunion. Nachrichtenblatt des Pflanzenschutzdienstes. 21(47):197-200. pp.
- Bondarenko, N. V. and Kuan, H. A. J. 1958. Peculiarities in the origin of diapause in different geographical populations of *T. telarius* (In Russian). Dokl. Akad. Nauk. SSSR. 119:1247-1250.
- Casey, C., J.P. Newman, K.L. Robb, S.A. Tjosvold, J.M. MacDonald & M.P. Parrella. 2007. IPM program successful in California greenhouse cut roses. *California Agriculture* 61:71-78
- Consejo Mexicano de la Flor. 2012. Particularidades del Mercado y las expectativas para el uso y producción de material de propagación certificado.
- Chant, D. A. 1961. An experiment in biological control of *Tetranychus telarius* (L.) (Acarina:Tetranychidae) in a greenhouse using the predacious mite *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Phytoseiidae). Can. Entomol. 93:437-443. pp.
- Chow, A., A. Chau & K.M. Heinz (2009). Reducing Fertilization for Cut Roses: Effect on Crop Productivity and Twospotted Spider Mite Abundance, Distribution, and Management. *Journal of Economic Entomology* 102:1896-1907.
- Crooker, A. 1985. Embryonic and Juvenile Development. pp. 149-160. En Helle W. y W. M. Sabelis (Editores). Spider Mites, Their Biology, Natural Enemies and Control. Vol. 1A. Elsevier Science Publishing Company.
- De Bach, P. 1968. Control biológico de insectos plagas y malas hierbas. Compañía Editorial Continental, México.
- Dosse, G. 1958. Über einige neue Raubmilbenarten (Acarina:Phytoseiidae) Pflanzenschutzber-Berichte 21:44-61. pp.

- Eveleigh, E.S., and D.A. Chant. 1982. Experimental studies on acarine predator-prey interactions: the effects of predator density on immature survival, adult fecundity and emigratin rates, and the numerical response to prey density (Acarina:Phytoseiidae). *Ibid.* 60:630-638. pp.
- Fan, Y.Q.; Pettitt, F.L. 1994. Parameter estimation of functional response. *Environmental Entomology* 23: 785-794.
- FND. Financiera Nacional de Desarrollo. 2014. Panorama de Ornamentos.
- Force, D.C. 1967. Effect of temperature on biological control of twospotted spider mites by *Phytoseiulus persimilis*. *J. Econ. Entomol.* 60:1308-11. pp.
- Forero, D. 2008. The systematics of the Hemiptera. *Rev. Col. Entomol.* 34: 1-21.
- Fransz, H.G. 1974. The functional response to prey density in an acarine system. Wageningen, Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Belgium. ISBN 90 220 05100.
- French, N., W.J. Parr, H.J. Gould, J.J. Williams, and S.P. Simmonds. 1976. Development of biological methods for the control of *Tetranychus urticae* on tomatoes using *Phytoseiulus persimilis*. *Ann. Appl. Biol.* 83:177-89 pp.
- Gerson U, Smiley R. 1990. Acarine Biocontrol Agents. A Illustrated Key and Manual. Chapman and Hall London. 83-84p, 133-144p.
- Gómez, G.A.A. 2009. La situación de las flores de corte mexicanas dentro de la política comercial internacional de México. *TECSISTECATL* 2: 1-30.
- Gómez A. A. 2010. La situación de las flores de corte mexicanas dentro de la política comercial internacional de México. *TECSISTECATL: Economía y Sociedad de México.* ISSN: 1886-8452. 2:1-30.
- Goodwin, S. B., L. S Sujkoski and W. E Fry. 1995. Rapid Evolution of pathogenicity within clonal lineages of the potato late blight disease fungus. *Phytopathology* 85: 669-678.
- Gould,H.J.1987. Protected crops. pp: 404-405. In: Burn A. J. Croaker and Jepson P. (eds.) *Integrated Pest Management.* Academic Press, New York, USA.

- Jepsson, L.R.H., H. Keifert and E.W Baker. 1975. Mites Injurious to Economic Plants Univ. Calif. Press. Los Angeles.
- Johnson, J.; Omland, K. 2004. Model selection in ecology and Evolution. Trends in Ecology and Evolution 19: 101-108.
- Hall, F.R.; Ferree D.C. 1975. Influence of twospotted spider mite population on photosynthesis of apple leaves. Journal Economic Entomology 68: 517-520.
- Holling, C.S. 1959. Some characteristics of simple type of predation and parasitism. The Canadian Entomologist 91: 585-598.
- Holling, C.S. 1966. The functional response of invertebrate predators to prey density. Memoirs of the Entomology Society of Canada 48: 1-86.
- Helle, W. and Sabelis, M. W. (eds.). 1985. Spider mites: Their biology, natural enemies and control. Volume 1A. Elsevier, Amsterdam, 406 p.
- Helle W. and L. P. Pijnacker. 1985 Partenogenesis, cromosomas y sex. pp. 129-138. En Helle y Sabelis (Editores) Spider Mites Their Biology, Natural Enemies and Control. Vol. 1A. Elsevier Science Publishing Company.
- Hilarión, A., A. Niño, F. Cantor, D. Rodríguez, y J.R. Cure (2008). Criterios para la liberación de *Phytoseiulus persimilis* Athias Henriot (Parasitiformes: Phytoseiidae) en cultivo de rosa. *Agronomía Colombiana* 26:68-77.
- Huffaker, C. B., M. van de Vrie & J. A. McMurtry, 1970. Ecology of tetranychid mites and their natural enemies: a review. II. Tetranychid populations and their possible control by predators: an evaluation. *Hilgardia* 40: 391-458.
- Kim, M., D. Shin and K. Cho. 2004. An assessment of the chronic toxicity of fenpyroximate and pyridaben to *Tetranychus urticae* using a demographic bioassay. *Appl. Entomol. Zool.* 39(3):401-409.
- Koehler, A.B. and B.S. Murphree. 1988. A comparison of the Akaike and Schwarz Criteria for selecting model order. *Applied Statistics*. 37:187-195.
- Krantz, G. W. 1970. A Manual of Acarology. Oregon State University. Book Stores inc. 509 pp.

- Krebs, Ch.J. 1978. Ecology: The Experimental analysis of distributions and abundance. Harper & Row: New York.
- Laing, J.E. 1968. Life history and life table of *Phytoseiulus persimilis* AthiasHenriot. *Acarologia* 10:578-88. pp.
- Laing, J.E., and C.B. Huffaker. 1969. Comparative studies of predation by *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot and *Metaseiulus occidentalis* (Nesbitt) (Acarina:Phytoseiidae) on populations of *Tetranychus urticae* Koch (Acarina: Tetranychidae). *Res. Popul. Ecol.* 11:105-126. pp
- Livdahl T P, Stiven A E (1983) Statistical difficulties in the analysis of predator functional response data. *Can Entom* 115:1365-1370.
- McMurtry, J.A. 1982. The use of phytoseiids for biological control: Progress and future prospects. In M.A. Hoy, [ed.]. *Recent advances in knowledge of the Phytoseiidae*. Agricultural Sciences Publications. University of California, Berkeley, CA. 92pp.
- Mills, J.A. and K. Prasad. 1992. A comparison of model selection criteria. *Econometric Reviews*. 11:201-223.
- García-Olaverri, C. 1996. Estabilidad de algunos criterios de selección de modelos. *Qüestiió*. 20:147-166.
- García-Olaverri, C. y A. Aznar. 1994. Estudio comaprado de la robustez de distintos criterios de selección de modelos de econométricos ante medios en la varianza. *Estadística Española*. 36:287-318.
- Gemeke, J. and R. Meese.1981. Estimating regression model of finite but unknown order. *International Economic Review*. 22:55-70.
- Orozco, M.E. y M. Mendoza. 2003. Competitividad local de la agricultura ornamental en México. *Ciencia ergo sum*. 10:29-42.
- Pavón, N. P. Sánchez G; Ramírez A.; Moreno, C. Rojas A. Ballesteros, I.Z. Castellanos I. y León R. (eds.). 2011. *Prácticas de ecología: poblaciones, interacciones y comunidades*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo, México. ISBN: 978-607-482-200-7. 120 pp.

- Pralavorio, M. and L. Almaguel-Rojas. 1980. Influence of temperature and humidity relative for development and reproduction of *Phytoseiulus persimilis*. SROP/WPRS 1980 III/3, 157-162. pp.
- Pruszyński S. 1976. Observations on the predacious behavior of *Phytoseiulus persimilis*. Bull. SROP/WPRS 1976/4:39-44.
- Rogers D. 1972. Random search and insect population models. *Journal Animal Ecology*. 41:369-383.
- Sabelis, M.W. 1981. Biological control of twospotted spider mites using phytoseiid predators. I. Agric. Res. Report 910. Pudoc, Wageningen, The Netherlands.
- Sabelis, M.W. 1985. Development. Spider Mites. Their Biology, Natural Enemies and Control. vol. 1B. W. Helle and M.W. Sabelis. Eds. Elsevier Science Publishers. B.W., Amsterdam. 43-53. pp.
- Sadras, V.O., L.J. Wilson, and D.A. Rally. 1998. Water deficit enhanced cotton resistance to spider mite herbivory. *Ann. Bot. (London)* 81:273-286.
- Simmonds, S.P. 1972. Observations on the control of *Tetranychus urticae* on roses by *Phytoseiulus persimilis*. *Pl. Path.* 21:163-65. pp.
- Schmidt, V.G. 1976. Der einfluss der von den beutetieren hinterlassenen spuren auf suchverhalten und sucherfolg von *Phytoseiulus persimilis* A. & H. (Acarina, Phytoseiidae). *Z. Ang. Entomol.* 82:16-18. pp.
- Solomon, M.E. 1949. The natural control of animal populations. *Journal Animal Ecology* 18: 1-35.
- SAGARPA. 2008. Boletín ASERCA regional peninsular: La floricultura.
- SNICS-SAGARPA. 2010. Perspectivas del sector productivo de ornamentales con relación a los derechos de obtentor en México. Cuernavaca, Morelos.

- Stenseth, C. 1979. Effect of temperature and humidity on the development of *Phytoseiulus persimilis* and its ability to regulate populations of *Tetranychus urticae* (Acarina:Phytoseiidae, Tetranychidae). *Entomophaga* 24:311-317. pp.
- Takafuji, A. and D. A. Chant. 1976. Comparative studies of two species of predacious phytoseiid mites (Acarina: Phytoseiidae), with special reference to their responsive studies of two species of predacious phytoseiid mites (Acarina:Phytoseiidae), with special reference to their responses to the density of their prey. *Ibid* 17:255-310.pp.
- Takafuji, A. 1977. The effect of the rate of successful dispersal of a phytoseiid mite, *Phytoseiulus persimilis* Athias- Henriot (Acarina:Phytoseiidae) on the persistence in the interactive system between the predator and its prey. *Res. Popul. Ecol.* 18:210-222. pp.
- Tomczyk, A.; Kropcznska, D. 1985. Effects on the host Plant. In: Helle W. y Sabelis M. 1985. *Spider Mites: Their Biology, Natural Enemies and Control*. Vol 1A. Elsevier Science Publishing Co., Amsterdam, The Netherlands. Pp. Xx-yy.
- Tomczyk A., Kiełkiewicz M., Van De Vrie M. 1996. The development of two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch.) injury on black currant leaves. *OILB/ srop Bull.* 19: 360-361.
- Van de Vrie, J. A. McMurtry y C.B. Huffaker. 1972. Biology, Ecology, and Pest Status and Host-Plants Relations of Tetranychids in Ecology of Tetranychid Mites and Their Natural Enemies: A Review. *Hilgardia.* 41 (13): 343-432. pp.
- Veerman, A. 1977. Aspects of the Indution and Termination of Diapause in a Laboratory Strain of the Mite *Tetranychus Urticae*. *J. insect Physiology.* 23:703-711. pp.
- Veerman, A. 1985. Diapause in Tetranychid Mites: Characteristics and Ocurrance. pp. 279-310. En Helle W. y M. W. Sabelis. (Editores) *Spider Mites Biology., Natural Enemies and Control*. Vol. 1A. Elsevier Science Publishing Company.
- Zemek R, Nachman G (1998) Interactions in a tritrophic Acarine Predator-PreyMetapopulation System: effects of *Tetranychus urticae* on the dispersal rates of *Phytoseiulus persimilis* (Acarina: Tetranychidae, Phytoseidae). *Experimental & Applied Acarology.* 22:259-278.