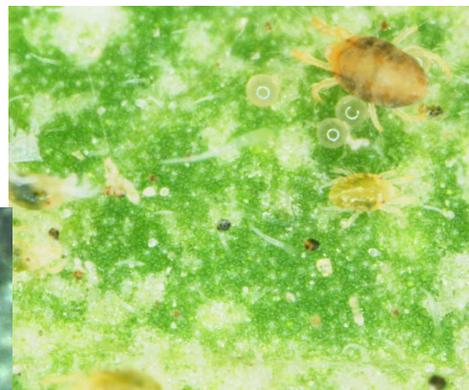
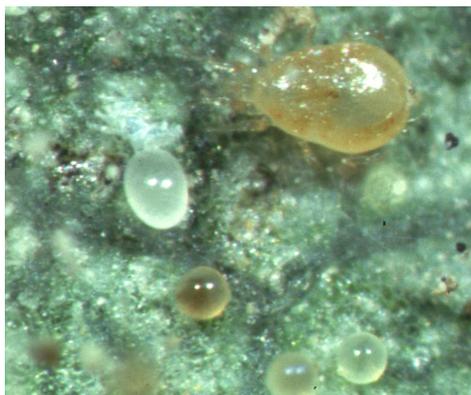


**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS**  
**DEPARTAMENTO DE ECOSISTEMAS AGROFORESTALES**



**Dinámica del sistema depredador-presa de las arañas rojas y los fitoseidos (Acari: Tetranychidae, Phytoseidae) en cultivos hortícolas**



**Memoria para optar al grado de Doctor**  
**Presentada por Cristina Antonia Gómez Moya**  
**Director: Francisco Ferragut Pérez**  
**Valencia, mayo 2007**





*DEPARTAMENTO*  
*DE ECOSISTEMAS AGROFORESTALES*  
E.T.S. INGENIEROS AGRÓNOMOS  
Universidad Politécnica Valencia  
Camino de Vera, s/n  
Telf.96-3879260 -Fax96-3879269  
46022 VALÈNCIA

El **Dr. Francisco Ferragut Pérez**, Profesor Titular de la Universidad Politécnica de Valencia.

**CERTIFICA:**

Que el trabajo de tesis titulado: “Dinámica del sistema depredador-presa de las arañas rojas y los fitoseidos (Acari: Tetranychidae, Phytoseidae) en cultivos hortícolas”, realizado bajo mi dirección por **Dña. Cristina Antonia Gómez Moya**, durante el periodo comprendido entre 2001 a 2006, lo considero finalizado y puede ser presentado para su exposición y defensa pública para optar al grado de Doctor, en el Departamento de Ecosistemas Agroforestales de la Universidad Politécnica de Valencia.

Fdo: Dr. Francisco Ferragut Pérez

Valencia, Mayo 2007



*A Ony y a Karol*

*A José*

*A todo aquel que ha cruzado el atlántico, el estrecho  
o los pirineos, detrás de una ilusión.*



“Nada de mirar hacia atrás. Nada de deprimirte. Mira hacia delante. El salto ha sido muy grande y mereces lo mejor. Ahora es que todo empieza y no hay lugar para acobardarse y mirar hacia atrás.

No necesitas de nadie para triunfar. El triunfo lo llevas dentro desde siempre. Tú eres dueña de tu propio mundo, de tu propio futuro, de tu felicidad. No pongas jamás esas cosas que son muy tuyas, en manos de nadie.

Sigue con todas tus fuerzas que el triunfo te espera; no se te irá para ninguna parte. -¡Es tuyo! Estás en medio del charco y la única alternativa que tienes es nadar, nadar y nadar para salir bien a flote”.

*Marcos Delgado*  
7/3/2001



## AGRADECIMIENTOS

Durante nuestro paso por la vida nos embarcamos en proyectos que serían imposibles de realizar sin la colaboración de otros. En este proyecto en particular, debo rendir mis más sinceros agradecimientos a todas esas personas e instituciones, que de alguna manera u otra, contribuyeron a que saliera bien a flote y fuera una realidad. Especialmente:

A la Universidad Politécnica de Valencia, por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de ampliar conocimientos, de conocer nuevos mundos y otras culturas.

A mi director Francisco Ferragut, por aceptarme en su grupo de trabajo y por su gentileza de conducir este proyecto.

A Ony y a Karol, mis hijas. Que tuvieron que pasar de niñas a adultas antes de tiempo; por las horas robadas y de soledad; de irse a la cama sin ver a mamá, porque estaba trabajando o en la universidad. Su pregunta inocente de cuando terminaría, fue la motivación de todos los días.

Al Departamento de Entomología por las facilidades proporcionadas, en especial a su director Fernando García-Marí, por su apoyo durante estos años de estudios, por sus orientaciones y consultas, sobre todo en la parte de estadística.

A Mayra Ramos del Centro Nacional de Seguridad Biológica-CNSB, Cuba. Por iniciarme en la ciencia de la acarología y por su colaboración para ingresar en los estudios de doctorado.

A Lourival Costa Paraíba, del Centro Nacional de Pesquisa do Meio Ambiente –CNPMA, de la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria – EMBRAPA, Brasil. Por su valioso aporte en el diseño del modelo matemático utilizado en este trabajo.

A José Oscar Payero y a Freddy Contreras, por la amistad a través de la distancia y el tiempo. Que con sus múltiples ocupaciones, uno en Nebraska y Australia y el otro en Brasil, siempre encontraron tiempo disponible para atender mis consultas; por su motivación continua a concluir y por la revisión de la tesis.

A Jesús Benítez, padre de mis hijas, por permitir que ellas me acompañasen durante todos estos años y por mantener ese lazo de amistad.

A mis padres Ona y Carlos, a mis hermanos Urbano, sor Juanita, Jacqueline, Afra, Inmaculada y Juan Carlos, a mis primos Juan Manuel y Viviana, por estar siempre pendientes de nosotras; por el cariño, rezos y alegrías en sus llamadas telefónicas.

A Tía Hilda, Isis y Mártires, por su cariño y por toda su colaboración logística y económica, durante estos años lejos de casa.

A la Asociación La Vega Real de Ahorros y Préstamos, en especial a su presidente Marcos Delgado por su apoyo y cariño, y a sus secretarías Lisbet y Andrea, por sus atenciones y servicios de contabilidad.

Al Centro de Investigaciones Arroceras –CEDIA y al Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales –IDIAF, por su permiso para realizar los estudios de doctorado.

A Pablo Morales y a Manuel González, por su recomendación para obtener la beca. Y a Raúl Cáceres, por su amistad y apoyo en cada momento solicitado.

A José Manuel, Laura y Adriana por su valiosa colaboración en los ensayos iniciales.

A aquellas empresas y familias que me proporcionaron empleo para poder continuar con mis estudios y sostener mis dos hijas durante los últimos cuatro años de la realización de esta tesis doctoral, en especial al Restaurante San Patricio, a Limpiezas Jelos y a las familias de Mari Carmen y Juan Antonio Torres; Amparo Mejía; María José y José Luis Olivares; a Manuel Sanz, Cristina y Beatriz García, y a Paco Zoriano.

A Luis Marquina y Carlos Granda por su colaboración y amistad durante todos estos años. Mis hermanos peruanos, que desde la llegada a Valencia, me proporcionaron toda la orientación y ayuda necesaria para establecerme.

A María Vázquez, asistente legal de Comisiones Obreras, por su valiosa colaboración en los asuntos de extranjería.

A Fortunato, Camilo, Deth y Neni (nuestra familia africana en Europa); a Lucía, Joana, Montse y Luz Gonzalve (nuestra familia española) y a Libia, Catarino, Rocío, Antonio, Alexander, Lupita, Janette y Raúl (la gran familia latinoamericana). Por la amistad, colaboraciones y sugerencias; por todos los momentos compartidos.

A mis compañeros de laboratorio Carlos, Rocío Alarcón, César y Pablo. Con su apoyo, sus ocurrencias y alegría, hicieron las horas de trabajo menos tediosas. A mis amigos de los Departamentos de Ecosistemas Agroforestales y Patología Vegetal, especialmente a Paco Jiménez, Raquel, Carmen y Cristina Navarro, a Josep, Toni, Roberto y Juan Carlos. Por su colaboración y amistad.

Al padre Fausto, Mélida y María Teresa, mis consejeros espirituales en mis respectivas etapas del doctorado.

A los chicos que compartieron piso con nosotras, en especial a Luz y Erika, Antonio y Paula, a Juan Carlos y Richard, a Ramona y Anne, a Jorge Luis, y a la adorable Yelitza. Con los cuales conocimos una nueva forma de vivir y otras culturas sin salir del hogar.

*Cristina*

# ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	xix
<b>RESUM</b> .....	xxi
<b>ABSTRACT</b> .....	xxiii
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1. Importancia de los ácaros</b> .....	3
<b>1.2. Las arañas rojas en los cultivos hortícolas españoles</b> .....	5
1.2.1. <i>Tetranychus urticae</i> Koch (1836) .....	6
1.2.2. <i>Tetranychus evansi</i> Baker y Pritchard (1960) .....	7
1.2.3. <i>Tetranychus turkestanii</i> Ugarov y Nikolski (1937) .....	9
<b>1.3. Daños de las arañas rojas y métodos de control</b> .....	11
<b>1.4. Los fitoseidos en los cultivos hortícolas</b> .....	13
1.4.1. <i>Phytoseiulus persimilis</i> Athias-Henriot (1957) .....	15
1.4.2. <i>Neoseiulus californicus</i> (McGregor, 1954) .....	17
<b>1.5. Justificación y objetivos</b> .....	19
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	21
<b>2.1. Condiciones generales de los ensayos</b> .....	23
2.1.1. Procedencia y cría de las arañas rojas .....	23
2.1.2. Procedencia y cría de los fitoseidos .....	24
2.1.3. Parámetros biológicos de los fitoseidos en el laboratorio .....	25
2.1.4. Eficacia de los fitoseidos en el control de las arañas rojas en el invernadero .....	27
<b>2.2. Procesamiento y análisis de datos</b> .....	29
2.2.1. Ensayos de laboratorio .....	29
2.2.2. Ensayos en el invernadero .....	29
2.2.3. <b>Simulación de la dinámica poblacional de arañas rojas y fitoseidos en plantas de ciclo corto en invernadero</b> .....	30
2.2.3.1. Modelo matemático de la relación entre las poblaciones de presas y depredadores .....	31
2.2.3.2. Algoritmo de selección .....	34
<b>3. RESULTADOS</b> .....	37
<b>3.1. Respuesta numérica potencial de <i>Neoseiulus californicus</i> y <i>Phytoseiulus persimilis</i> con <i>Tetranychus urticae</i> como alimento</b> .....	39
3.1.1. Duración del desarrollo de los depredadores .....	39
3.1.2. Longevidad, fecundidad y parámetros demográficos de los depredadores .....	40
3.1.3. Consumo de presas por parte de los depredadores .....	42
<b>3.2. Dinámica poblacional de <i>Neoseiulus californicus</i> y <i>Phytoseiulus persimilis</i> con las presas <i>Tetranychus urticae</i>, <i>Tetranychus turkestanii</i> y <i>Tetranychus evansi</i></b> .....	44
3.2.1. Dinámica depredador-presa en el caso de <i>Tetranychus urticae</i> .....	44
3.2.1.1. Comportamiento de <i>Tetranychus urticae</i> en ausencia de depredadores .....	44
3.2.1.2. Interacciones entre <i>Tetranychus urticae</i> y <i>Neoseiulus californicus</i> . Efecto de distintas relaciones depredador-presa.....	44
3.2.1.3. Interacciones entre <i>Tetranychus urticae</i> y <i>Phytoseiulus persimilis</i> . Efecto de distintas relaciones depredador-presa .....	48

3.2.1.4.	Estimación del índice de daños producidos por <i>Tetranychus urticae</i> .....	51
3.2.2.	Dinámica depredador-presa en el caso de <i>Tetranychus turkestanii</i> .....	53
3.2.2.1.	Comportamiento de <i>Tetranychus turkestanii</i> en ausencia de depredadores .....	53
3.2.2.2.	Interacciones entre <i>Tetranychus turkestanii</i> y <i>Neoseiulus californicus</i> . Efecto de distintas relaciones depredador-presa .....	53
3.2.2.3.	Interacciones entre <i>Tetranychus turkestanii</i> y <i>Phytoseiulus persimilis</i> . Efecto de distintas relaciones depredador-presa .....	56
3.2.2.4.	Estimación del índice de daños producidos por <i>Tetranychus turkestanii</i> .....	59
3.2.3.	Dinámica depredador-presa en el caso de <i>Tetranychus evansi</i> .....	61
3.2.3.1.	Comportamiento de <i>Tetranychus evansi</i> en ausencia de depredadores.....	61
3.2.3.2.	Interacciones entre <i>Tetranychus evansi</i> y <i>Neoseiulus californicus</i> . Efecto de distintas relaciones depredador-presa .....	61
3.2.3.3.	Interacciones entre <i>Tetranychus evansi</i> y <i>Phytoseiulus persimilis</i> . Efecto de distintas relaciones depredador-presa .....	63
3.2.3.4.	Estimación del índice de daños producidos por <i>Tetranychus evansi</i> .....	65
3.2.4.	Distribución vertical y desplazamiento de los ácaros en la planta .....	67
3.2.4.1.	Distribución vertical de los ácaros .....	67
3.2.4.2.	Desplazamiento temporal de los ácaros .....	69
3.2.4.3.	Influencia de la densidad poblacional en la distribución vertical de los ácaros ...	72
3.2.5.	Evolución de las relaciones depredador-presa durante los ensayos .....	75
<b>3.3.</b>	<b>Simulación de la dinámica poblacional de <i>Neoseiulus californicus</i> y <i>Phytoseiulus persimilis</i> con sus presas <i>Tetranychus urticae</i> y <i>Tetranychus turkestanii</i> .....</b>	<b>78</b>
3.3.1.	Simulación de la dinámica de los depredadores <i>Neoseiulus californicus</i> y <i>Phytoseiulus persimilis</i> con <i>Tetranychus urticae</i> como presa .....	78
3.3.2.	Simulación de la dinámica de los depredadores <i>Neoseiulus californicus</i> y <i>Phytoseiulus persimilis</i> con <i>Tetranychus turkestanii</i> como presa .....	83
<b>4.</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>89</b>
<b>4.1.</b>	<b>Respuesta numérica potencial de <i>Neoseiulus californicus</i> y <i>Phytoseiulus persimilis</i> con <i>Tetranychus urticae</i> como alimento .....</b>	<b>91</b>
<b>4.2.</b>	<b>Dinámica poblacional de <i>Neoseiulus californicus</i> y <i>Phytoseiulus persimilis</i> con las presas <i>Tetranychus urticae</i>, <i>Tetranychus turkestanii</i> y <i>Tetranychus evansi</i> .....</b>	<b>94</b>
4.2.1.	Eficacia de los depredadores .....	94
4.2.2.	Estimación del índice de daños en hojas .....	96
4.2.3.	Distribución vertical y movimiento de los ácaros en la planta .....	98
3.2.4.	Niveles de suelta de depredadores .....	101
<b>4.3.</b>	<b>Modelización de la dinámica poblacional de <i>Neoseiulus californicus</i> y <i>Phytoseiulus persimilis</i> con sus presas <i>Tetranychus urticae</i> y <i>Tetranychus turkestanii</i> .....</b>	<b>104</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>107</b>
5.1.	Conclusiones a la respuesta numérica potencial de <i>Neoseiulus californicus</i> y <i>Phytoseiulus persimilis</i> con <i>Tetranychus urticae</i> como alimento .....	109
5.2.	Conclusiones a la dinámica poblacional de <i>Neoseiulus californicus</i> y <i>Phytoseiulus persimilis</i> con las presas <i>Tetranychus urticae</i> , <i>Tetranychus turkestanii</i> y <i>Tetranychus evansi</i> .....	109
5.3.	Conclusiones a la simulación de la dinámica poblacional de <i>Neoseiulus californicus</i> y <i>Phytoseiulus persimilis</i> con las presas <i>Tetranychus urticae</i> y <i>Tetranychus turkestanii</i> .....	110
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>111</b>

<b>ANEXOS</b> .....	127
<b>A.1. Gráficos para determinar los parámetros numéricos</b> .....	129
A.1.1. Parámetros numéricos de los ensayos con <i>Tetranychus urticae</i> .....	129
A.1.2. Parámetros numéricos de los ensayos con <i>Tetranychus turkestanii</i> .....	134
<b>A.2. Algoritmo de selección</b> .....	139
A.2.1. Ensayo <i>Tetranychus urticae</i> en presencia de <i>Neoseiulus californicus</i> .....	139
A.2.2. Ensayo <i>Tetranychus urticae</i> en presencia de <i>Phytoseiulus persimilis</i> .....	141
A.2.3. Ensayo <i>Tetranychus turkestanii</i> en presencia de <i>Neoseiulus californicus</i> .....	143
A.2.4. Ensayo <i>Tetranychus turkestanii</i> en presencia de <i>Phytoseiulus persimilis</i> .....	146

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. Macho y hembras adultas de <i>Tetranychus urticae</i> .....	6
1.2. Hembra adulta de <i>Tetranychus evansi</i> .....	8
1.3. Hembra adulta de <i>Tetranychus turkestanii</i> .....	9
1.4. Hembra adulta de <i>Phytoseiulus persimilis</i> .....	15
1.5. Hembra adulta de <i>Neoseiulus californicus</i> .....	15
2.1. Crías de <i>Tetranychus urticae</i> y <i>Tetranychus turkestanii</i> sobre plantas de judía y de <i>Tetranychus evansi</i> en plantas patata .....	24
2.2. Unidad de cría de fitoseidos .....	25
2.3. Cámara de Mungger modificada .....	26
2.4. Liberación de las arañas rojas y de los fitoseidos en plantas de judía y patata ...	28
3.1. Supervivencia y Tasa de fecundidad de <i>Neoseiulus californicus</i> (N=35) y <i>Phytoseiulus persimilis</i> (N=50) alimentados con <i>Tetranychus urticae</i> en condiciones de laboratorio .....	42
3.2. Variación en el número de <i>Tetranychus urticae</i> y <i>Neoseiulus californicus</i> en plantas de judía en las relaciones depredador-presa 0:25 (testigo), 1:12, 1:8 y 1:4 .....	45
3.3. Evolución poblacional de <i>Neoseiulus californicus</i> en plantas de judía infestadas con <i>Tetranychus urticae</i> en las relaciones depredador-presa 1:12, 1:8 y 1:4 .....	47
3.4. Variación en el número de <i>Tetranychus urticae</i> y <i>Phytoseiulus persimilis</i> en plantas de judía en las relaciones depredador-presa 0:25 (testigo), 1:12, 1:8 y 1:4 .....	48
3.5. Evolución poblacional de <i>Phytoseiulus persimilis</i> en plantas de judía infestadas con <i>Tetranychus urticae</i> , donde se aplicó una relación depredador-presa de 0:25 (testigo), 1:12, 1:8 y 1:4 .....	50
3.6. Índice de daños de <i>Tetranychus urticae</i> en presencia y ausencia de <i>Neoseiulus californicus</i> y <i>P. persimilis</i> en plantas de judía donde se aplicó una relación depredador-presa de 0:25 (testigo), 1:12, 1:8 y 1:4 .....	51
3.7. Variación en el número de <i>Tetranychus turkestanii</i> y <i>Neoseiulus californicus</i> en plantas de judía en las relaciones depredador-presa 0:25 (testigo), 1:16, 1:8 y 1:4 .....	54
3.8. Evolución poblacional de <i>Neoseiulus californicus</i> en plantas de judía infestadas con <i>Tetranychus turkestanii</i> en las relaciones depredador-presa 1:16, 1:8 y 1:4 ..	55
3.9. Variación en el número de <i>Tetranychus turkestanii</i> y <i>Phytoseiulus persimilis</i> en plantas de judía en las relaciones depredador-presa 0:25 (testigo), 1:16, 1:8 y 1:4 .....	56
3.10. Evolución poblacional de <i>Phytoseiulus persimilis</i> en plantas de judía infestadas con <i>Tetranychus turkestanii</i> en las relaciones depredador-presa 1:16, 1:8 y 1:4 ..	58
3.11. Índice de daños de <i>Tetranychus turkestanii</i> en presencia y ausencia de <i>Neoseiulus californicus</i> y <i>Phytoseiulus persimilis</i> en plantas de judía en las relaciones depredador-presa 0:25 (testigo), 1:16, 1:8 y 1:4 .....	59
3.12. Variación en el número de <i>Tetranychus evansi</i> y <i>Neoseiulus californicus</i> en plantas de patata en las relaciones depredador-presa 0:25 (testigo), 1:16, 1:8 y 1:4 .....	62
3.13. Evolución poblacional de <i>Neoseiulus californicus</i> en plantas de patata infestadas con <i>Tetranychus evansi</i> en las relaciones depredador-presa 1:16, 1:8 y 1:4 .....	63

3.14.	Variación en el número de <i>Tetranychus evansi</i> y <i>Phytoseiulus persimilis</i> en plantas de patata en las relaciones depredador-presa 0:25 (testigo), 1:16, 1:8 y 1:4 .....	64
3.15.	Evolución poblacional de <i>Phytoseiulus persimilis</i> en plantas de patata infestadas con <i>Tetranychus evansi</i> en las relaciones depredador-presa 1:16, 1:8 y 1:4 .....	65
3.16.	Índice de daños producidos por <i>Tetranychus evansi</i> en presencia y ausencia de <i>Neoseiulus californicus</i> y <i>Phytoseiulus persimilis</i> en plantas de patata en las relaciones depredador-presa 0:25 (testigo), 1:16, 1:8 y 1:4 .....	66
3.17.	Distribución vertical de los fitoseidos y de las arañas rojas en las plantas del testigo y en las plantas con depredadores .....	68
3.18.	Desplazamiento temporal de los fitoseidos y de las arañas rojas en las plantas del testigo y en las plantas con depredadores .....	70
3.19.	Distribución de <i>Tetranychus urticae</i> y los fitoseidos en las hojas superiores (Hi) e inferiores (Hs) de la planta según la densidad de ácaros en las hojas .....	73
3.20.	Distribución de <i>Tetranychus turkestanii</i> y los fitoseidos en las hojas superiores (Hs) e inferiores (Hi) de la planta según la densidad de ácaros en las hojas .....	73
3.21.	Distribución de <i>Tetranychus evansi</i> y los fitoseidos en las hojas superiores (Hs) e inferiores (Hi) de la planta según la densidad de ácaros en las hojas .....	74
3.22.	Evolución temporal de la relación depredador-presa en cada fecha de muestreo y su comparación con la dosis inicial de suelta de <i>Neoseiulus californicus</i> y <i>Phytoseiulus persimilis</i> alimentados con <i>Tetranychus urticae</i> .....	76
3.23.	Evolución temporal de la relación depredador-presa en cada fecha de muestreo y su comparación con la dosis inicial de suelta de <i>N. californicus</i> y <i>P. persimilis</i> alimentados con <i>Tetranychus turkestanii</i> .....	77
3.24.	Tiempo de extinción de <i>Tetranychus urticae</i> con <i>Neoseiulus californicus</i> .....	79
3.25.	Población máxima de <i>Tetranychus urticae</i> para una Y0 de <i>Neoseiulus californicus</i> alcanzada en un tiempo finito .....	80
3.26.	Dinámica poblacional <i>Tetranychus urticae</i> para varios Y0 de <i>Neoseiulus californicus</i> .....	80
3.27.	Índice de daño de <i>T. urticae</i> cuando la población es máxima para varios Y0 de <i>Neoseiulus californicus</i> .....	81
3.28.	Tiempo de extinción de <i>Tetranychus urticae</i> con <i>Phytoseiulus persimilis</i> .....	81
3.29.	Población máxima de <i>Tetranychus urticae</i> para una Y0 de <i>Phytoseiulus persimilis</i> alcanzada en un tiempo finito .....	82
3.30.	Dinámica poblacional <i>Tetranychus urticae</i> para varios Y0 de <i>Phytoseiulus persimilis</i> .....	82
3.31.	Índice de daños de <i>Tetranychus urticae</i> cuando la población es máxima para varios Y0 de <i>Phytoseiulus persimilis</i> .....	83
3.32.	Tiempo de extinción de <i>Tetranychus turkestanii</i> con <i>Neoseiulus californicus</i> .....	84
3.33.	Población máxima de <i>Tetranychus turkestanii</i> para una Y0 de <i>Neoseiulus californicus</i> alcanzada en un tiempo finito .....	85
3.34.	Dinámica poblacional <i>Tetranychus turkestanii</i> para varios Y0 de <i>Neoseiulus californicus</i> .....	85
3.35.	Índice de daño de <i>Tetranychus turkestanii</i> cuando la población es máxima para varios Y0 de <i>Neoseiulus californicus</i> .....	86
3.36.	Tiempo de extinción de <i>Tetranychus turkestanii</i> por <i>Phytoseiulus persimilis</i> .....	86
3.37.	Población máxima de <i>Tetranychus turkestanii</i> para una Y0 de <i>Phytoseiulus persimilis</i> alcanzada en un tiempo finito .....	87

3.38.	Dinámica poblacional <i>Tetranychus turkestan</i> para varios Y0 de <i>Phytoseiulus persimilis</i> .....	87
3.39.	Índice de daño de <i>Tetranychus turkestan</i> cuando la población es máxima para varios Y0 de <i>Phytoseiulus persimilis</i> .....	88

## ÍNDICE DE TABLAS

2.1.	Periodo y condiciones ambientales del invernadero en que se realizaron cada uno de los ensayos .....	27
2.2.	Criterios utilizados para evaluar el índice de daño en las hojas .....	28
3.1.	Duración en días <sup>1</sup> del desarrollo de poblaciones autóctonas de <i>Neoseiulus californicus</i> y <i>Phytoseiulus persimilis</i> alimentados con <i>Tetranychus urticae</i> en condiciones de laboratorio .....	39
3.2.	Duración de los períodos reproductivos, fecundidad, longevidad y los parámetros demográficos de hembras adultas de <i>Neoseiulus californicus</i> y <i>Phytoseiulus persimilis</i> en condiciones de laboratorio .....	41
3.3.	Consumo total de huevos de <i>Tetranychus urticae</i> durante cada período de desarrollo de <i>Neoseiulus californicus</i> y <i>Phytoseiulus persimilis</i> en condiciones de laboratorio.....	43
3.4.	Número medio de hembras de <i>Tetranychus urticae</i> y efecto de diferentes relaciones depredador-presa con <i>Neoseiulus californicus</i> a lo largo del ensayo ..	46
3.5.	Número medio de hembras de <i>Neoseiulus californicus</i> en cada una de las relaciones depredador-presa a lo largo del ensayo .....	47
3.6.	Número medio de hembras de <i>Tetranychus urticae</i> y efecto de diferentes relaciones depredador-presa con <i>Phytoseiulus persimilis</i> a lo largo del ensayo ..	49
3.7.	Número medio de hembras de <i>Phytoseiulus persimilis</i> en cada uno de los niveles depredador-presa a lo largo del ensayo con <i>Tetranychus urticae</i> .....	51
3.8.	Valores medios, desviaciones y significaciones en el índice de daños producidos por <i>Tetranychus urticae</i> en plantas de judía con distintos niveles de suelta de <i>Neoseiulus californicus</i> .....	52
3.9.	Valores medios, desviaciones y significaciones en el índice de daños producidos por <i>Tetranychus urticae</i> en plantas de judía con distintos niveles de suelta de <i>Phytoseiulus persimilis</i> .....	53
3.10.	Número medio de hembras de <i>Tetranychus turkestanii</i> y efecto de las diferentes relaciones depredador-presa con <i>Neoseiulus californicus</i> a lo largo del ensayo ..	54
3.11.	Número medio de hembras de <i>Neoseiulus californicus</i> en diferentes relaciones depredador-presa a lo largo del ensayo con <i>Tetranychus turkestanii</i> .....	55
3.12.	Número medio de hembras de <i>Tetranychus turkestanii</i> y efecto de diferentes relaciones depredador-presa con <i>Phytoseiulus persimilis</i> a lo largo del ensayo ...	57
3.13.	Número medio de hembras de <i>Phytoseiulus persimilis</i> y efecto de diferentes relaciones depredador-presa a lo largo del ensayo con <i>Tetranychus turkestanii</i> ...	58
3.14.	Índice de daño de <i>Tetranychus turkestanii</i> y efecto de diferentes relaciones depredador-presa con <i>Neoseiulus californicus</i> a lo largo del ensayo .....	60
3.15.	Índice de daño de <i>Tetranychus turkestanii</i> y efecto de diferentes relaciones depredador-presa con <i>Phytoseiulus persimilis</i> a lo largo del ensayo .....	60
3.16.	Número medio de hembras de <i>Tetranychus evansi</i> y efecto de diferentes relaciones depredador-presa con <i>Neoseiulus californicus</i> a lo largo del ensayo ..	62
3.17.	Número medio de hembras de <i>Tetranychus evansi</i> y efecto de diferentes relaciones depredador-presa con <i>Phytoseiulus persimilis</i> a lo largo del ensayo ..	64
3.18.	Índice de daño de <i>Tetranychus evansi</i> y efecto de diferentes relaciones depredador-presa con <i>Neoseiulus californicus</i> a lo largo del ensayo .....	66
3.19.	Índice de daño de <i>Tetranychus evansi</i> y efecto de diferentes relaciones depredador-presa con <i>Phytoseiulus persimilis</i> a lo largo del ensayo .....	67



## Dinámica del sistema depredador-presa de las arañas rojas y los fitoseidos (Acari: Tetranychidae, Phytoseidae) en cultivos hortícolas

Gómez-Moya, C.A. y Ferragut, F.

### RESUMEN

Las arañas rojas constituyen una de las plagas más importantes en la producción de hortalizas del litoral mediterráneo español, tanto en invernadero como al aire libre. Estos ácaros son controlados por medios químicos, lo cual representa costos significativos en términos económicos y ecológicos. Otra alternativa sería el control biológico usando fitoseidos que son depredadores naturales de los tetránquidos. Sin embargo, se desconocen informaciones básicas sobre la dinámica y la óptima relación depredador-presa necesarias para que el control biológico sea efectivo. Este trabajo evaluó la relación depredador-presa de los fitoseidos nativos *Phytoseiulus persimilis* Athias- Henriot y *Neoseiulus californicus* (McGregor) con las arañas rojas *T. urticae* Koch, *T. turkestanii* Ugarov y Nikolski y *T. evansi* Baker y Pritchard. El estudio incluyó ensayos de laboratorio y de invernadero, realizados en plantas de judía (*Phaseolus vulgaris* L.) y patata (*Solanum tuberosum* L.), al igual que simulaciones de la dinámica poblacional de los fitoseidos depredadores y los ácaros fitófagos.

En el laboratorio se estudió el consumo de presa y los principales parámetros biológicos y demográficos de los dos depredadores cuando se alimentan de *T. urticae*. Los resultados del laboratorio indicaron que la duración del desarrollo, la fecundidad y los parámetros demográficos de poblaciones locales de *N. californicus* y *P. persimilis* eran similares a los de otras regiones geográficas y que cuando estos depredadores consumían *T. urticae* sus parámetros alcanzaban valores óptimos.

En el invernadero se evaluó su eficacia en tres relaciones depredador-presa: 1:12, 1:8 y 1:4 para los ensayos con *T. urticae*, y de 1:16, 1:8 y 1:4 para ensayos con *T. turkestanii* y *T. evansi*. También se determinó el índice de daño y la distribución de los ácaros en las plantas y su comportamiento dispersivo en función del tiempo y de la densidad poblacional. En el invernadero, *P. persimilis* fue capaz de reducir y eliminar a *T. urticae* y a *T. turkestanii* en las tres relaciones depredador-presa ensayadas, mientras que *N. californicus* sólo redujo de forma significativa a *T. urticae* y *T. turkestanii* en relación de depredador-presa 1:4. Sin embargo, ninguno de los dos depredadores fue capaz de controlar a *T. evansi*. A medida que fue aumentando la densidad poblacional, también aumentó el índice de daño, pero los daños en las plantas de judía fueron más severos con *T. turkestanii* que con *T. urticae*. *T. evansi* en las plantas de patata, a las tres semanas, provocó que se alcanzaran los máximos valores del índice de daños. Además en este estudio, se pudo constatar que *T. urticae* y *T. turkestanii*, al igual que *P. persimilis*, tendieron a moverse hacia las hojas superiores con el aumento de la densidad poblacional, mientras que *N. californicus* permaneció en las hojas inferiores.

Además de los ensayos de laboratorio e invernadero, se realizó una simulación de la dinámica poblacional de ambos depredadores con *T. urticae* y *T. turkestanii* mediante un algoritmo de selección. El objetivo de la simulación fue determinar el número de fitoseidos que se debían liberar en función de la capacidad de crecimiento, del tiempo de extinción de la presa, y de los niveles de daño que podría provocar el fitófago en la planta hospedera. El análisis de las simulaciones realizadas permitió validar el modelo matemático utilizado, ya que se observó una coherencia entre las predicciones del modelo y los resultados experimentales obtenidos en los ensayos de invernadero. Si la población inicial del fitófago era de 25 ácaros/planta, se estimó que la dosis mínima de suelta de *N. californicus* era de 12 y 20 especímenes por planta en presencia de *T. urticae* y de *T. turkestanii*, respectivamente; en tanto que la dosis mínima de suelta de *P. persimilis* sería de 6 a 8 ácaros/planta, para controlar a *T. urticae*, la cual tendría que aumentarse a 12 especímenes por planta, si la plaga era la especie *T. turkestanii*.

**Palabras claves:** *Phytoseiulus persimilis*, *Neoseiulus californicus*, *Tetranychus urticae*, *Tetranychus turkestanii*, *Tetranychus evansi*, control biológico, relación depredador-presa, índice de daños, simulación.



## Dinàmica del sistema depredador-presa de les aranyes roges i els fitoseïdos (Acari: Tetranychidae, Phytoseidae) en cultius hortícoles

Gómez-Moya, C.A. i Ferragut, F.

### RESUM

Les aranyes roges constitueixen una de les plagues més importants en la producció d'hortalisses del litoral mediterrani espanyol, tant en hivernacle com a l'aire lliure. Estos àcars són controlats per mitjans químics, la qual cosa representa costos significatius en termes econòmics i ecològics. Una altra alternativa seria el control biològic usant fitoseïds que són depredadors naturals dels tetràniquids. No obstant, es desconeixen informacions bàsiques sobre la dinàmica i l'òptima relació depredador-presa necessàries perquè el control biològic siga efectiu. Este treball va avaluar la relació depredador-presa dels fitoseïdos nadius *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot i *Neoseiulus californicus* (McGregor) amb les aranyes roges *Tetranychus urticae* Koch, *Tetranychus turkestanii* Ugarov i Nikolski i *Tetranychus evansi* Baker i Pritchard. L'estudi va incloure assajos de laboratori i d'hivernacle, realitzats en plantes de fesol (*Phaseolus vulgaris* L.) i creïlla (*Solanum tuberosum* L.), igual que simulacions de la dinàmica poblacional dels fitoseïds depredadors i els àcars fitòfags.

En el laboratori es va estudiar el consum de presa i els principals paràmetres biològics i demogràfics dels dos depredadors quan s'alimenten de *T. urticae*. Els resultats del laboratori van indicar que la duració del desenvolupament, la fecunditat i els paràmetres demogràfics de poblacions locals de *N. californicus* i *P. persimilis* eren semblants als d'altres regions geogràfiques i que quan estos depredadors consumien *T. urticae* els seus paràmetres aconseguïen valors òptims.

En l'hivernacle es va avaluar la seua eficàcia en tres relacions depredador-presa, 1:12, 1:8 i 1:4 per als assajos amb *T. urticae*, i 1:16, 1:8 i 1:4 per a assajos amb *T. turkestanii* i *T. evansi*. També es va determinar l'índex de dany i la distribució dels àcars en les plantes i el seu comportament dispersiu en funció del temps i de la densitat poblacional. En l'hivernacle, *P. persimilis* va ser capaç de reduir i eliminar a *T. urticae* i a *T. turkestanii* en les tres relacions depredador-presa assajades, mentres que *N. californicus* només va reduir de forma significativa a *T. urticae* i *T. turkestanii* en la relació depredador-presa de 1:4. No obstant, cap dels dos depredadors va ser capaç de controlar a *T. evansi*. A mesura que va ser augmentanda la densitat poblacional, també va augmentar l'índex de dany, però els danys en les plantes de fesol van ser més severs amb *T. turkestanii* que amb *T. urticae*. *T. evansi* en les plantes de creïlla, a les tres setmanes, va provocar que s'aconseguien els màxims valors de l'índex de danys. A més, en este estudi es va poder constatar que *T. urticae* i *T. turkestanii*, igual que *P. persimilis*, van tendir a moure's cap a les fulles superiors amb l'augment de la densitat poblacional, mentres que *N. californicus* va romandre en els fulls inferiors.

A més dels assajos de laboratori i hivernacle, es va realitzar una simulació de la dinàmica poblacional d'ambdós depredadors amb *T. urticae* i *T. turkestanii* per mitjà d'un algoritme de selecció. L'objectiu de la simulació va ser determinar el número de fitoseïds que s'havien d'alliberar en funció de la capacitat de creixement, del temps d'extinció de la presa, i dels nivells de dany que podria provocar el fitòfag en la planta hoste. L'anàlisi de les simulacions realitzades va permetre validar el model matemàtic utilitzat, ja que es va observar una coherència entre les prediccions del model i els resultats experimentals obtinguts en els assajos d'hivernacle. Si la població inicial del fitòfag era de 25 àcars per planta, es va estimar que la dosi mínima de solta de *N. californicus* era de 12 i 20 espècimens per planta en presència de *T. urticae* i de *T. turkestanii*, respectivament; en tant que la dosi mínima de solta de *P. persimilis* seria de 6 a 8 àcars per planta, per a controlar a *T. urticae*, la qual hauria d'augmentar-se a 12 espècimens per planta, si la plaga fora l'espècie *T. turkestanii*.

**Paraules claus:** *Phytoseiulus persimilis*, *Neoseiulus californicus*, *Tetranychus urticae*, *Tetranychus turkestanii*, *Tetranychus evansi*, control biològic, relació depredador-presa, índex de danys, simulació.



## Predator-prey dynamics of the spider mites and predatory phytoseiid mites (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae) in horticultural crops

Gómez-Moya, C.A. and Ferragut, F.

### ABSTRACT

The spider mites are one of the most important pests in the production of horticultural crops in the Mediterranean area of Spain, both in greenhouse and open-air production systems. These mites are usually controlled with chemicals, with significant economic and ecological costs. Alternatively, predatory phytoseiid mites could be released to biologically control the tetranychids. However, basic information needed for effective biological control about the dynamic and the optimal predator-prey ratio is lacking. This study evaluated the predator-prey ratio of the native predatory phytoseiid mites *Phytoseiulus persimilis* Athias- Henriot and *Neoseiulus californicus* (McGregor) with the spider mites *Tetranychus urticae* Koch, *Tetranychus turkestani* Ugarov & Nikolski and *Tetranychus evansi* Baker & Pritchard. The study included laboratory and greenhouse trials on plants of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and potato (*Solanum tuberosum* L.), as well as simulations of the population dynamic of the phytoseiid predators and the phytophagous mites.

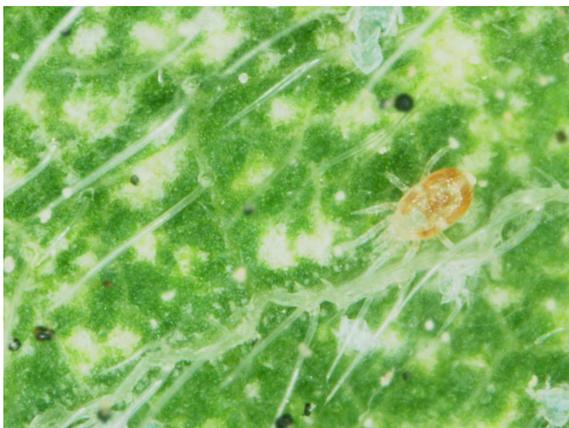
In the laboratory, the feeding behaviour and the main biological and demographic parameters of the predators when feeding on *T. urticae*, were studied. Results indicated that the duration of growth stages, reproductive behaviour, and demographic parameters of the local populations of *N. californicus* and *P. persimilis* were similar to those observed in other geographical regions, and that their parameters reached optimal values when these predators fed on *T. urticae*.

In the greenhouse, the effectiveness of three predator-prey ratios, 1:12, 1:8 and 1:4 for the trials with *T. urticae*, and 1:16, 1:8 and 1:4 for the trials with *T. turkestani* and *T. evansi*, were evaluated. The damage level, distribution of the spider mites on the plants, and their dispersive behaviour as a function of time and population density were also evaluated. In the greenhouse, *P. persimilis* was able to control *T. urticae* and *T. turkestani* with the three predator-prey ratios tested, while *N. californicus* significantly controlled *T. urticae* y *T. turkestani* only when the predator-prey ratio was 1:4. However, none of the two predators was able to control *T. evansi*. As the population density increased, also increased the level of damage, but this level of damage in the bean plants was more severe with *T. turkestani* than with *T. urticae*. *T. evansi* caused the maximum level of damage after three weeks in the potato plants. This study also found that, as in *P. persimilis*, *T. urticae* and *T. turkestani* tended to move towards the upper leaves as the population density increased, while *N. californicus* remained on the lower leaves.

In addition to the laboratory and greenhouse trials, a simulation of the population dynamics of both predators with *T. urticae* and *T. turkestani* was conducted using a selection algorithm. The objective was to determine the optimal number of predators to release as a function of the growth rate, the extinction time of the prey, and the level of damage caused by the phytophagous mites on the host plant. There was a good agreement between the model predictions and the empirical data obtained in the greenhouse trials; thus, trial results validated the mathematical model. If the initial population of the pest was 25 mites per plant, the minimum release dose of *N. californicus* was estimated in 12 and 20 mites per plant to control *T. urticae* and *T. turkestani*, respectively. In of *P. persimilis* the minimum release dose would be from 6 to 8 mites per plant to control *T. urticae*, or 12 mites per plant if the pest was *T. turkestani*.

**Keywords:** *Phytoseiulus persimilis*, *Neoseiulus californicus*, *Tetranychus urticae*, *Tetranychus turkestani*, *Tetranychus evansi*, biological control, predator-prey ratio, damage level, simulation.





## 1. INTRODUCCIÓN



# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Importancia de los ácaros

Los ácaros, clase Arachnida -subclase Acari, son habitantes activos de vida libre o parásita, en ecosistemas acuáticos o terrestres, donde crean fuertes interacciones. Indicadores de disturbios en los diversos sistemas y componentes importantes de la biodiversidad, afectan directamente a los humanos, animales y plantas (Walter y Proctor, 2004). De los seis mayores grupos de plagas foliares en invernadero (ácaros, larvas de lepidópteros, minadores, moscas blancas, áfidos y trips), los ácaros ocupan una posición única ya que atacan muchas especies de plantas, tienen varias generaciones, su densidad poblacional se incrementa muy rápido, generalmente pueden vivir en diversas condiciones climáticas y pueden adquirir resistencia a acaricidas.

A pesar de que muchas especies de ácaros viven sobre distintas plantas hospederas, sólo unas pocas son económicamente importantes. Especies de las familias Tenuipalpidae, Tarsonemidae, Acaridae, y Eriophyidae son de suma importancia en algunos cultivos y bajo condiciones especiales, pero siempre en menor categoría comparadas con las especies fitófagas del género *Tetranychus* Dufour 1832 -familia Tetranychidae Donnadieu 1875 (Van de Vrie, 1985). La familia Tetranychidae es el grupo de ácaros más estudiado, pues algunas especies son plagas polífagas y pueden devastar muchos cultivos económicamente importantes, en especial plantas herbáceas. De las aproximadamente 1200 especies descritas en 71 géneros (Bolland *et al.*, 1998), sólo unas docenas de especies son plagas mayores que generalmente defolian y eliminan sus plantas hospederas (Jeppson *et al.*, 1975; Helle y Sabelis, 1985ab).

El interés por los tetraníquidos ha crecido considerablemente en los últimos años debido al aumento de su importancia económica, centrándose la mayor parte de los estudios en aspectos de su biología, distribución, ecología y métodos de control. Los daños producidos por estos ácaros en todo tipo de cultivos se han incrementado después de la segunda guerra mundial con el uso

de plaguicidas de amplia gama. Así, de ser considerados plagas secundarias, han pasado a situarse entre las plagas más importantes de la agricultura moderna (Huffaker *et al.*, 1969, Huffaker *et al.*, 1970, McMurtry *et al.*, 1970, Jeppson *et al.*, 1975, Helle y Sabelis, 1985a).

La capacidad de los tetraníquidos para incrementar sus poblaciones está determinada por muchos factores, tales como tasa y duración de la puesta de huevos, tasa de desarrollo, relación de sexos, condición de la planta hospedera y los factores abióticos como temperatura, luz, lluvia, humedad y viento. El ciclo de vida de este grupo de ácaros consiste en los estados de huevo, larva, protoninfa, deutoninfa y adulto, con la excepción de algunas especies de *Schizotetranychus* Trägårdh y *Eotetranychus* Oudemans, los cuales pueden tener un estado ninfal adicional en los machos (Zhang, 2003). Frecuentemente hay un intervalo quiescente entre cada estado activo, durante el cual ocurre la muda. Durante este tiempo el ácaro permanece completamente inmóvil con el primer par de patas extendido y sin alimentarse. La fase inmóvil que tiene lugar entre la larva y la protoninfa se llama protocrisalis, la que ocurre entre protoninfa y deutoninfa, deutocrisalis, y la que precede a la aparición del adulto, teleocrisalis. El desarrollo de huevo a adulto puede tomar una o dos semanas o más, dependiendo de la especie, temperatura, hospedero, humedad y otros factores ambientales. Los machos se desarrollan más rápido que las hembras y cuando pasan al estado adulto muestran un comportamiento territorial, protegiendo las teleocrisalis para aparearse tan pronto emerjan las hembras adultas.

El tipo de reproducción habitual de los ácaros tetraníquidos es la partenogénesis arrenotoca, es decir, que hembras no fecundadas dan lugar a machos haploides, mientras que si son fecundadas producen hembras diploides. El periodo de puesta puede durar de 10 a 40 días, durante el cual la hembra puede poner cerca de 10 huevos por día (Zhang, 2003). La fecundación es directa, introduciendo el macho el esperma en la abertura genital de la hembra mediante una estructura esclerotizada llamada edeago, cuya configuración observada lateralmente se utiliza en la separación de las distintas especies de arañas rojas asociadas a ecosistemas agrícolas (Baker y Pritchard, 1953; Ferragut y Santonja, 1989; Ferragut, 2005).

## 1.2. Las arañas rojas en los cultivos hortícolas españoles

La diversidad productiva de la agricultura española es consecuencia de las variadas condiciones climáticas y edáficas imperantes en las distintas zonas del territorio nacional. Se cultivan desde especies propias del clima templado, hasta especies tropicales, pasando por los cultivos típicos mediterráneos: viñedos, olivares, cítricos, hortalizas, etc. La producción hortofrutícola representa aproximadamente la mitad de la producción agrícola nacional e incluye con una gran variedad de productos tales como hortalizas, cítricos, frutos de hueso y de pepita y otros frutos. Estos ocupan más de 1,6 millones de hectáreas, produciendo más de 24 millones de toneladas. Muchos de estos productos componen partidas cuantitativamente importantes de la exportación (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2003a).

En los últimos años el consumo de plaguicidas en España ha ido en aumento, representando un gasto de más de mil millones de euros en 2003 y un incremento cercano al 50%. Sin embargo, también el desarrollo de la agricultura ecológica ha sido notable, pasando de apenas 4.235ha y 396 explotaciones en 1991 a 725.254ha y 17.028 explotaciones en 2003. Las hortalizas ocupan un 18% de la superficie cultivada de agricultura ecológica. En la Comunidad Valenciana, la actividad agraria esta basada predominantemente en la hortofruticultura, y la producción ecológica ocupa una extensión de 24.581ha. La cual representa apenas el 3,6% de las áreas cultivadas de hortalizas, cítricos y frutales (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2003b, Ministerio de Medio Ambiente, 2004, 2005).

En la producción de hortalizas una de las plagas más importantes, tanto en invernadero como al aire libre, son los ácaros del género *Tetranychus*. Los ácaros de este género son endémicos de todo el litoral mediterráneo, muy conocidos por su presencia sobre los cultivos hortícolas, frutales, cítricos y viñedos. En el litoral mediterráneo español la característica más notable de la acarofauna de los cultivos hortícolas es la presencia de cuatro especies de arañas rojas que desarrollan elevadas poblaciones durante todo el año. Estas especies son *Tetranychus urticae* Koch, *Tetranychus turkestani* Ugarov y Nikolski,

*Tetranychus evansi* Baker y Pritchard y *Tetranychus ludeni* Zacher. *T. urticae* y *T. turkestanii* son las más frecuentes y abundantes y *T. evansi* y *T. ludeni* abundan localmente y están presentes sólo en las regiones cálidas cercanas a la costa. Estas cuatro especies producen importantes daños en judía, melón, sandía, berenjena, tomate, calabacín, pimiento y muchos otros cultivos (Escudero, 1998).

### 1.2.1. *Tetranychus urticae* Koch (1836)

No hay dudas que *Tetranychus urticae* Koch es la especie más polífaga de los tetraníquidos (Fig.1.1). Está considerada como la peor plaga de cultivos hortícolas y ornamentales en invernaderos (Hussey *et al.* 1969, Jeppson *et al.*, 1975). Es hospedera de más de 900 especies vegetales (Navajas, 1998), incluyendo árboles frutales, algodón y fresa (Van de Vrie *et al.*, 1972). En España su presencia es conocida desde los años 50 afectando a los cítricos y a otros cultivos frutales y hortícolas (Alfaro, 1964)

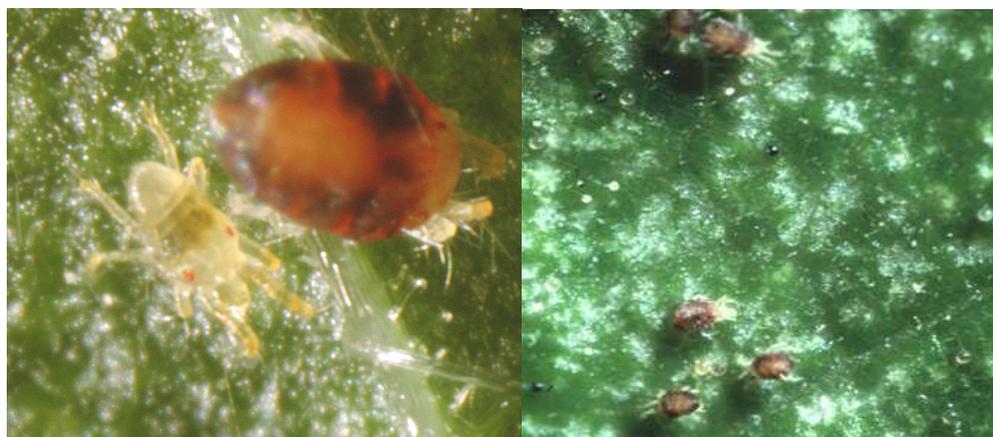


Fig.1.1. Macho y hembras adultas de *Tetranychus urticae* (Archivo Unidad docente de Entomología, Universidad Politécnica de Valencia).

Su desarrollo puede ocurrir entre los 12 y 40 °C. El período de huevo a adulto decrece con el incremento de la temperatura y puede ser menos de una semana en condiciones óptimas de temperatura (30-32 °C). Bajo temperatura de 15 a 28 °C, el tiempo de desarrollo es aproximadamente de 16 días. La tasa de fecundidad puede variar con la alimentación y la temperatura; una hembra puede

poner sobre los 10 huevos por día y 100 huevos durante dos semanas en torno de los 25 °C (Laing, 1969; Saitó, 1979; Carey y Bradley, 1982).

El aspecto externo, incluso a nivel microscópico, es similar al de otras especies próximas, como *T. turkestanii*. Sólo la forma del edeago del macho permite una clara separación entre estas especies. En *T. urticae* el pomo del edeago es pequeño y presenta dos proyecciones agudas; la anterior en ocasiones es redondeada y el margen dorsal es convexo. La hembra presenta estrías verticales en el dorso entre el tercer par de quetas dorsales; es de coloración variable, dependiendo del clima, sustrato y edad. Puede ser amarillenta, verdosa o roja, con manchas oscuras situadas en las zonas laterales del dorso. Los inmaduros son de coloración más clara. Los huevos son esféricos, lisos, y de color ámbar o anaranjado (Ferragut y Santonja, 1989; Ferragut, 2005). La dispersión de *T. urticae* puede ser por una caminata activa, pero generalmente se desplazan por transporte pasivo con el viento, plantas, herramientas o por el hombre.

### **1.2.2. *Tetranychus evansi* Baker y Pritchard (1960)**

La araña roja *Tetranychus evansi* Baker y Pritchard (Fig. 1.2), es una plaga importante de solanáceas cultivadas como el tomate, patata y tabaco en muchas regiones tropicales, subtropicales y mediterráneas de todo el mundo (Moraes *et al.*, 1987; Bolland *et al.*, 1998).

Estudios recientes sugieren que el área de distribución geográfica original de *T. evansi* es la región Neotropical (Knapp *et al.*, 2003) desde donde se ha extendido a otras regiones probablemente debido al comercio de material vegetal entre distintas partes del mundo (Migeon *et al.*, 2004). En los últimos 15 años ha experimentado una rápida expansión por el Mediterráneo occidental, siendo citada en Portugal en 1995 (Ferreira y Carmona, 1995), España en 1999 (Ferragut y Escudero, 1999), Francia en 2005 (Migeon, 2005) e Italia en 2006 (F. Ferragut, comunicación personal). También se ha extendido a Kenia y otros países

africanos, donde ha producido daños muy importantes en tomate (Sarr *et al.*, 2002; Knapp *et al.*, 2003).

*T. evansi* fue localizada por primera vez en España en varias localidades de la provincia de Valencia sobre plantas de patata a finales de 1995 (Ferragut y Escudero, 1999). Desde su introducción en España se ha extendido con rapidez por toda la costa mediterránea y las islas Canarias, produciendo daños importantes en cultivos de tomate, patata y berenjena, tanto al aire libre como en invernaderos.



Fig.1.2. Hembra adulta de *Tetranychus evansi* (Archivo Unidad docente de Entomología, Universidad Politécnica de Valencia).

Por lo general, *T. evansi* pone sus huevos en el envés de las hojas. El periodo de huevo a adulto dura de 13 a 22 días. Las hembras adultas pueden vivir siete días y poner por encima de los 200 huevos. Son de color rojo-anaranjado con manchas a ambos lados del cuerpo. Los machos son más pequeños, de color paja a naranja. El pomo del edeago en esta especie presenta la proyección anterior alargada y curvada, tomando una forma de proa de góndola (Bonato, 1999; Keizer y Zuurbier, 1999; Ferragut y Escudero, 2002; Ferragut, 2005).

### 1.2.3. *Tetranychus turkestanii* Ugarov y Nikolski (1937)

La araña roja *Tetranychus turkestanii* (= *Tetranychus atlanticus* McGregor) Fig. 1.3, es una especie muy extendida y es bien conocida en Europa (Bulgaria, Islas Canarias, Francia, Grecia, Hungría, Polonia, Portugal, España, Suiza, Holanda, Turquía, antigua Yugoslavia), Asia (China, Japón, Irán, Irak, Israel, Kuwait, Pakistán), Norte y Centro América (Costa Rica, México, Estados Unidos), África (Argelia, Marruecos, Sudáfrica) y Nueva Zelanda. Es una especie muy polífaga, conociéndose sobre más de 180 especies de plantas hospederas. Es un problema serio en cultivos de porte bajo como judía, pepino, melón, fresa y algodón. Todos los estados activos causan daños (Bolland *et al.*, 1998; Zang, 2003).



Fig.1.3. Hembra adulta de *Tetranychus turkestanii*. Archivo Unidad Docente de Entomología, Universidad Politécnica de Valencia.

Morfológicamente esta especie es muy similar a *T. urticae*. Los machos de *T. turkestanii* se pueden distinguir porque tienen el pomo del edeago relativamente grande, no menos de un 1/3 de la longitud del margen dorsal de la base y con la proyección anterior redondeada y más desarrollada que la posterior, la cual es aguda. El margen dorsal del pomo presenta una angulación hacia la proyección posterior y su angulación anterior es redondeada (Meyer, 1987; Ferragut y Santonja, 1989; Ferragut, 2005).

Los huevos generalmente son puestos en el envés de las hojas. Son esféricos, transparentes al principio, luego opacos y finalmente, antes de eclosionar, de color marfil. Las larvas inicialmente son transparentes, pero se tornan verdes al alimentarse. Los adultos suelen ser de color amarillo verdoso y tonos pálidos. La biología de *T. turkestanii* en el laboratorio ha sido estudiada por Carey y Bradley (1982), quienes observaron que de 15°C a 29,4 °C el tiempo de desarrollo de este fitoseido fue de 29 a 6 días y la fecundidad de 84,6 a 73,5 huevos por hembra; en tanto que la longevidad de las hembras adultas fue de 12,46 a 8,79 días, respectivamente.

### 1.3. Daños de las arañas rojas y métodos de control

Los tetraníquidos se desarrollan en gran número afectando la producción y la calidad estética de las cosechas, con lo cual provocan importantes pérdidas económicas. Todas las formas móviles de estos ácaros se alimentan principalmente del envés de las hojas (Jeppson *et al.*, 1975), pero también se pueden alimentar en el haz, ramas y frutos. 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).

Para clasificar visualmente el grado de ataque provocado por los tetraníquidos en las plantas, Hussey y Parr (1963a) introdujeron el índice de daño de las hojas (LDI: leaf damage index). El daño en la planta se efectúa de varias formas. En primer lugar se produce un daño mecánico causado por la perforación de los tejidos, seguido por la inyección de saliva. Luego son destruidos o desaparecen los cloroplastos, con lo cual se provocan cambios fisiológicos básicos en la planta. Una respuesta primaria de la planta hospedera al ataque de los ácaros, podría ser el cierre de los estomas, y en ese caso, el intercambio de CO<sub>2</sub> y vapor de agua decrece, resultando una marcada reducción en la transpiración y en la fotosíntesis. Por otra parte, en las hojas ocupadas por ácaros se pueden observar tres categorías de células: células vacías, células con organelas degeneradas y células normales llenas. Los órganos dañados de esa manera no pueden realizar una función normal; además, se puede especular que las células no dañadas experimentan cambios en su funcionamiento debido a la pérdida de contacto con otras células (Hall y Ferree 1975; Sances *et al.*, 1979ab; Tomczyk y Kropczynska, 1982; Youngman *et al.* 1986; Park y Lee, 2002).

Daños mecánicos a la epidermis y a los tejidos del mesófilo esponjoso pueden resultar de la pérdida de agua. Simultáneamente, los cloroplastos son dañados y se observa una pérdida considerable de clorofila. Debido a la pérdida

de agua puede ocurrir estrés hídrico y la pérdida de clorofila puede reducir la intensidad de la fotosíntesis. Plantas en estrés hídrico y con menos fotosíntesis reducen el crecimiento, con lo cual se puede disminuir su productividad (Tomczyk y Kropczynska, 1985; Iatrou *et al.*, 1995; Park y Lee, 2002).

Generalmente, estos ácaros son controlados con acaricidas, siendo habituales las pulverizaciones con productos como la abamectina, acrinatrin, amitraz, bifentrin, dicofol, las mezclas de dicofol + hexythiazox y dicofol + tetradifon, fenbutestan, fenpiroximato, hexythiazox, piridaben, propargita y tebufenpirad, entre otros. Estos productos son recomendados ante la presencia de focos de araña roja sin que hasta el momento exista una selección de los productos en función de la especie causante de los daños (Consellería de Agricultura -Boletines Avisos Agrícolas, 2004, 2005).

#### 1.4. Los fitoseidos en los cultivos hortícolas

Los ácaros pertenecientes a la familia *Phytoseiidae* Berlese (Acari: Mesostigmata), son los depredadores más comunes de los ácaros fitófagos que atacan la mayoría de especies vegetales. Han sido descritas alrededor de 2250 especies de fitoseidos (Moraes *et al.*, 2004) y se conocen más de 70 géneros (Zhang, 2003). Son los depredadores más conocidos y estudiados en el control biológico de ácaros y trips. En la actualidad, cerca de 20 especies son criadas de forma masiva y vendidas aproximadamente por 50 compañías en todo el mundo (Gerson *et al.*, 2003; Zhang, 2003). *Phytoseiulus* Evans, *Neoseiulus* Hughes, *Galendromus* Numa, *Typhlodromus* Scheuten, *Typhlodromalus* Numa, *Amblyseius* Berlese y *Euseius* (Wainstein), son los géneros comercialmente más usados en invernaderos, mientras que entre las especies destacan *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot, *Neoseiulus cucumeris* (Oudemans), *Neoseiulus barkeri* Hughes, *Neoseiulus californicus* (McGregor), *Neoseiulus fallacis* (Garman), *Iphiseius degenerans* Berlese y *Galendromus occidentalis* Nesbitt (Zhang, 2003; Koppert, 2006; Syngenta, 2006).

El ciclo de vida de los fitoseidos pasa por los estados de huevo, larva, protonifa, deutoninfa y adulto. Las larvas de algunas especies no se alimentan. Los fitoseidos se desarrollan más rápido que las arañas rojas. La mayoría de las especies completan su desarrollo en una semana en condiciones ambientales de 27°C y 60-90% de humedad relativa pero algunas especies de *Phytoseiulus* pueden completar su desarrollo de huevo a adulto en cuatro días. El período de puesta es de 20 a 30 días y la fecundidad de 30 a 40 huevos, aunque algunas especies como *P. persimilis*, son altamente fecundas y producen notablemente más. Pueden reproducirse durante todo el año en zonas tropicales, subtropicales, mediterráneas y también en invernaderos con temperaturas controladas (Helle y Sabelis, 1985b; Gerson *et al.* 2003; Zhang, 2003). Viven sobre las plantas y en las capas superiores del suelo. Son muy activos y están en continuo movimiento, alimentándose principalmente de ácaros, pero también de pequeños insectos, nemátodos y hongos; pueden alimentarse de plantas, incluyendo polen y exudados extraflorales (Gerson *et al.*, 2003).

En base a sus hábitos alimenticios y algunos rasgos biológicos y morfológicos, McMurtry y Croft (1997) distinguieron cuatro principales estilos de vida entre los fitoseidos: Tipos I, II (especialistas), III y IV (generalistas). El Tipo I incluye fitoseidos depredadores (*Phytoseiulus*), con largas setas dorsales y que están adaptados a alimentarse de especies de *Tetranychus* que producen espesa seda; raramente atacan otras especies que no sean tetraníquidos. El Tipo II (*G. occidentalis*), son fitoseidos que igual que los anteriores tienen largas setas dorsales, se alimentan de tetraníquidos, así como también de muchos otros pequeños ácaros, polen e incluso de exudado de plantas. Los fitoseidos del Tipo III (*I. degenerans*), son generalistas que se alimentan de otros ácaros como los tarsonémidos, polen y trips, pero no bien de tetraníquidos que producen fuerte seda. Estos presentan pequeñas setas dorsales y laterales. Los del Tipo IV (*Euseius*) son depredadores generalistas de ácaros e insectos, pero especialistas en alimentarse de polen; su movimiento es a menudo dificultado por la seda de los tetraníquidos. Igualmente presentan pequeñas setas dorsales y laterales (McMurtry y Croft, 1997; Gerson *et al.*, 2003; Blackwood *et al.*, 2004; Croft *et al.*, 2004). Esta clasificación es útil para distinguir el rol de cada especie en un sistema de control biológico y puede proporcionar un contexto ecológico para el análisis de pautas en la historia de vida y rasgos morfológicos entre las especies (McMurtry, 1992; Zhang y Sanderson, 1997; Croft *et al.*, 2004).

En los cultivos hortícolas españoles se encuentra una rica y variada fauna de fitoseidos, siendo los más importantes *P. persimilis* y *N. californicus*, Figuras 1.2 y 1.3 (García-Marí *et al.* 1991; Escudero y Ferragut, 1998, 1999; García-Marí y González-Zamora, 1999).

La información sobre la idoneidad de las arañas rojas como alimento en la biología de *N. californicus* y *P. persimilis* es abundante en la literatura científica, pero la mayor parte de estos estudios se han realizado utilizando *T. urticae* (Laing y Huffaker, 1969; Castagnoli y Simoni, 1991), Kanzawa spider mite *Tetranychus kanzawai* Kishida (Hamamura *et al.*, 1976; Ashihara *et al.*, 1978), *Tetranychus pacificus* McGregor (Takafuji y Chant, 1976; Amano y Chant, 1977; Badii y McMurtry, 1984; Takahasi y Chant, 1994), *T. evansi* (Moraes y McMurtry, 1985ab) y *Tetranychus lintearius* (Dufour) como presa (Pratt *et al.*, 2003). Siendo todavía

escasos los datos sobre la influencia de otras especies del género *Tetranychus* como *T. turkestanii*.



Fig.1.4. Hembra adulta de *Phytoseiulus persimilis*. Archivo Unidad Docente de Entomología, Universidad Politécnica de Valencia.



Fig.1.5. Hembra adulta de *Neoseiulus californicus*. Archivo Unidad Docente de Entomología, Universidad Politécnica de Valencia.

#### 1.4.1. *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (1957)

Este fitoseido fue el primero en ser usado para control biológico en Alemania, donde fue introducido accidentalmente desde Chile. Se describió en Argelia en 1957 a partir de especímenes recolectados en plantas de rosas cultivadas en invernadero (Denmark y Schicha, 1983). Actualmente es conocido en muchos lugares con clima mediterráneo; ha sido introducido en diversos países y ahora es usado en todo el mundo para el control de tetraníquidos en cultivos como pepino, pimientos, tomate, berenjena, fresa y flores (Zhang, 2003).

*P. persimilis* es un depredador específico de *Tetranychus* y muestra reducida reproducción y supervivencia cuando se alimenta de otros ácaros fitófagos. Pertenece al estilo de vida Tipo I (McMurtry y Croft, 1997; Zhang y Sanderson, 1997) y puede ser colectado en asociación con especies de *Tetranychus*, *Eutetranychus* y *Panonychus*, y de otros ácaros depredadores como *N. californicus* e *I. degenerans* (Zhang, 2003).

El tiempo de desarrollo es de 5,78 días para machos y 6,13 días para hembras a 23 °C. El tiempo de una generación puede variar de los 13,13 a 17,32 días. Una hembra adulta puede consumir de 10 a 20 huevos de su presa por día y pone como máximo cinco huevos por día, pudiendo alcanzar una fecundidad total de 80 huevos. El período de puesta dura entre 15,50 y 22,94 días y la longevidad de 29,60 a 47,53 días. Los rasgos de esta historia de vida varían con la temperatura y la humedad relativa, la especie de la presa, la abundancia y la planta hospedera (Laing, 1968; Amano y Chant, 1977; 1978ab; Takahashi y Chant, 1994; Drukker *et al.*, 1997).

Los huevos son de color amarillo pálido y oval. Las larvas no se alimentan y son transparentes. Las ninfas son pálidas y luego se tornan anaranjadas después de alimentarse. Los adultos son ovoides inicialmente, pero las hembras se tornan piriformes cuando están preñadas y bien alimentadas; su color es anaranjado o marrón.

*P. persimilis* es un eficaz agente de control biológico de araña roja *T. urticae* en cultivos protegidos de Europa y Norteamérica (Lenteren y Woets, 1988; Lenteren *et al.*, 1992) al aire libre en California y Florida (McMurtry, 1991) y esta disponible comercialmente desde 1968 (Van der Blom, 2002). Sin embargo, existen diferencias en cuanto a la eficacia de poblaciones comerciales de este ácaro depredador en España y en otras regiones mediterráneas. En los cultivos hortícolas al aire, libre su eficacia es muy baja o nula y los resultados son variables cuando los depredadores se liberan en cultivos de invernaderos (datos no publicados).

En invernadero es liberado utilizando el sistema de varias sueltas durante el cultivo, con lo cual se reducen las aplicaciones o se discontinúa completamente el uso de plaguicidas. En el Mediterráneo la poca efectividad de las sueltas comerciales de *P. persimilis* ha sido atribuida a distintas causas. Entre estas causas está el distinto origen geográfico de los depredadores comerciales, mal adaptados a las condiciones climáticas típicas del Mediterráneo, sobre todo a las variaciones bruscas de temperatura y a la baja humedad ambiental (Stenseth, 1979; Ferragut *et al.* 1992, Nihoul, 1992; Baker *et al.*, 1993; Santi y Maccagnani,

2000). Es evidente que existen grandes diferencias climáticas, agronómicas y biogeográficas entre los cultivos mediterráneos y los del norte y centro de Europa. En el Mediterráneo occidental la mayoría de los cultivos se desarrollan al aire libre. Los invernaderos están cubiertos por estructuras plásticas con aberturas para facilitar la ventilación y existen importantes variaciones en la temperatura y humedad diarias, incluso en los meses de invierno, alcanzándose temperaturas de hasta 40°C en marzo. Otra causa es la microsporidiosis que afecta a los depredadores en las crías masivas y que provoca una notable pérdida de su eficacia en la captura de presas y en su fecundidad (Schütte *et al.*, 1995; Van der Geest *et al.* 2000). Por último, la poca efectividad de *P. persimilis* en el mediterráneo probablemente también se debe al efecto del almacenamiento en frío sobre el rendimiento de estos ácaros depredadores (Nicoli y Galazzi, 1998).

Aunque *P. persimilis* es una especie nativa en el Mediterráneo y se encuentra de forma natural en las áreas agrícolas del litoral español, su presencia en los cultivos es escasa, limitada a las áreas cercanas a la costa, las cuales tienen con una elevada humedad ambiental. En estas áreas, las poblaciones de *P. persimilis* son muy inestables, dispersándose con rapidez (Escudero y Ferragut, 1998).

#### **1.4.2. *Neoseiulus californicus* (McGregor, 1954)**

*Neoseiulus californicus* (McGregor) también conocida como *Amblyseius californicus* (McGregor), es una especie que fue descrita originalmente en California, pero también es conocida como una especie nativa de Centroamérica, Sudamérica y del sur de Europa. Ha sido introducida a Europa, Asia y África para su uso en control biológico en fresa, cítricos, manzana, frambuesa, rosas, cultivos hortícolas y ornamentales (García-Marí *et al.* 1991; Greco *et al.*, 1999; Monetti y Fernández, 1995; Blümel y Walzer, 2002; Rondon *et al.*, 2004), comercialmente se ha utilizado desde 1994 (Van der Blom, 2002).

El estilo de vida de *N. californicus* ocupa un lugar especial entre los fitoseidos de Tipo II y III (Gerson *et al.* 2003). Está considerado como un

especialista del Tipo II, porque principalmente se alimenta de *Tetranychus*, otros ácaros y polen (McMurtry y Croft, 1997). Sin embargo, también presenta atributos de un generalista del Tipo III, tales como alta fecundidad al alimentarse de trips, poco movimiento entre las plantas, pequeñas setas dorsales (Croft *et al.*, 1998) y se alimenta y controla bien tarsonémidos como *Polyphagotarsonemus latus* (Zhang, 2003).

El tiempo de desarrollo de huevo a adulto a 25 °C es de 4,3 días (Gotoh *et al.*, 2004) a 5,8 días (Castagnoli y Simoni, 1991), cuando depreda *T. urticae*. Las hembras ponen en promedio dos huevos por día y la fecundidad total puede llegar a 65 huevos (Castagnoli *et al.* 1995), los cuales son translúcidos y ovals. Los adultos de *N. californicus* son amarillos. Las hembras adultas pueden resistir inanición por más de 10 días y reanudar la puesta cuando ingieren alimento (Zhang, 2003).

En los cultivos hortícolas españoles, *N. californicus* es el ácaro depredador predominante, tanto en las plantas cultivadas como en la vegetación espontánea cercana a las parcelas. Por su abundancia, parece ser el candidato más adecuado para el control biológico de las arañas rojas en estas producciones agrícolas (Escudero y Ferragut, 1998, 1999). Otra ventaja que presenta *N. californicus* es su tolerancia a ciertos agroquímicos como fempiroximate, fempropatrim, propargite, azufre y benomil (Sato *et al.* 2002), así como también a hexitiazox, fenbutestan y azadiractina (Tuesta, 2004).

## 1.5. Justificación y objetivos

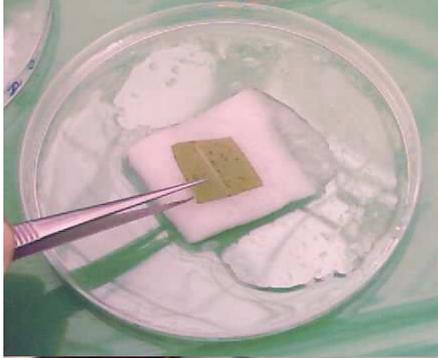
Tradicionalmente, las arañas rojas se han controlado con acaricidas. Sin embargo, la aparición de resistencias de la plaga a acaricidas en algunas zonas y la presencia de residuos de estos plaguicidas en los productos a comercializar, han generado interés por el uso de enemigos naturales en el control de esta plaga. También hay interés en eliminar o reducir el uso de acaricidas en cultivos hortícolas en zonas donde ya se emplea el control biológico para otras plagas de invernadero, como la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius) o el trips *Frankliniella occidentalis* (Pergande). A pesar de esto, y de considerarse a los fitoseidos como depredadores claves en el control de poblaciones de araña roja, la implantación del control biológico todavía es escasa y poco extendida, excepto en algunas zonas de producción intensiva. Además, la eficacia del control biológico ha sido muy variable cuando se emplean fitoseidos producidos por las empresas comerciales. Por tanto, antes de desarrollar una estrategia de control integrado de las arañas rojas es necesario estudiar, en condiciones controladas, la respuesta de poblaciones nativas de los fitoseidos cuando se les ofrecen arañas rojas como alimento.

Los agroecosistemas mediterráneos poseen características particulares y cuentan con la presencia de cuatro especies del género *Tetranychus*. Estas especies tienen una extensa área de distribución y pueden encontrarse juntas en el mismo cultivo. Esto plantea la necesidad de diseñar una estrategia de control basada en las características propias de esta región y en el manejo de las poblaciones nativas de fitoseidos. Dado que existen cuatro especies de arañas rojas que pueden manifestarse como plaga, sería ideal la utilización de un depredador capaz de alimentarse e incrementar sus poblaciones de forma eficaz sobre estas cuatro especies.

Para ello se ha realizado un estudio que tenía como objetivo general conocer el comportamiento depredador a nivel poblacional y la capacidad de poblaciones autóctonas de *N. californicus* y *P. persimilis* en el control de las principales arañas rojas de hortícolas *T. urticae*, *T. turkestanii* y *T. evansi* sobre plantas en condiciones de invernadero. Asimismo, se pretendía estudiar, también,

la eficacia de estos depredadores cuando se alimentan de *T. evansi* en estas condiciones, dado que aún no se conocen enemigos naturales eficaces para esta plaga. Los objetivos específicos han sido los siguientes:

1. Determinar los principales parámetros biológicos y demográficos de especímenes autóctonos de *N. californicus* y *P. persimilis* cuando se alimentan de la araña roja *Tetranychus urticae*, y estudiar algunos aspectos del comportamiento depredador, especialmente la capacidad de consumo de presas.
2. Evaluar la eficacia de *N. californicus* y *P. persimilis* en distintas relaciones depredador-presa para el control de las principales arañas rojas de cultivos hortícolas *T. urticae*, *T. turkestanii* y *T. evansi* en un invernadero experimental.
3. Determinar el índice de daño de distintas relaciones depredador-presa sobre la planta hospedera.
4. Estudiar la distribución de las presas y los depredadores en las plantas y el comportamiento dispersivo de ambos en función del tiempo y de la densidad poblacional.
5. Simular la dinámica poblacional de *N. californicus* y *P. persimilis* con sus presas *T. urticae* y *T. turkestanii*, mediante un algoritmo de selección para determinar el número de fitoseidos que se deben liberar en función de la capacidad de crecimiento y el tiempo de extinción de la presa y de los niveles de daño que podría provocar el fitófago en la planta hospedera.



## 2. MATERIALES Y MÉTODOS



## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Condiciones generales de los ensayos

Este estudio fue conducido en las instalaciones de la Unidad de Entomología Agrícola del Departamento de Ecosistemas Agroforestales de la Universidad Politécnica de Valencia durante entre el período 2001- 2003.

#### 2.1.1. Procedencia y cría de las arañas rojas

En los estudios realizados se ha evaluado la idoneidad de las tres especies de arañas rojas más importantes *T. urticae*, *T. turkestanii* y *T. evansi* como alimento para los fitoseidos *N. californicus* y *P. persimilis*. *T. urticae* se colectó en uno de los invernaderos de la Universidad Politécnica de Valencia sobre plantas de fresón (*Fragaria ananassa* Duchesne). *T. evansi*, fue colectada en plantas de *Solanum nigrum* L., en la avenida Los Naranjos, próximo a la Universidad Politécnica y en un jardín de la calle El Clariano, en la ciudad de Valencia. En tanto que *T. turkestanii* fue encontrado en *Dittrichia viscosa* (L.) W. Greuter (ex. *Inula viscosa*), vegetación espontánea del parque natural de la Devesa del Saler, en la provincia de Valencia.

Los tetraníquidos fueron conservados en el laboratorio en crías bajo condiciones ambientales controladas: 25 °C, 70% de humedad y con fotoperíodo de 16 horas luz y 8 oscuridad.

Las crías de *T. urticae* y *T. turkestanii* fueron mantenidas sobre plantas de judía y las *T. evansi* en plantas de patata; sembradas en dos bandejas plásticas superpuestas de 55 x 40 x 10 cm; en la superior que estaba perforada para facilitar el drenaje, se colocaba el sustrato (una mezcla de 90% de turba y 10% de perlita), y en la inferior se depositaba el agua de riego dos veces por semana. Estas crías se renovaban semanalmente, colocando sobre plantas limpias hojas infestadas con abundante araña roja (Fig. 2.1).



Fig. 2.1. Crías de *Tetranychus urticae* y *Tetranychus turkestani* sobre plantas de judía y de *Tetranychus evansi* en plantas de patata.

### 2.1.2. Procedencia y cría de los fitoseidos

Las poblaciones nativas de *P. persimilis* y *N. californicus* fueron colectadas simultáneamente de una planta de *Brugmansia x candida* Pers. (Solanaceae), en las cercanías de Alboraya, Valencia.

Las crías eran conservadas en bandejas plásticas de 31 x 19 x 6 cm, en las cuales se colocaba una base de algodón saturado de agua y separada de las paredes de la bandeja por 1cm. Sobre el algodón se colocaban hojas de judía con el envés hacia arriba donde se depositaban los fitoseidos y hojas infestadas de su presa, las cuales se les suplía cada dos días como alimento. Para evitar el escape de los fitoseidos y la contaminación de otras crías, sobre todo de las arañas rojas, en la parte superior de la bandeja se colocaba una barrera con pegamento Tangle-Food<sup>®</sup> (Fig. 2.2). Además, la unidad de cría era colocada en una segunda bandeja de mayor tamaño con una cantidad de agua que actuaba como una segunda barrera. Ambas bandejas permanecían tapadas o ligeramente tapadas con un cristal para mantener un nivel de humedad adecuado en las crías. Cada unidad de cría de estas características puede contener unos 200-300 depredadores al mismo tiempo. Las crías de los fitoseidos también fueron conservadas en el laboratorio en condiciones ambientales de cámara a 25 °C, 70% de humedad y un fotoperíodo de 16 horas luz y 8 horas oscuridad. Eran renovadas cada 10-15 días, cuando las hojas que forman la base de la unidad

comienzan a deteriorarse. Para ello, las hojas superiores donde se encuentran la mayor parte de depredadores eran trasladadas a unidades de cría recién montadas.



Fig. 2.2. Unidad de cría de fitoseidos.

### 2.1.3. Parámetros biológicos de los fitoseidos en el laboratorio

Estos ensayos se realizaron a nivel de laboratorio, evaluándose la duración del desarrollo de huevo a adulto o período pre-imaginal, el consumo de presas necesario para que cada especie de fitoseido complete su desarrollo de huevo a adulto, la longevidad, la fecundidad total (número de huevos totales depositados durante el periodo reproductivo de las hembras) y los principales parámetros demográficos (tasa intrínseca de crecimiento  $r_m$ , el tiempo de una generación y la proporción de sexos) que miden la capacidad de la especie para hacer crecer sus poblaciones en unas condiciones dadas.

Para estudiar estos parámetros cada depredador fue aislado individualmente en cámaras de Munger modificadas (Fig. 2.3). Estas cámaras estaban compuestas por una pieza de cristal de 8 cm x 5 cm y sobre ella se colocaba una capa triple de papel filtro mojado para mantener la humedad de la hoja. Sobre el papel se colocaba la hoja de judía con el envés hacia arriba y encima de ésta, una pieza de metacrilato de 1 cm de grosor, del mismo tamaño que la de cristal, pero con una perforación circular en el centro de 3 cm de

diámetro, que se correspondía con la hoja de judía. La unión de esta pieza con la hoja de judía fue sellada con una mezcla de parafina y vaselina para evitar el escape de los ácaros. La perforación era cerrada con una pieza de cristal cuadrada de 4 cm de lado, sujeta a todo el conjunto con dos bandas elásticas (Escudero, 1998).

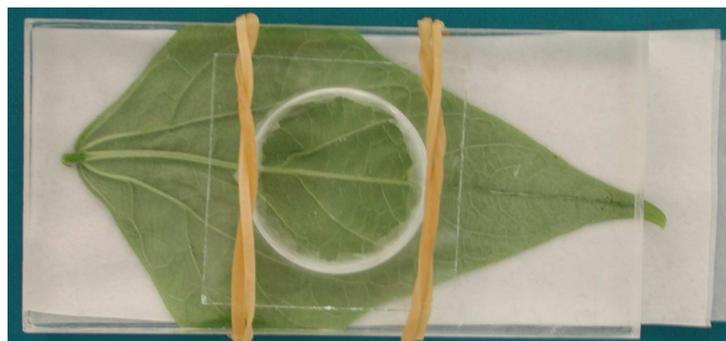


Fig. 2.3. Cámara de Munger modificada.

Al iniciar el ensayo se seleccionaron 50 hembras de cada especie, de las cuales al cabo de 24 horas fueron separados 100 huevos y colocados individualmente dentro de cámaras de Munger que contenían de 10 a 15 huevos de *T. urticae*. Estas cámaras fueron observadas durante el desarrollo de huevo a adulto diariamente, tres veces (a las 8, 15 y 20 horas). La eclosión, muda y la cantidad de huevos de la presa consumidos en cada fase fueron registradas. Cada día eran restablecidos los huevos consumidos. Los exuvios servían como evidencia del cambio de muda y eran eliminados tras ser observados. Luego de alcanzar la madurez, cada hembra virgen fue confinada con un macho, con abundante presa, para registrar su fecundidad y longevidad. Estas observaciones eran realizadas una vez al día hasta la muerte de cada hembra.

#### **2.1.4. Eficacia de los fitoseidos en el control de las arañas rojas en el invernadero**

Estos ensayos se realizaron en invernadero, en cámaras de 12 x 5m. Ambos depredadores se evaluaron simultáneamente con la misma presa, pero en diferentes cámaras. Las plantas fueron sembradas en macetas de 20 cm de

diámetro, utilizando turba mezclada con un 10% de perlita y fueron regadas cada dos días para suplir el requerimiento hídrico, sin adicionar fertilizante. Se registraron las condiciones máxima, mínima y media de humedad y temperatura (Tabla 2.1), con toma de datos cada 30 minutos durante las 24 horas del día, a través de un monitor medioambiental AMBITROL<sub>100</sub>.

Tabla 2.1. Periodo y condiciones ambientales del invernadero en que se realizaron cada uno de los ensayos.

Arañas rojas	<i>Tetranychus urticae</i>		<i>Tetranychus evansi</i>		<i>Tetranychus turkestanii</i>	
Fitoseidos	<i>Pp</i>	<i>Nc</i>	<i>Pp</i>	<i>Nc</i>	<i>Pp</i>	<i>Nc</i>
<b>Período Evaluación</b>	02 / 12/2002 - 20 / 01/2003		14 / 05 - 04 / 06 / 2003		06 / 10 - 04 / 11/ 2003	
<b>T. media °C</b>	17,9 ± 0,3	17,0 ± 0,3	24,1 ± 0,3	24,1 ± 0,3	21,1 ± 0,4	23,0 ± 0,4
<b>T. Máx. °C</b>	34,4	28,5	32,9	32,7	34,2	32,5
<b>T. Mín. °C</b>	7,3	6,7	18,2	18,0	14,6	14,0
<b>Hr. Media %</b>	62,4 ± 0,6	68,2 ± 1,0	61,9 ± 1,1	63,7 ± 1,5	65,6 ± 1,2	69,0 ± 1,5
<b>Hr. Máx. %</b>	80,3	94,9	79,6	88,5	84,9	94,9
<b>Hr. Mín. %</b>	37,6	32,9	41,2	38,3	38,7	35,0

*Pp*: *Phytoseiulus persimilis*

*Nc*: *Neoseiulus californicus*

Los ensayos de *T. urticae* y *T. turkestanii* se realizaron sobre plantas de judía (*Phaseolus vulgaris* L.), variedad "Pinta" y en el de *T. evansi* sobre plantas de patata (*Solanum tuberosum*), variedad "Rosa". Al mes de sembradas todas las plantas fueron inoculadas individualmente con 25 hembras adultas de araña roja (Fig. 2.4).

Hembras adultas de los fitoseidos se soltaron una semana después en número suficiente para conseguir unas relaciones depredador-presa de 1:12, 1:8 y 1:4, para los ensayos con *T. urticae* y 1:16, 1:8 y 1:4, para los ensayos con *T. turkestanii* y *T. evansi* (un depredador por cada 16 presas, uno por cada 12, uno por cada ocho y uno por cada cuatro, respectivamente); manteniendo un tratamiento testigo con araña roja sin suelta de depredadores (0:25) y otro sin infestar (0:0), con diez repeticiones por nivel de tratamiento.



Fig. 2.4. Liberación de las arañas rojas y de los fitoseidos en plantas de judía y patata.

A partir de la suelta de los fitoseidos y hasta el final de cada experimento, las evaluaciones se realizaron semanalmente. Fueron observadas dos hojas, una en la parte inferior de la planta y la otra en la parte superior, marcadas previamente desde la distribución de los fitoseidos hasta que mostraban síntomas de envejecimiento, momento en el que eran cambiadas por nuevas hojas adyacentes.

Los conteos se realizaron con una lupa cuenta hilo de 5x, y se registraba el número de hembras adultas de la presa y del depredador en estudio. En el momento en que se efectuaba el conteo de los ácaros, también fue estimado el índice de daños de cada hoja. Dependiendo de la superficie afectada por la araña roja en la hoja, se daba un valor según los criterios resumidos en la Tabla 2.2. Estos criterios están basados en Hussey y Parr (1963) y Nachman y Zemek (2002a).

Tabla 2.2. Criterios utilizados para evaluar el índice de daño en las hojas (Hussey y Parr, 1963 y Nachman y Zemek, 2002a).

ÍNDICE DE DAÑO EN HOJAS	% DE SUPERFICIE DE HOJA AFECTADA
0	0
1	1-20
2	21-40
3	41-60
4	61-80
5	81-100

## 2.2. Procesamiento y análisis de datos

### 2.2.1. Ensayos de laboratorio

Para medir el potencial biótico de cada especie de fitoseido fueron construidas las correspondientes tablas de vida, calculando la supervivencia y los principales parámetros demográficos, tales como la tasa intrínseca de crecimiento  $r_m$  (parámetro considerado el que mejor revela el potencial biótico de crecimiento poblacional de una especie), el tiempo de una generación y la proporción de sexos. Los valores obtenidos de la supervivencia ( $L_x$ : porcentaje de supervivencia a una edad  $x$ ) y la tasa de fecundidad diaria ( $M_x$ : número de huevos / hembra / día) se utilizaron para calcular la tasa intrínseca de crecimiento  $r_m$  y el tiempo de una generación. La tasa intrínseca de crecimiento  $r_m$  se calculó mediante la ecuación de Lotka-Euler (Lotka, 1924, Birch, 1948):

$$\sum_0^{\infty} e^{-r \cdot x} l_x m_x = 1$$

donde:

$r$  tasa intrínseca de crecimiento ( $r_m$ ),

$x$  edad de la hembra,

$l_x$  proporción de hembras supervivientes en la edad  $x$ ,

$m_x$  número de hembras producidas por hembra viva en la edad  $x$ .

### 2.2.2. Ensayos en el invernadero

Los datos de las poblaciones de presa y depredador, así como también del índice de daños, registrados cada siete días, fueron transformados en valores de  $(\ln + 1)$  para su posterior análisis estadístico mediante ANOVA. Las correspondientes medias fueron comparadas a través de la prueba de Fisher (Least Significant Difference –LSD) al nivel del 5%. Para estos análisis se utilizó el programa informático *Statgraphics Plus 5* (Pérez - López, 2002).

### **2.2.3. Simulación de la dinámica poblacional de arañas rojas y fitoseidos en plantas de ciclo corto en invernadero**

Se pretende presentar un algoritmo que sea útil para simular, definir y analizar el número de fitoseidos que se deben liberar en un cultivo de ciclo corto para controlar una población de arañas rojas, suponiendo que los fitoseidos se alimentan exclusivamente de la población de arañas rojas y que se conoce una función del daño causado por estos fitófagos en las plantas, como función de su abundancia poblacional.

Para ello fue utilizado un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias para describir la dinámica poblacional de las arañas rojas y los fitoseidos, y que fue útil para estimar la relación entre el número de arañas rojas y el número de fitoseidos necesarios para reducir a un nivel aceptable el daño producido por estos fitófagos en la planta. Con este modelo también se pudo estimar la población mínima de los fitoseidos necesaria para eliminar la población de las arañas rojas. Para plantear el algoritmo que definiera y analizara el nivel de suelta de cada especie de fitoseido según la densidad de la araña roja, fue utilizado el modelo depredador-presa propuesto por Diekmann *et al.* (1988). Este modelo asume que:

1. la población de la presa crece exponencialmente en ausencia de depredadores,
2. la población de depredadores crece exponencialmente y no existe depredación intragremial,
3. las poblaciones no están estructuradas por la edad,
4. la tasa de depredación es constante,
5. mientras la presa no es eliminada, la dispersión de los depredadores es estadísticamente no significativa,
6. las colonias de presas y depredadores son fundadas inicialmente por un número conocido de individuos,
7. las condiciones climáticas son constantes, y
8. la planta hospedera es no perenne.

### 2.2.3.1. Modelo matemático de la relación entre las poblaciones de presas y depredadores

Para estructurar el modelo se supone que en un tiempo  $t_0$  un determinado cultivo agrícola no perenne en un invernadero está infestado por una población de ácaros fitófagos al nivel  $X(t_0) = X_0$  y que fue liberada una población de ácaros fitoseidos  $Y(t_0) = Y_0$  para que ésta, en un tiempo  $t$ , reduzca la población de fitófagos a un nivel de daño aceptable  $X(t) = X_d$  en la planta.

La dinámica poblacional de la interacción entre la población de ácaros fitófagos y la población de fitoseidos puede ser descrita por el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias:

$$\frac{dX}{dt} = \alpha X - \beta XY \quad (1)$$

$$\frac{dY}{dt} = \gamma Y - \beta XY \quad (2)$$

$$\frac{dZ}{dt} = \beta XY \quad (3)$$

Con las condiciones iniciales  $X(t_0) = X_0$ ,  $Y(t_0) = Y_0$  e  $Z(t_0) = 0$ , donde:

$X(t)$  (ácaro presa planta<sup>-1</sup>) es la población de fitófagos, en este estudio son las arañas rojas *T. urticae* y *T. turkestanii*,

$Y(t)$  (ácaro depredador planta<sup>-1</sup>) es la población de los fitoseidos *N. californicus* y *P. persimilis*,

$Z(t)$  es el número de presa (fitófagos) consumidos por la población de depredador (fitoseidos),

y  $t$  es el número de presa (fitófagos consumidos en el tiempo  $t$ ).

El coeficiente  $\alpha$  ( $\text{día}^{-1}$ ) es la tasa aparente de crecimiento de la población de la presa,  $\beta$  (ácaros fitófagos por ácaros fitoseidos por día) es la tasa aparente de consumo de la población de presa por los depredadores y  $\gamma$  ( $\text{día}^{-1}$ ) es la tasa aparente de crecimiento de la población de depredadores. La dinámica poblacional descrita por las ecuaciones (1), (2) y (3) supone:

- a) que el crecimiento de la población de la presa es exponencial en ausencia del depredador;
- b) que el crecimiento de la población del depredador es exponencial durante la fase de abundancia de la presa,
- c) que el crecimiento del número de presa consumida por la población del depredador es descrita por una ecuación exponencial, y
- d) que el intervalo de tiempo en la modelización está restringido al intervalo de tiempo entre la introducción de los depredadores y la madurez de la planta.

Las soluciones de las ecuaciones (1), (2) e (3) son dadas por:

$$y(t) = \left( \frac{\beta + \gamma - \alpha}{\psi - \alpha} \right) \alpha - \frac{\beta}{\psi - \alpha} \gamma \quad (4)$$

$$y(t) = \gamma \quad (5)$$

$$\frac{dy}{dt} = \dots \quad (6)$$

Utilizando la ecuación (4) se puede estimar el tiempo de extinción de la población de la presa consumida por la población del depredador, haciendo  $y(t_e) = 0$ , donde  $t_e$  (día) es el tiempo de extinción. De esta manera, el tiempo de extinción puede ser estimado por:

$$t_e = \frac{1}{\psi - \alpha} \left( \frac{\beta + \gamma - \alpha}{\psi - \alpha} \right) \quad (7)$$

El valor de  $t_e$  puede ser usado como un indicativo para verificar si en un tiempo finito una liberación de  $N$  individuos del depredador será suficiente para controlar la población de la presa en un cultivo mantenido en invernadero.

En lo que se refiere al daño económico, el conocimiento del tiempo de extinción de los fitófagos por los fitoseidos no es una información suficiente para caracterizar el número de fitoseidos que reduzca los fitófagos para una población de daño aceptable. Por lo tanto es necesario conocer el daño que el número máximo de individuos de la población de fitófagos ocasionará a la planta antes de que estos sean extinguidos por los fitoseidos.

Suponiendo que el daño en un cultivo provocado por una población de fitófagos es descrito por la función  $d = f(x)$ , donde  $d$  es el daño de la planta causado por el número de individuos de la población de fitófagos en el nivel  $x$ . En general, la función es descrita por una función logística del tipo  $f(x) = \frac{d}{1 + e^{-a(x-b)}}$  o por una ecuación exponencial del tipo  $f(x) = d(1 - e^{-ax})$ ; donde los parámetros  $a$ ,  $b$  y  $c$  son obtenidos por ajuste numérico de los datos de daños a la función de daño.

Cuando el tiempo de extinción  $t_e$  de una población de fitófagos sometida a una población de fitoseidos es finito es posible estimar el tiempo en el cual la población de fitófagos alcanzará la población máxima utilizando la expresión siguiente:

$$t_{\max} = \frac{(\alpha \beta + \gamma - \alpha) \ln \left( \frac{\beta \gamma}{\gamma - \alpha} \right)}{\gamma - \alpha} \quad (8)$$

Donde  $t_{\max}$  (día) es el tiempo en el cual la población de fitófagos, sujeta a una población de fitoseidos, es máxima. La población máxima de fitófagos es calculada utilizando la ecuación (4) en el tiempo dado por la ecuación (8) haciendo  $x = x_{\max}$ ; donde  $x_{\max}$  es la población máxima de fitófagos en el tiempo  $t_{\max}$ . El daño en la planta provocado por la población de fitófagos en la

población máxima puede ser estimado por  $N = \frac{d_E}{\alpha}$ , donde  $d_E$  es el daño provocado por la población de fitófagos en la planta con la población máxima. El control biológico de la población de fitófagos por la población de fitoseidos tendrá éxito cuando  $N \leq d_A$ , donde  $d_A$  es el nivel de daño aceptable en la planta.

### 2.2.3.2. Algoritmo de selección

Este estudio está basado en los datos extraídos de los ensayos sobre la eficacia de *N. californicus* y *P. persimilis* para controlar a *T. urticae* y *T. turkestanii*, pues para estimar los valores de  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  es necesario realizar experimentos en un cultivo de invernadero con plantas, ácaros fitófagos y ácaros fitoseidos. Siendo  $N_0$  y  $N_1$  el número de individuos de la población testigo y el número de individuos de la población de fitófagos sujeta a la población de fitoseidos en el nivel inicial, respectivamente.

Para buscar un algoritmo que defina y analice el número de fitoseidos que se debe liberar en un cultivo agrícola en condiciones de invernadero, infestado por una población de fitófagos, se da por supuesto que:

1. los fitoseidos son depredadores de la población de fitófagos, y
2. se conoce una función de daño que describe el daño causado por la población de fitófagos.

Por lo tanto, es necesario utilizar un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias que describa la dinámica poblacional de los fitófagos y de los fitoseidos, la cual es útil para estimar la relación entre el número de fitófagos y el número de fitoseidos, para reducir a un nivel aceptable el daño provocado por los fitófagos en plantas cultivadas en invernadero.

A continuación se presenta un conjunto de procedimientos denominado de algoritmo de selección, que fue utilizado para la determinación del número

mínimo de fitoseidos necesario para controlar la población de fitófagos con un nivel de daño aceptable en la planta:

Paso 1. Con los datos observados del número de individuos de la población de fitófagos obtenidos en el testigo se determina el valor de la tasa de crecimiento de la población del fitófago ( $\alpha$ ) por ajuste numérico de los datos a una ecuación del tipo  $(N) = e^{\alpha t}$ , donde  $N$  y  $\alpha$  son parámetros determinados por ajuste numérico usando datos experimentales.

Paso 2. Con los datos observados de la población del fitófago,  $x_i = x(t_i, y_0)$ , sujeta a una población del fitoseido en el nivel  $y_0$  se estima el valor de la tasa de consumo ( $\beta$ ) por ajuste numérico de los datos  $(x) = (x_0) - (x_0) e^{-\beta t}$  a una ecuación del tipo  $(x) = \beta$ , donde  $(x)$  es la población del fitófago consumida por la población del fitoseido, donde  $x$  y  $\beta$  son parámetros determinados por ajuste numérico usando datos experimentales.

Paso 3. Con los datos de crecimiento de la población del fitoseido se determina el valor de su tasa de crecimiento ( $\gamma$ ) por ajuste numérico de los datos  $(y) = (y_0) e^{\gamma t}$  a una ecuación de tipo  $(y) = \gamma$ , donde  $y$  y  $\gamma$  son parámetros determinados por ajuste numérico usando datos experimentales.

Para obtener los parámetros de los pasos 1, 2 y 3 fue utilizado el programa informático para ajuste numérico de curvas CurveExpert 1.3 (Hyams, 2005).

Paso 4. Con los valores de  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  determinados numéricamente en los pasos 1, 2 y 3, con los valores conocidos de  $x_0$  y  $y_0$  y utilizando la ecuación (7) se determina el valor del tiempo de extinción  $t_E$ .

En esta etapa se varía el valor de  $\alpha$ , entre 1 y  $\infty$ , y se determina el número mínimo de individuos del fitoseido,  $N_{min}$ , necesario para extinguir la población del fitófago en un tiempo finito. Siendo  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ , un conjunto de valores de individuos del fitoseido que extinguen una población del ácaro fitófago en un tiempo finito.

Paso 5. Para cada  $\alpha$  del Paso 4 y utilizándose la ecuación (8) se determina el tiempo donde la población del ácaro fitófago fue máxima y la población es máxima en el tiempo  $t_{max}(\alpha)$ .

Paso 6. Con el valor máximo de la población del fitófago determinado en el paso 5 y con la función de daño se determina el daño provocado por la población del fitófago en el nivel máximo, pero sujeta a una población del fitoseido en el nivel  $N_{min}$ .

Paso 7. Se compara el daño aceptable con el daño determinado en el paso 6 y se selecciona el número de individuos del fitoseido que se desea liberar en el cultivo con el menor daño aceptable.

Para realizar los pasos 4, 5, y 6 fue utilizado el programa informático MATLAB 5.3 (Math Works Inc., 1998).



### 3. RESULTADOS



### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Respuesta numérica potencial de *Neoseiulus californicus* y *Phytoseiulus persimilis* con *Tetranychus urticae* como alimento

A continuación se presentan los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio, referentes al tiempo de desarrollo, consumo de presa, longevidad, fecundidad y parámetros demográficos de los fitoseidos *N. californicus* y *P. persimilis*, alimentados con *T. urticae*.

##### 3.1.1. Duración del desarrollo de los depredadores

La duración de cada estado inmaduro y el tiempo total de desarrollo de huevo a adulto, de *N. californicus* y *P. persimilis* alimentados con *T. urticae* son mostrados en la Tabla 3.1. Las poblaciones estudiadas mostraron una óptima capacidad para desarrollarse con la presa suministrada. El desarrollo de *P. persimilis* fue más rápido en todas las fases inmaduras, tanto en las hembras como en los machos.

Tabla 3.1. Duración en días del desarrollo de poblaciones autóctonas de *Neoseiulus californicus* y *Phytoseiulus persimilis* alimentados con *Tetranychus urticae* en condiciones de laboratorio.

	<i>N. californicus</i>		<i>P. persimilis</i>	
	Hembra	Macho	Hembra	Macho
<b>N<sup>1</sup></b>	35	23	50	11
<b>Huevo<sup>2</sup></b>	2,83±0,43	3,03±0,36	2,11±0,45	2,34±0,56
<b>Larva<sup>2</sup></b>	0,76±0,19	0,72±0,22	0,66±0,24	0,59±0,29
<b>Protoninfa<sup>2</sup></b>	1,19±0,29	1,05±0,29	1,05±0,21	1,00±0,35
<b>Deutoninfa<sup>2</sup></b>	1,38±0,46	1,37±0,36	1,29±0,29	1,09±0,19
<b>Huevo/adulto<sup>2</sup></b>	6,16±0,57	6,17±0,72	5,10±0,50	5,02±0,47

<sup>1</sup> N°. de individuos.

<sup>2</sup> Medias ± desviación estándar en día.

La fase de mayor duración en el desarrollo de ambos depredadores fue la de huevo, con una media de 2,83±0,43 días en las hembras de *N. californicus* y 2,11±0,45 días en las de *P. persimilis*; mientras que el estadio más breve fue el de larva, con una duración de 0,76±0,19 días en las hembras de *N. californicus* y 0,66±0,24 días en las de *P. persimilis*. Para alcanzar su desarrollo completo de huevo a adulto la hembra de *N. californicus* requirió 6,16±0,57 días y la de *P. persimilis* 5,10±0,50 días. En tanto, los machos registraron un tiempo de

desarrollo similar al de las hembras en cada especie, de  $6,17\pm 0,72$  y  $5,02\pm 0,47$  días, respectivamente.

### **3.1.2. Longevidad, fecundidad y parámetros demográficos de los depredadores**

La duración de los períodos de prepuesta, puesta y postpuesta de las hembras de los dos depredadores, así como los valores de fecundidad y capacidad de crecimiento de sus poblaciones bajo las condiciones estudiadas, son presentados en la Tabla 3.2.

Los períodos de pre-puesta, puesta y post-puesta de huevos componen la longevidad total del adulto, siendo de  $32,31\pm 20,42$  días en *N. californicus* y de  $35,48\pm 16,27$  días para *P. persimilis*. Cuando a estos valores se suma la duración del desarrollo hasta la fase adulta se obtiene la longevidad total, que como media fue de  $38,47\pm 17,31$  días para *N. californicus* y  $40,58\pm 12,20$  días para *P. persimilis*. En *N. californicus*, el período de pre-puesta (tiempo que transcurre entre la madurez sexual y la puesta del primer huevo) fue de  $2,27\pm 0,10$  días, el cual fue ligeramente superior al de *P. persimilis*. El período de puesta de las hembras de *N. californicus* duró en promedio 16,40 días, mientras que las de *P. persimilis* pusieron huevos durante 19,3 días. Durante este periodo *N. californicus* puso una media de 42,6 huevos por hembra, a un ritmo de 2,65 huevos diarios. En el caso de *P. persimilis* la fecundidad media por hembra fue de 56 huevos, con una tasa de fecundidad media de 2,97 huevos por hembra y día.

El tiempo medio de una generación, considerado como el tiempo que transcurre entre la puesta de un huevo y el momento en que la hembra que sale de ese huevo pone, a su vez, su primer huevo, fue mayor en *N. californicus*, con unos 8,4 días de media, mientras que este parámetro fue más corto en *P. persimilis*, con una media de 6,5 días.

Tabla 3.2. Duración de los períodos reproductivos, fecundidad, longevidad y los parámetros demográficos de hembras adultas de *Neoseiulus californicus* y *Phytoseiulus persimilis* en condiciones de laboratorio.

	<i>N. californicus</i>	<i>P. persimilis</i>
<b>N<sup>1</sup></b>	35	50
<b>Pre-puesta<sup>2</sup></b>	2,27±0,10 <sup>7</sup>	1,39±0,64
<b>Puesta<sup>2</sup></b>	16,38±3,38	19,32±3,00
<b>Post-puesta<sup>2</sup></b>	13,63±16,42	14,88±12,63
<b>Longevidad total<sup>2</sup></b>	38,47±17,31	40,58±12,20
<b>Fecundidad total<sup>3</sup></b>	42,57±9,72	56,04±12,80
<b>Tasa de fecundidad<sup>4</sup></b>	2,65±0,39	2,97±0,33
<b>Tiempo de generación<sup>2</sup></b>	8,43	6,49
<b>Tasa intrínseca de crecimiento-r<sub>m</sub><sup>5</sup></b>	0,248	0,326
<b>Proporción de sexos<sup>6</sup></b>	2,5 : 1	3,8 : 1

<sup>1</sup>Nº. de individuos                      <sup>4</sup>Huevos/hembra/día                      <sup>6</sup>No. de hembras:machos  
<sup>2</sup>Días    <sup>5</sup>Días<sup>-1</sup>    <sup>7</sup>Medias ± desviación estándar  
<sup>3</sup>Huevos/hembra

Otro parámetro importante para evaluar la capacidad de crecimiento de las poblaciones en unas condiciones dadas es la proporción o relación de sexos, la cual en la descendencia de *N. californicus* resultó ser de 2,5 hembras/macho, mientras que con *P. persimilis* fue de 3,8 hembras/macho.

El más importante de los parámetros demográficos, la tasa intrínseca de crecimiento-r<sub>m</sub>, cuyo valor mide la capacidad de crecimiento de las poblaciones en unas condiciones dadas, alcanzó valores diferentes para las dos especies, siendo de 0,248 días<sup>-1</sup> para *N. californicus* y ligeramente mayor, 0,326 días<sup>-1</sup> para *P. persimilis*.

La evolución de la supervivencia y la tasa de fecundidad de los depredadores a lo largo de los ensayos se han representado en la Figura 3.1. *Neoseiulus californicus* presentó una supervivencia pre-imaginal media de un 86% y *P. persimilis* de un 91%, declinando este porcentaje de forma progresiva hasta el final de la vida de todas las hembras. Esta disminución se produjo a partir de los 15 días de edad en *N. californicus* y a los 25 días en *P. persimilis*. La tasa de fecundidad aumentó rápidamente desde el principio del período

reproductivo hasta alcanzar unos niveles máximos durante unos días y para luego disminuir progresivamente hasta el final del período reproductivo. *N. californicus* y *P. persimilis* alcanzaron su tasa máxima de fecundidad a los 3 y 9 días de iniciada la puesta, con 2 y 4 huevos/hembra/día, respectivamente.

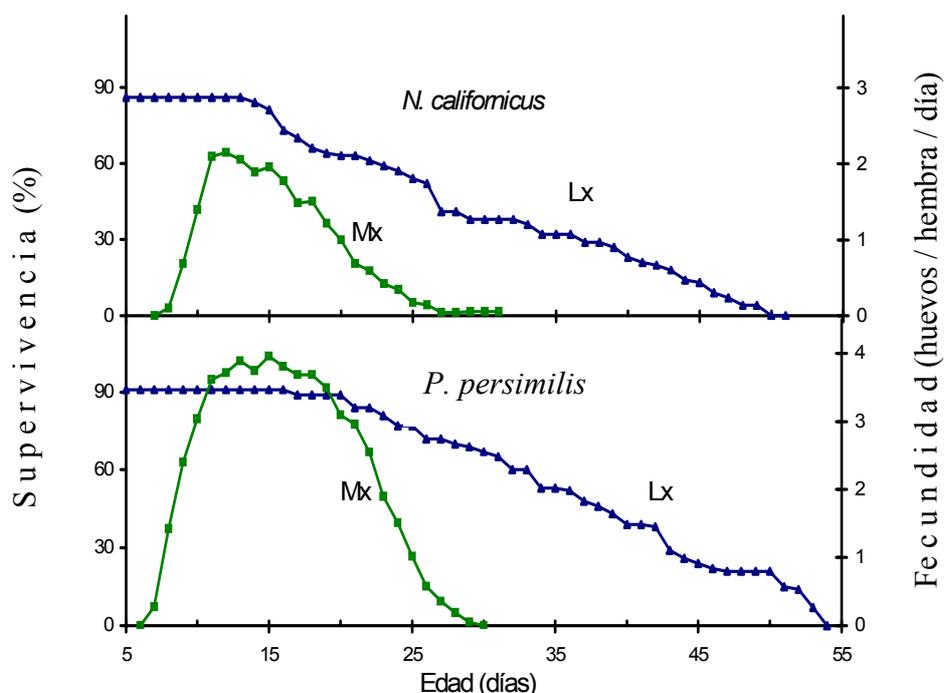


Fig. 3.1. Supervivencia y Tasa de fecundidad de *Neoseiulus californicus* (N: 35) y *Phytoseiulus persimilis* (N: 50) alimentados con *Tetranychus urticae* en condiciones de laboratorio. Lx: Porcentaje de supervivencia; Mx: Tasa de fecundidad: No. de huevos/hembra/día.

### 3.1.3. Consumo de presas por parte de los depredadores

En la Tabla 3.3 se puede observar el consumo total de huevos de la presa *T. urticae* por ambos fitoseidos durante sus diferentes períodos de desarrollo de huevo a adulto. Se puede apreciar que durante el estado de larva los depredadores no se alimentaron. Para alcanzar la madurez, las hembras de *N. californicus* consumieron  $9,17 \pm 2,3$  huevos, aproximadamente un 20% más que los machos. En tanto que el consumo de las hembras de *P. persimilis* fue sensiblemente mayor, de  $14,1 \pm 2,5$  huevos; un 37% huevos más que sus machos. El consumo de huevos aumentó con la edad, siendo mayor en las deutoninfas que en las protoninfas de las dos especies, y siempre mayor en *P. persimilis* que en *N. californicus*.

Tabla 3.3. Consumo total de huevos de *Tetranychus urticae* durante cada período de desarrollo de *Neoseiulus californicus* y *Phytoseiulus persimilis* en condiciones de laboratorio.

	<i>N. californicus</i>		<i>P. persimilis</i>	
	Hembra	Macho	Hembra	Macho
<b>N<sup>1</sup></b>	35	23	50	13
<b>Larva<sup>2</sup></b>	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Protoninfa<sup>2</sup></b>	3,6±1,4 <sup>1</sup>	3,4±1,4	4,9±1,5	3,8±1,4
<b>Deutoninfa<sup>2</sup></b>	5,5±2,1	4,0±1,6	9,2±1,8	5,1±2,4
<b>Adulto<sup>2</sup></b>	9,2±2,3	7,3±2,1	14,1±2,5	8,9±3,0

<sup>1</sup>Nº. de individuos.

<sup>2</sup>Medias ± desviación estándar de huevos de *T. urticae*.

### **3.2. Dinámica poblacional de *Neoseiulus californicus* y *Phytoseiulus persimilis* con las presas *Tetranychus urticae*, *Tetranychus turkestanii* y *Tetranychus evansi***

#### **3.2.1. Dinámica depredador-presa de *Tetranychus urticae***

##### **3.2.1.1. Comportamiento de *Tetranychus urticae* en ausencia de depredadores**

En ausencia de los depredadores, la evolución temporal de *T. urticae* mostró unas oscilaciones que pueden agruparse en tres fases (Fig. 3.2 y 3.4). En la primera semana después del inicio del ensayo, su población se redujo aproximadamente a un 50 % en todos los niveles de suelta. Este efecto probablemente, fue debido a su distribución por la planta después de su liberación. Esta reducción continuó hasta la segunda semana, alcanzándose valores de densidad cercanos a 5 hembras por hoja. Sin embargo, a partir de ese momento se observó un notable crecimiento de la densidad poblacional, multiplicándose por 5 su población, con densidades entre 30 y 40 hembras/hoja durante unas cuatro semanas. En la última fase, siete semanas después de iniciar el experimento, se produjo un crecimiento exponencial de la población, presentando valores aproximados a 80 hembras/hoja.

##### **3.2.1.2. Interacciones entre *Tetranychus urticae* y *Neoseiulus californicus*. Efecto de distintas relaciones depredador-presa**

La variación en el número de la presa *T. urticae* en presencia del depredador *N. californicus* a las tres relaciones depredador-presa y en ausencia de depredadores (testigo) se muestra en la Fig. 3.2. Durante las tres primeras semanas después de la suelta del depredador, las poblaciones de *T. urticae* en las relaciones depredador-presa 1:12 y 1:8 evolucionaron de forma similar a la población del testigo. En cambio, en la relación 1:4 las densidades registradas de *T. urticae* fueron claramente inferiores en la tercera semana. Posteriormente, en las plantas con *N. californicus*, la abundancia de *T. urticae* osciló de forma parecida en los niveles 1:12 y 1:8, alcanzando valores que representan aproximadamente la mitad de la densidad poblacional de esta araña roja en las plantas del testigo. Mientras que en el nivel 1:4 la densidad de *T. urticae* es una tercera parte. Finalmente, a partir de la sexta semana se produjo un incremento

notable en la densidad de *T. urticae* en todos los niveles depredador-presa estudiados. En la séptima semana la densidad poblacional de *T. urticae* en los niveles 1:12 y 1:8 fue aproximadamente el 50% de la densidad observada en las plantas del testigo, en tanto que en el nivel 1:4 la población de la araña fue inferior, la cual sólo alcanzó un 22% de la población de la presa registrada en las plantas del testigo.

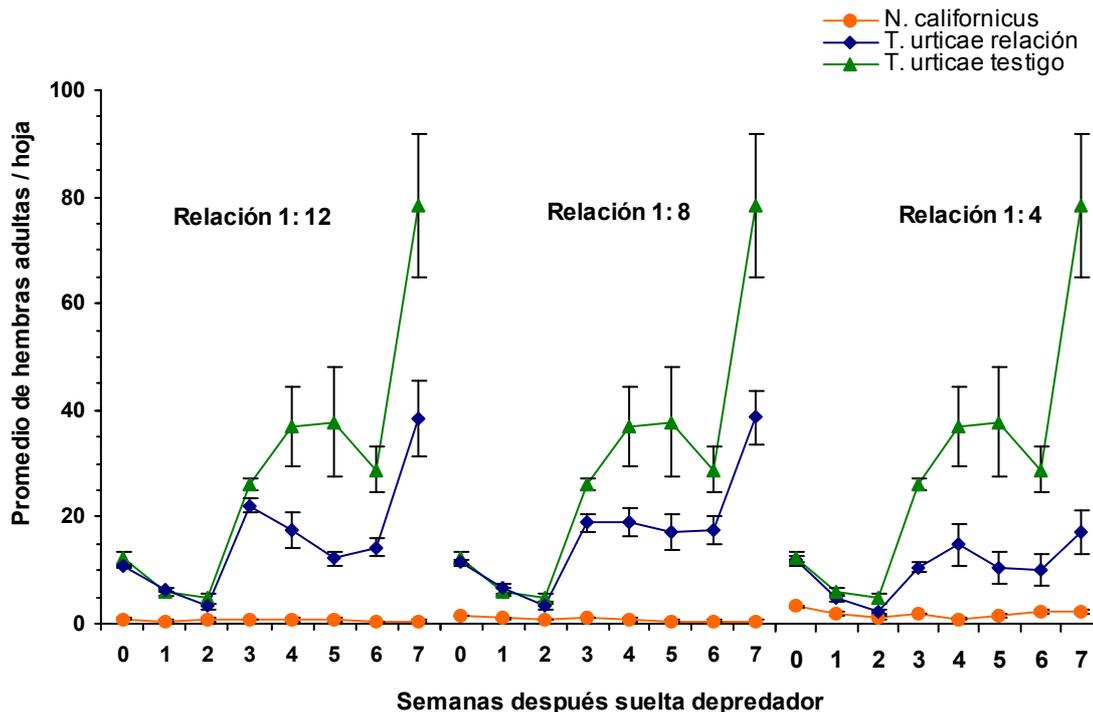


Fig. 3.2. Variación en el número de *Tetranychus urticae* y *Neoseiulus californicus* en plantas de judía en las relaciones depredador-presa 0:25 (testigo), 1:12, 1:8 y 1:4. Las barras en cada punto representan la desviación estándar de la media de 10 repeticiones

Los valores medios y las desviaciones de la densidad de *T. urticae* en las plantas del testigo y en las relaciones depredador-presa estudiadas con *N. californicus* son presentados en la Tabla 3.4. En la segunda semana tras la suelta del depredador se observaron las primeras diferencias entre los tratamientos sin y con fitoseidos. Las densidades medias fueron de  $4,8 \pm 0,9$  hembras/hoja en el testigo y  $2,2 \pm 0,5$  hembras/hoja en la proporción 1:4 ( $P > 0,05$ ;  $F = 2,37$ ; g.l.=3, 36).

En la tercera semana las diferencias en las poblaciones de *T. urticae* de los tratamientos con y sin fitoseidos se incrementaron en todas las relaciones depredador-presa estudiadas. Al final del ensayo no hubo diferencias

significativas ( $P < 0,05$ ;  $F = 9,8$ ; g.l.=3, 36) entre las poblaciones de *T. urticae* de las relaciones 1:12 y 1:8, siendo de unas 38 hembras/hoja. Este valor contrasta claramente con la población en las plantas del testigo, que fue de  $78,3 \pm 13,6$  hembras/hoja. En cambio, en la relación 1:4 la disminución de la población de la presa *T. urticae* fue mucho más evidente, con  $17,3 \pm 4,1$  hembras/hoja, presentando diferencias significativas en comparación con el testigo y también a las otras relaciones depredador-presa ( $P < 0,05$ ;  $F = 9,8$ ; g.l.=3, 36).

Tabla 3.4. Número medio de hembras de *Tetranychus urticae* y efecto de diferentes relaciones depredador-presa con el fitoseido *Neoseiulus californicus* a lo largo del ensayo.

Tratamiento	Semana después suelta depredador							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Testigo	$12,2 \pm 1,2^1 a^2$	$6,0 \pm 0,8a$	$4,8 \pm 0,9a$	$26,2 \pm 1,2a$	$36,9 \pm 7,6a$	$37,8 \pm 10,3a$	$28,8 \pm 4,3a$	$78,3 \pm 13,6a$
Relación 1: 12	$10,7 \pm 0,3a$	$6,4 \pm 0,5a$	$3,2 \pm 0,6ab$	$22,2 \pm 1,3a$	$17,6 \pm 3,5b$	$12,2 \pm 1,3b$	$14,4 \pm 1,8b$	$38,4 \pm 7,2b$
Relación 1:8	$11,7 \pm 0,4a$	$6,6 \pm 0,9a$	$3,4 \pm 0,8ab$	$18,8 \pm 1,7ab$	$18,9 \pm 2,7b$	$17,0 \pm 3,4b$	$17,6 \pm 2,5ab$	$38,6 \pm 5,0b$
Relación 1:4	$12,0 \pm 0,5a$	$4,8 \pm 0,7a$	$2,2 \pm 0,5b$	$10,6 \pm 0,9b$	$14,8 \pm 4,0b$	$10,6 \pm 3,0b$	$10,2 \pm 3,0c$	$17,3 \pm 4,1c$

<sup>1</sup>Media  $\pm$  desviación estándar de 10 repeticiones.

<sup>2</sup>Las medias seguidas de letras distintas difieren entre sí estadísticamente de forma significativa, según la prueba de Fisher (LSD) al nivel del 5%.

La población de *N. californicus* se mantuvo baja en las tres relaciones depredador-presa estudiadas y en ninguno de los tratamientos el fitoseido fue capaz de controlar totalmente la araña roja. La Fig. 3.3 muestra con más detalle la evolución poblacional del fitoseido, donde se puede observar que la población de las hembras adultas descendió hasta la primera semana en la relación 1:12, y hasta la segunda semana en las relaciones 1:8 y 1:4, para luego presentar un pico poblacional en la tercera semana.

A partir de la quinta semana la población de *N. californicus* descendió en las relaciones 1:12 y 1:8 y aumentó en la relación 1:4, mostrando diferencias significativas durante las tres últimas semanas (5ª semana:  $P < 0,05$ ;  $F = 3,52$ ; g.l.=2, 27; 6ª semana:  $P < 0,05$ ,  $F = 14,49$ ; g.l.=2, 27; 7ª semana:  $P < 0,05$ ;  $F = 14,42$ ; g.l.=2, 27). Al final del ensayo se en el tratamiento 1:4 se registró el valor de  $2,3 \pm 0,5$  hembras adultas de *N. californicus* por hoja (Tabla 3.5), lo cual fue

suficiente para evitar el notable incremento que la población de *T. urticae* presentó en el testigo y en las relaciones 1:12 y 1:8.

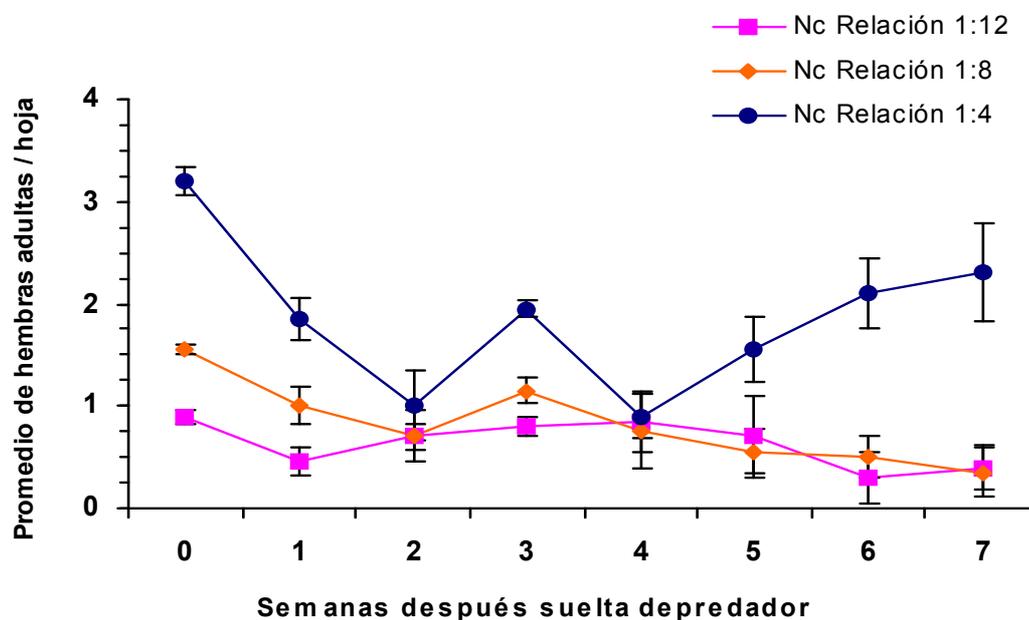


Fig. 3.3. Evolución poblacional de *Neoseiulus californicus* en plantas de judía infestadas con *Tetranychus urticae* en las relaciones depredador-presa 1:12, 1:8 y 1:4. Las barras en cada punto representan la desviación estándar de la media de 10 repeticiones. Nc: *N. californicus*.

Tabla 3.5. Número medio de hembras de *Neoseiulus californicus* en cada una de las relaciones depredador-presa a lo largo del ensayo.

Tratamiento	Semana después suelta depredador							
	0	1	2	3	4	5	6	7
<b>Relación 1:12</b>	0,9±0,1 <sup>1</sup> c <sup>2</sup>	0,45±0,1c	0,7±0,3a	0,8±0,1b	0,85±0,3a	0,7±0,4b	0,3±0,3b	0,3±0,2b
<b>Relación 1:8</b>	1,55±0,1b	1,0±0,2b	0,7±0,1a	1,15±0,1b	0,75±0,4a	0,55±0,2b	0,5±0,2b	0,35±0,2b
<b>Relación 1:4</b>	3,2±0,1a	1,85±0,2a	1,0±0,3a	1,95±0,1a	0,9±0,2a	1,55±0,3a	2,1±0,4a	2,3±0,5a

<sup>1</sup>Media ± desviación estándar de 10 repeticiones.

<sup>2</sup>Las medias seguidas de letras distintas difieren entre sí estadísticamente de forma significativa, según la prueba de Fisher (LSD) al nivel del 5%.

### 3.2.1.3. Interacciones entre *Tetranychus urticae* y *Phytoseiulus persimilis*. Efecto de distintas relaciones depredador-presa

Los resultados de la suelta de *P. persimilis* para controlar a *T. urticae* en plantas de judía son presentados en la Fig. 3.4. Se puede observar que la depredación de este fitoseido fue eficaz para controlar la población de la presa en las tres relaciones depredador-presa estudiadas.

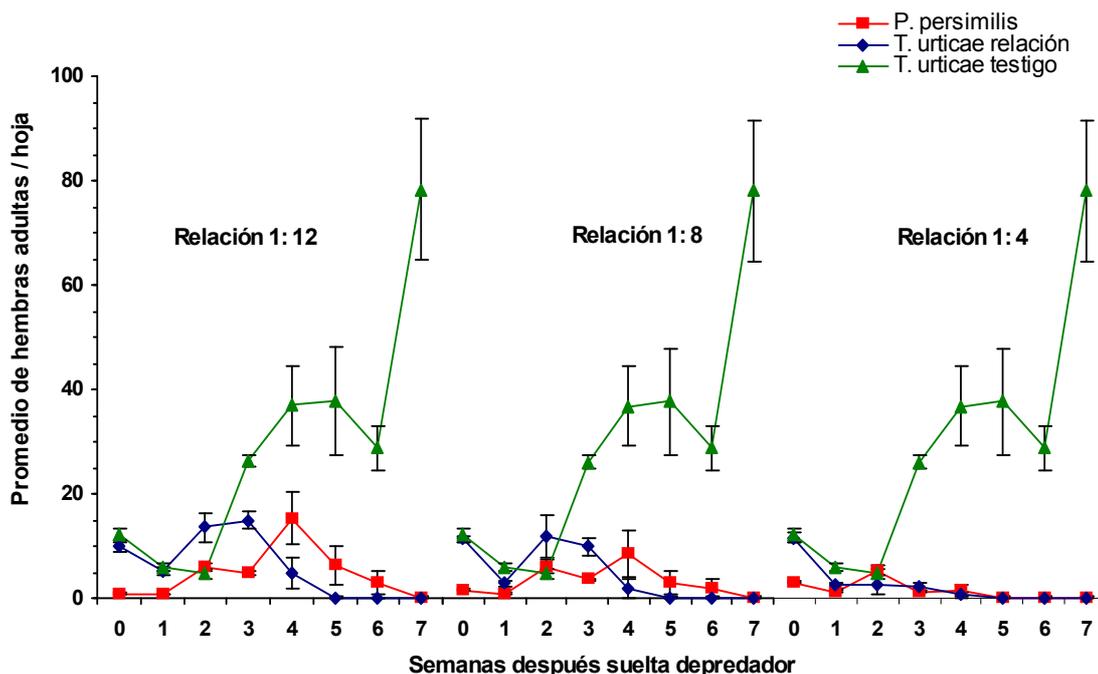


Fig. 3.4. Variación en el número de *Tetranychus urticae* y *Phytoseiulus persimilis* en plantas de judía en las relaciones depredador-presa 0:25 (testigo), 1:12, 1:8 y 1:4. Las barras en cada punto representan la desviación estándar de la media de 10 repeticiones.

En la primera semana después de la liberación de *P. persimilis* la población de *T. urticae* disminuyó en todos los tratamientos (Tabla 3.6) presentando diferencias significativas entre del testigo y las relaciones 1:8 y 1:4 ( $P < 0,05$ ;  $F=7,22$ ; g.l.=3, 36). En la segunda semana, la población disminuyó en el testigo y en la relación 1:4, pero aumentó de forma significativa en los tratamientos 1:12 y 1:8, alcanzando su primer pico poblacional ( $P < 0,05$ ;  $F=8,57$ ; g.l.=3, 36).

En la tercera semana, el testigo alcanzó su primer pico poblacional con  $26,2 \pm 1,2$  hembras/hoja de *T. urticae*; presentando diferencias significativas con

todos los demás tratamientos ( $P < 0,05$ ;  $F=11,3$ ; g.l.=3, 36). En la relación 1:12, la población de esta araña roja aumentó un 9% con respecto a la semana anterior, presentando diferencias significativas con el testigo y con la relación 1:4. En cambio, en las relaciones 1:8 y 1:4 la población de *T. urticae* disminuyó en 16 y 14%, respectivamente.

En la cuarta semana, la población de *T. urticae* en el testigo aumentó un 30% en comparación con la semana anterior. En cambio, la población decreció en los tratamientos con *P. persimilis*, siendo un 68% en la relación 1:12, un 84% en la relación 1:8 y un 15% en la relación 1:4, con diferencias significativas respecto al testigo ( $P < 0,05$ ;  $F=29,57$ ; g.l.=3, 36). Para la quinta semana, *T. urticae* ya había desaparecido en los tratamientos con *P. persimilis* (Tabla 3.6).

Tabla 3.6. Número medio de hembras de *Tetranychus urticae* y efecto de diferentes relaciones depredador-presa con el fitoseido *Phytoseiulus persimilis* a lo largo del ensayo.

Tratamiento	Semana después suelta depredador							
	0	1	2	3	4	5	6	7
<b>Testigo</b>	12,2±1,2 <sup>1</sup> a <sup>2</sup>	6±0,8a	4,8±0,9b	26,2±1,2a	37,0±7,6a	37,9±10,3a	28,9±4,3a	78,3±13,6a
<b>Relación 1:12</b>	10,0±0,9a	5,1±0,7a	13,7±2,8a	15,0±1,6b	4,8±3,0b	0 b	0 b	0 b
<b>Relación 1:8</b>	11,5±0,5a	2,8±0,6b	11,9±4,0ab	9,9±1,6bc	1,8±1,8b	0 b	0 b	0 b
<b>Relación 1:4</b>	11,7±0,8a	2,5±0,5b	2,6±2,0c	2,2±0,6c	0,6±0,5b	0 b	0 b	0 b

<sup>1</sup>Media ± desviación estándar de 10 repeticiones.

<sup>2</sup>Las medias seguidas de letras distintas difieren entre sí estadísticamente de forma significativa, según la prueba de Fisher (LSD) al nivel del 5%.

La evolución poblacional de *P. persimilis* se puede muestra en la Fig. 3.5. Tras la disminución en la primera semana después de la suelta del fitoseido, en la segunda semana se registró un importante crecimiento poblacional en las tres relaciones depredador-presa evaluadas, alcanzando valores superiores a 5 hembras/hoja en todos los tratamientos. Si se compara este aumento de la población de *P. persimilis* con la cantidad soltada al iniciar el ensayo, se puede constatar que el depredador multiplicó su población por seis, por tres y por dos, en las relaciones 1:12, 1:8 y 1:4, respectivamente.

En la tercera semana la población del depredador *P. persimilis* descendió en todos los tratamientos para luego alcanzar su segundo pico poblacional en la cuarta semana, con valores de 15 y 8 hembras adultas por hoja, en los niveles 1:12 y 1:8, respectivamente. En el nivel 1:4, la población del depredador aumentó sólo un 15% en relación a la semana anterior, para desaparecer paralelamente con la población de su presa en la quinta semana. Mientras que durante la quinta y la sexta semanas en los niveles 1:12 y 1:8 se observaron hembras adultas de *P. persimilis*, hasta su total desaparición en la séptima semana.

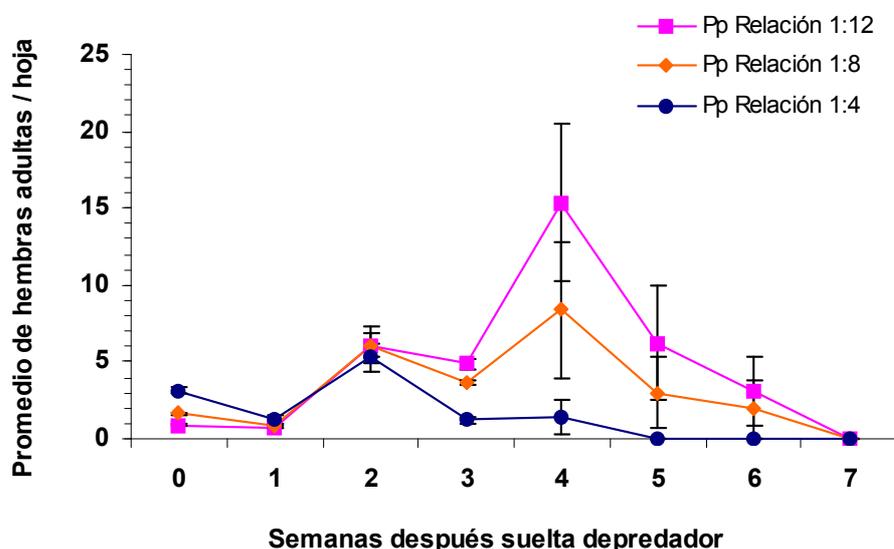


Fig. 3.5. Evolución poblacional de *Phytoseiulus persimilis* en plantas de judía infestadas con *Tetranychus urticae* en las relaciones depredador-presa 1:12, 1:8 y 1:4. Las barras en cada punto representan la desviación estándar de la media de 10 repeticiones. Pp: *P. persimilis*.

El número medio de hembras de *P. persimilis* en cada una de las dosis de suelta durante el ensayo, se muestra en la Tabla 3.7. Se observaron diferencias significativas en la población de depredadores a partir de la tercera semana entre la relación 1:4 y las otras dos relaciones evaluadas ( $P < 0,05$ ;  $F=10,9$ ; g.l.=2, 27). El depredador *P. persimilis* en la relación 1:12 redujo sustancialmente la población de araña roja y al mismo tiempo experimentó un descenso poblacional. Desde la quinta semana no se registraron más hembras adultas de *T. urticae* en las plantas, pero sin embargo se observaron especímenes adultos de *P. persimilis* hasta la sexta semana en las relaciones

1:8 y 1:12, aunque en densidades muy bajas, de 2 y 3 hembras/hoja respectivamente. En la séptima semana el depredador y la presa habían desaparecido totalmente de las plantas donde se soltó *P. persimilis*.

Tabla 3.7. Número medio de hembras de *Phytoseiulus persimilis* en cada una de las relaciones depredador-presa a lo largo del ensayo con *Tetranychus urticae*.

Tratamiento	Semana después suelta depredador							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Relación 1:12	0,9±0,1 <sup>1</sup> c <sup>2</sup>	0,8±0,1a	6,1±0,7a	4,9±0,3a	15,4±5,1a	6,3±3,7a	3,1±2,2a	0
Relación 1:8	1,7±0,1b	0,9±0,2a	6,1±1,2a	3,7±0,2a	8,4±4,4ab	3,0±2,4ab	2,0±1,9ab	0
Relación 1:4	3,2±0,2a	1,3±0,3a	5,3±0,9a	1,2±0,2b	1,4±1,1b	0b	0b	0

<sup>1</sup>Media ± desviación estándar de 10 repeticiones.

<sup>2</sup>Las medias seguidas de letras distintas difieren entre sí estadísticamente de forma significativa, según la prueba de Fisher (LSD) al nivel del 5%.

### 3.2.1.4. Estimación del índice de daños producidos por *T. urticae*

La evolución del índice de daños (IDH) en las plantas de judía por *T. urticae* en ausencia y presencia de *N. californicus* y *P. persimilis* durante las siete semanas que duró el experimento se muestra en la Fig. 3.6.

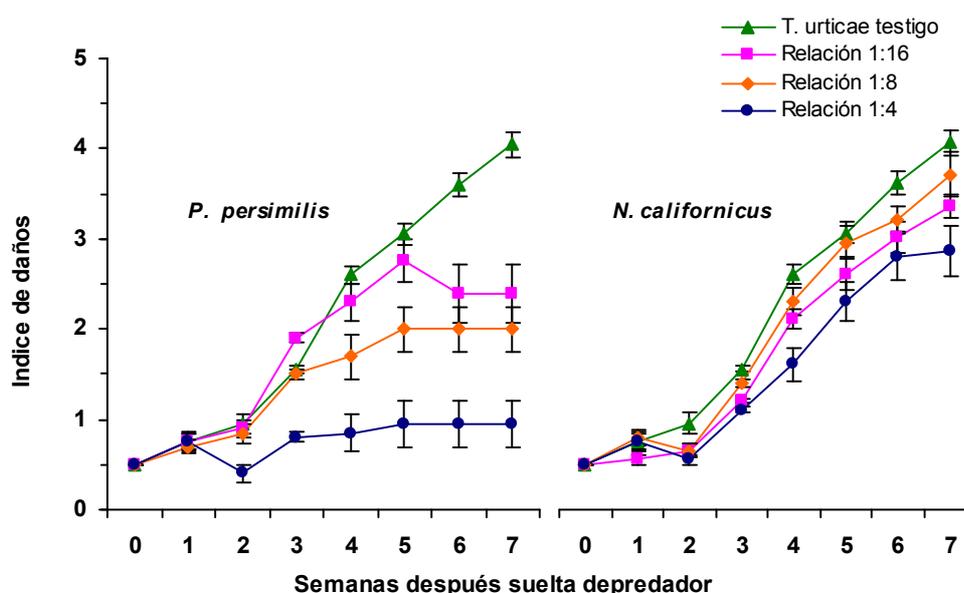


Fig. 3.6. Índice de daños de *Tetranychus urticae* en presencia y ausencia de *Neoseiulus californicus* y *Phytoseiulus persimilis* en plantas de judía en las relaciones depredador-presa 0:25 (testigo), 1:12, 1:8 y 1:4. Las barras en cada punto representan la desviación estándar de la media de 10 repeticiones.

En el testigo y en todos los niveles de tratamiento con *N. californicus* los daños aumentaron en forma progresiva. No obstante, el tratamiento testigo presentó diferencias significativas con la relación 1:4 a partir de la segunda semana ( $P < 0,05$ ,  $F = 4,18$ , g.l.=3, 36) y hasta el final del ensayo. En la séptima semana el testigo presentó un IDH superior a 4, un valor de 1,2 por encima del observado en la relación 1:4. En cambio, en los niveles 1:8 y 1:12 los resultados obtenidos en las diferentes semanas fueron más variables, no diferenciándose claramente del testigo en las tres últimas semanas (Tabla 3.8).

Tabla 3.8. Comparaciones del índice de daños producidos por *Tetranychus urticae* en plantas de judía en los distintos niveles de suelta de *Neoseiulus californicus*.

Tratamiento	Semana después suelta depredador							
	0	1	2	3	4	5	6	7
<b>Testigo</b>	0,5	0,8±0,1 <sup>1</sup> a <sup>2</sup>	1,0±0,1a	1,6±0,1a	2,6±0,1a	3,1±0,1a	3,6±0,1a	4,1±0,1a
<b>Relación 1:12</b>	0,5	0,6±0,1a	0,6±0,1b	1,2±0,1b	2,1±0,1b	2,6±0,2ab	3,0±0,2ab	3,4±0,1ab
<b>Relación 1:8</b>	0,5	0,8±0,1a	0,7±0,1b	1,4±0,1ab	2,3±0,2ab	2,95±0,2a	3,2±0,2ab	3,7±0,2ab
<b>Relación 1:4</b>	0,5	0,8±0,1a	0,6±0,1b	1,1±0,01b	1,6±0,2c	2,3±0,2b	2,8±0,3b	2,9±0,3b

<sup>1</sup>Media ± desviación estándar de 10 repeticiones.

<sup>2</sup>Las medias seguidas de letras distintas difieren entre sí estadísticamente de forma significativa, según la prueba de Fisher (LSD) al nivel del 5%.

En el caso de la experiencia realizada con *P. persimilis* en presencia de *T. urticae*, los resultados obtenidos fueron más evidentes, ya que el efecto de la presencia del fitoseido se manifestó claramente en todas las relaciones depredador-presa ensayadas (Fig. 3.6). Las diferencias en los valores del IDH entre las plantas testigo y las que tenían *P. persimilis* se observaron desde la segunda semana después de la suelta de los fitoseidos en la relación 1:4 ( $P < 0,05$ ;  $F = 6,60$ ; g.l.=3, 36), a partir de la cuarta semana en la relación 1:8 ( $P < 0,05$ ;  $F = 16,25$ ; g.l.=3, 36) y de la sexta en 1:12 ( $P < 0,05$ ;  $F = 19,92$ ; g.l.=3, 36), manteniéndose estas diferencias estadísticas significativas hasta el final del ensayo (Tabla 3.9). En la relación 1:4 el nivel de daño nunca superó el valor de 1 a las siete semanas; en cambio, en el testigo fueron superiores a 4 al final de la experiencia.

Tabla 3.9. Valores medios, desviaciones y significaciones en el índice de daños producidos por *Tetranychus urticae* en plantas de judía con distintos niveles de suelta de *Phytoseiulus persimilis*.

Tratamiento	Semana después suelta depredador							
	0	1	2	3	4	5	6	7
<b>Testigo</b>	0,5	0,8±0,1 <sup>1</sup> a <sup>2</sup>	0,95±0,1a	1,6±0,1a	2,6±0,1a	3,1±0,1a	3,6±0,1a	4,1±0,1a
<b>Relación 1: 12</b>	0,5	0,8±0,1a	0,9±0,1a	1,9±0,1a	2,3±0,3a	2,75±0,2a	2,4±0,3b	2,4±0,3b
<b>Relación 1:8</b>	0,5	0,7±0,1a	0,9±0,1a	1,5±0,1a	1,7±0,2b	2,0±0,2b	2,0±0,2b	2,0±0,2b
<b>Relación 1:4</b>	0,5	0,8±0,1a	0,4±0,1b	0,8±0,1b	0,85±0,2c	0,95±0,3c	0,95±0,3c	0,95±0,3c

<sup>1</sup>Media ± desviación estándar de 10 repeticiones.

<sup>2</sup>Las medias seguidas de letras distintas difieren entre sí estadísticamente de forma significativa, según la prueba de Fisher (LSD) al nivel del 5%.

### 3.2.2. Dinámica depredador-presa en el caso de *Tetranychus turkestanii*

#### 3.2.2.1. Comportamiento de *Tetranychus turkestanii* en ausencia de depredadores

La dinámica poblacional de *T. turkestanii* en las plantas del testigo puede ser observada en la Fig. 3.7. Esta araña roja experimentó un aumento gradual en su población desde el inicio del ensayo en las plantas del testigo. El crecimiento poblacional fue progresivo en las tres primeras semanas. Pero al final del ensayo en la cuarta semana, se apreció un incremento considerable, alcanzándose un valor medio superior a 180 hembras/hoja.

#### 3.2.2.2. Interacciones entre *Tetranychus turkestanii* y *Neoseiulus californicus*. Efecto de distintas relaciones depredador-presa

La evolución de *T. turkestanii* en los tratamientos donde se soltó *N. californicus* siguió una pauta similar al tratamiento testigo durante las tres primeras semanas (Fig. 3.7). Esta araña roja incrementó su población en todas las relaciones depredador-presa de forma paralela a la población de las plantas del testigo con valores más bajos hasta la tercera semana, con la excepción de la relación 1:16, la cual presentó en ese momento, una población de *T. turkestanii* en un 18% mayor que las plantas del testigo.

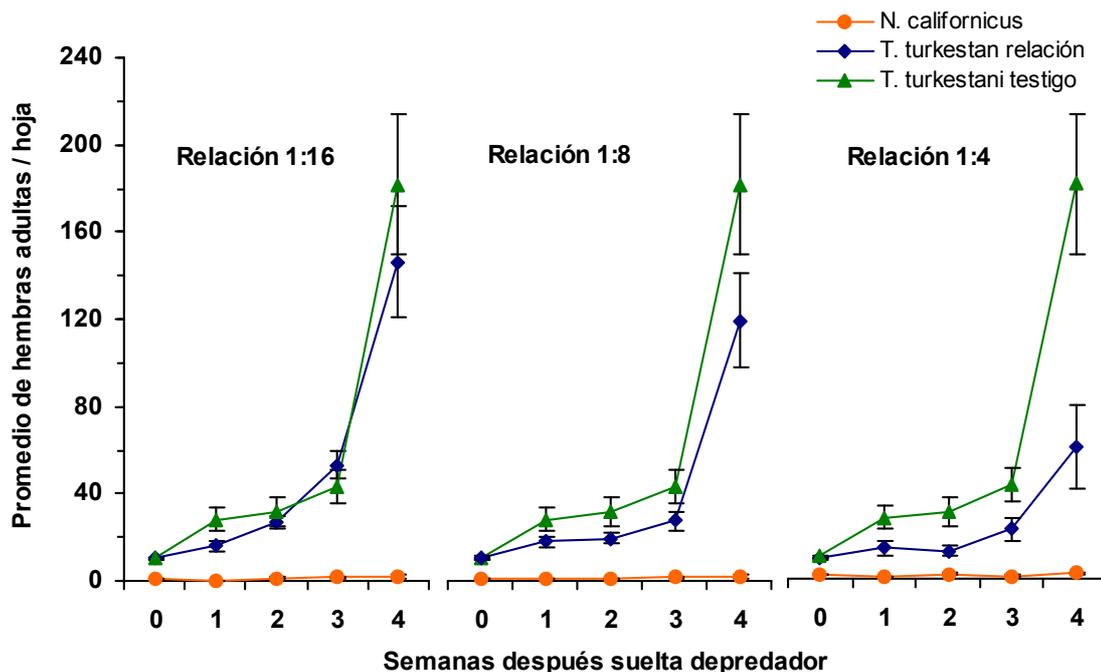


Fig. 3.7. Variación en el número de *Tetranychus turkestanii* y *Neoseiulus californicus* en plantas de judía en las relaciones depredador-presa 0:25 (testigo), 1:16, 1:8 y 1:4. Las barras en cada punto representan la desviación estándar de la media de 10 repeticiones.

En la cuarta semana al final del experimento, la densidad poblacional de *T. turkestanii* en las relaciones 1:16 y 1:8 alcanzó, respectivamente, valores de  $146,3 \pm 25,6$  y  $119,1 \pm 21,6$  hembras/hoja, sin presentar diferencias estadísticas significativas con el testigo, pero sí con la relación 1:4 ( $P < 0,05$ ;  $F = 6,06$ ; g.l.=3, 36), donde la población de *T. turkestanii* fue tres veces menor que en el testigo, con  $60,5 \pm 19,4$  hembras /hoja (Tabla 3.10).

Tabla 3.10. Número medio de hembras de *Tetranychus turkestanii* y efecto de diferentes relaciones depredador-presa con el fitoseido *Neoseiulus californicus* a lo largo del ensayo.

Tratamiento	Semana después suelta depredador				
	0	1	2	3	4
Testigo	10,3±0,7 <sup>1</sup> a <sup>2</sup>	28,2±5,3a	31,3±6,8a	43,1±7,8ab	181,7±32,2a
Relación 1: 16	10,2±0,5a	16,2±2,3ab	26,8±3,1a	53,1±6,5a	146,3±25,6a
Relación 1:8	10,7±0,8a	18,0±2,3ab	19,7±2,4ab	27,7±4,2bc	119,1±21,6a
Relación 1:4	9,3±0,4a	14,0±3,1b	12,7±2,3b	22,8±5,5c	60,5±19,4b

<sup>1</sup>Media ± desviación estándar de 10 repeticiones.

<sup>2</sup>Las medias seguidas de letras distintas difieren entre sí estadísticamente de forma significativa, según la prueba de Fisher (LSD) al nivel del 5%.

La evolución poblacional de *N. californicus* liberado en plantas con *T. turkestanii* se muestra en la Fig. 3.8. Se puede observar que los niveles poblacionales son bastante bajos al finalizar la experiencia: 1,7; 2,0 y 2,6 hembras/hoja, para las relaciones 1:16, 1:8, 1:4, respectivamente (Tabla 3.11), las cuales al comparar las poblaciones de *N. californicus* no presentaron diferencias estadísticas significativas entre sí en las últimas dos semanas ( $P > 0,05$ ;  $F_{s3}^a = 0,02$  y  $F_{s4}^b = 0,91$ ; g.l.=3, 36).

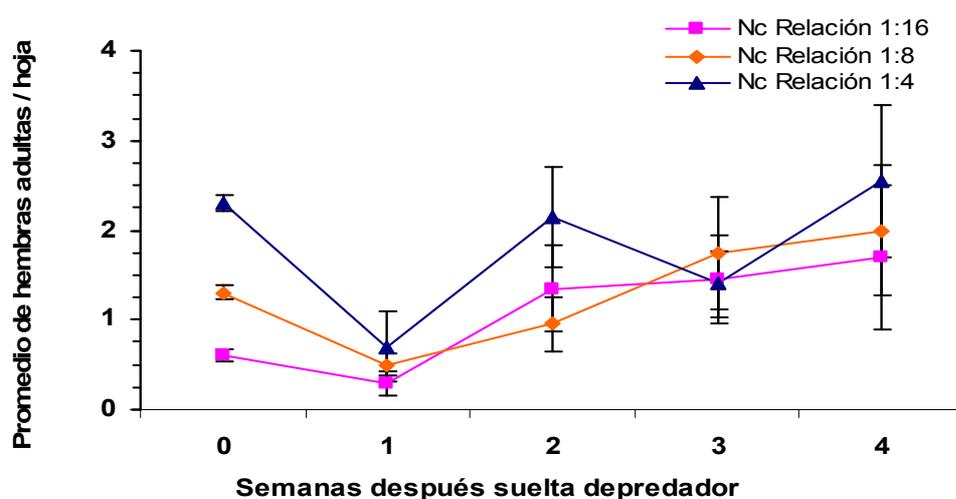


Fig. 3.8. Evolución poblacional de *Neoseiulus californicus* en plantas de judía infestadas con *Tetranychus turkestanii* en las relaciones depredador-presa 1:16, 1:8 y 1:4. Las barras en cada punto representan la desviación estándar de la media de 10 repeticiones. Nc: *N. californicus*.

Tabla 3.11. Número medio de hembras de *Neoseiulus californicus* en las diferentes relaciones depredador-presa a lo largo del ensayo con *Tetranychus turkestanii*.

Tratamiento	Semana después suelta depredador				
	0	1	2	3	4
Relación 1:16	0,6±0,1 <sup>1</sup> c <sup>2</sup>	0,3±0,1a	1,4±0,5ab	1,5±0,5a	1,7±0,8a
Relación 1:8	1,3±0,1b	0,5±0,1a	1,0±0,3b	1,8±0,6a	2,0±0,7a
Relación 1:4	2,3±0,1a	0,7±0,4a	2,2±0,6a	1,4±0,4a	2,6±0,8a

<sup>1</sup>Media ± desviación estándar de 10 repeticiones.

<sup>2</sup>Las medias seguidas de letras distintas difieren entre sí estadísticamente de forma significativa, según la prueba de Fisher (LSD) al nivel del 5%.

<sup>a</sup> $F_{s3}$  = F en la tercera semana

<sup>b</sup> $F_{s4}$  = F en la cuarta semana

### 3.2.2.3. Interacciones entre *Tetranychus turkestanii* y *Phytoseiulus persimilis*. Efecto de distintas relaciones depredador-presa

En los tratamientos donde se soltó *P. persimilis*, la evolución de la población de *T. turkestanii* siguió una pauta diferente al tratamiento testigo (Fig.3.9). Este depredador redujo la población de *T. turkestanii*, hasta mantenerla a niveles muy bajos y estables en la relación 1:16, con valores, respectivamente para las últimas dos semanas, entre  $12,3 \pm 4,8$  y  $7,5 \pm 5,0$  hembras/hojas, siendo esta última densidad poblacional 24 veces menor que la del testigo al final del experimento. En las relaciones 1:8 y 1:4 *P. persimilis* eliminó en dos semanas la población de hembras adultas de *T. turkestanii* de las plantas de judía (Tabla 3.12).

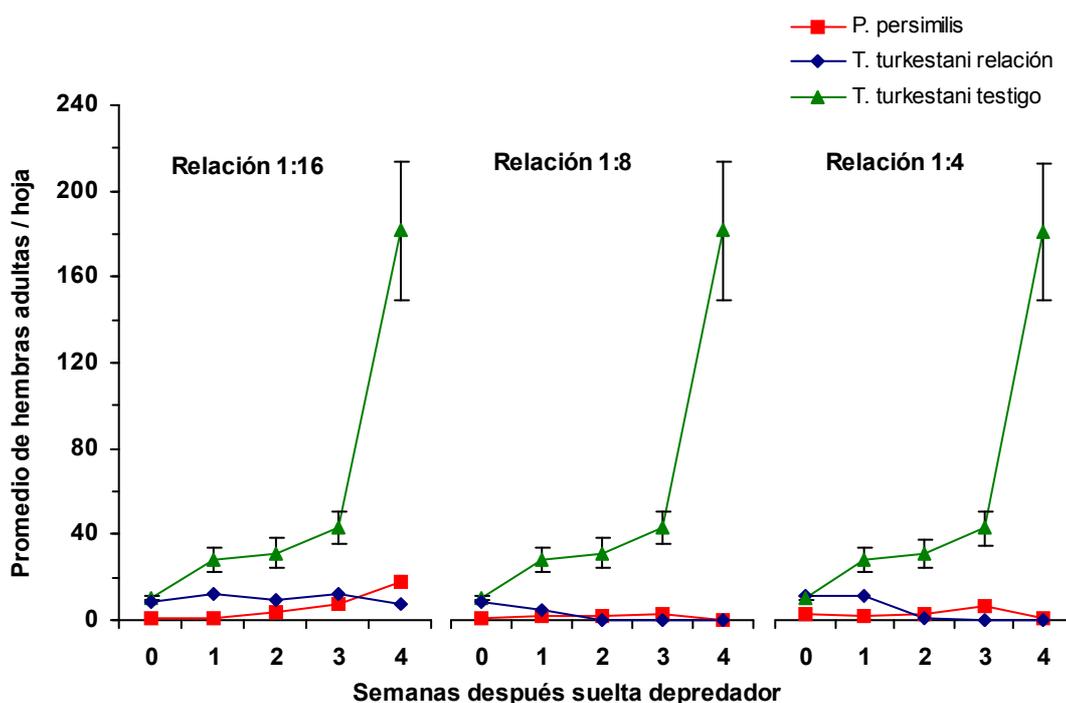


Fig. 3.9. Variación en el número de *Tetranychus turkestanii* y *Phytoseiulus persimilis* en plantas de judía en las relaciones depredador-presa 0:25 (testigo), 1:16, 1:8 y 1:4. Las barras en cada punto representan la desviación estándar de la media de 10 repeticiones.

Tabla 3.12. Número medio de hembras de *Tetranychus turkestani* y efecto de diferentes relaciones depredador-presa con el fitoseido *Phytoseiulus persimilis* a lo largo del ensayo.

Tratamiento	Semanas después suelta depredador				
	0	1	2	3	4
Testigo	10,3±0,7 <sup>1</sup> a <sup>2</sup>	28,2±5,3a	31,3±6,8a	43,1±7,8a	181,7±32,2a
Relación 1: 16	8,7±0,9b	12,3±3,8b	9,8±2,5b	12,3±4,8b	7,5±5,0b
Relación 1:8	8,0±0,5b	5,2±1,5c	0,2±0,2c	0 c	0 c
Relación 1:4	11,6±0,4a	11,6±2,3b	1,2±0,8c	0 c	0 c

<sup>1</sup>Media ± desviación estándar de 10 repeticiones.

<sup>2</sup>Las medias seguidas de letras distintas difieren entre sí estadísticamente de forma significativa, según la prueba de Fisher (LSD) al nivel del 5%.

La evolución poblacional del fitoseido *P. persimilis* se presenta con más detalle en la Fig. 3.10. Se puede apreciar que en el nivel de tratamiento 1:16, la densidad poblacional de este depredador creció a un ritmo exponencial, alcanzando al final del experimento valores medios de 17,8±6,1 hembras/hoja (Tabla 3.13), que se diferencian significativamente de los datos registrados en los niveles 1:8 y 1:4 ( $P < 0,05$ ;  $F = 11,53$ ; g.l.=3, 36). En la relación 1:16, probablemente, la diferencia entre el número de depredadores y de presas en las primeras tres semanas del ensayo proporcionó alimento suficiente a *P. persimilis* para permitir que su población experimentara ese notable crecimiento.

En cambio, en las relaciones 1:8 y 1:4 la evolución poblacional de *P. persimilis* fue distinta. Su cantidad inicial le permitió eliminar con rapidez a la presa para desaparecer a continuación, posiblemente, como consecuencia de la inanición o de su dispersión en busca de alimento. Las curvas de la dinámica poblacional de *P. persimilis* en estos dos tratamientos, siguieron una trayectoria paralela entre sí desde la primera semana después de la suelta del depredador, sin presentar diferencias estadísticas significativas entre sí al final del ensayo ( $P < 0,05$ ;  $F = 11,53$ ; g.l.=3, 36). En ambas relaciones, *P. persimilis* alcanzó su máximo pico poblacional en la tercera semana, con 2,7±0,9 y 6,5±3,0 hembras/hoja para las relaciones 1:8 y 1:4, respectivamente (Tabla 3.13).

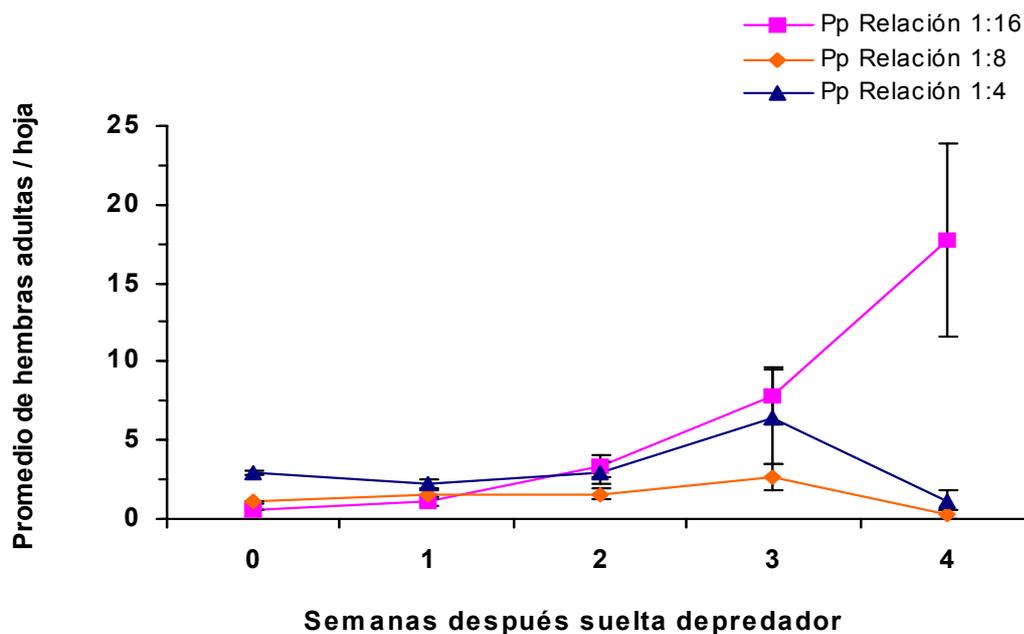


Fig. 3.10. Evolución poblacional de *Phytoseiulus persimilis* en plantas de judía infestadas con *Tetranychus turkestanii* en las relaciones depredador-presa 1:16, 1:8 y 1:4. Las barras en cada punto representan la desviación estándar de la media de 10 repeticiones. Pp: *P. persimilis*.

Tabla 3.13. Número medio de hembras de *Phytoseiulus persimilis* en las diferentes relaciones depredador-presa a lo largo del ensayo con *Tetranychus turkestanii*.

Tratamiento	Semana después suelta depredador				
	0	1	2	3	4
<b>Relación 1: 16</b>	0,6±0,1 <sup>1</sup> a <sup>2</sup>	1,1±0,2 <sup>b</sup>	3,4±0,7 <sup>a</sup>	7,8±1,8 <sup>a</sup>	17,8±6,1 <sup>a</sup>
<b>Relación 1:8</b>	1,1±0,1 <sup>a</sup>	1,6±0,2 <sup>b</sup>	1,6±0,4 <sup>a</sup>	2,7±0,9 <sup>b</sup>	0,3±0,3 <sup>b</sup>
<b>Relación 1:4</b>	3,0±0,2 <sup>a</sup>	2,2±0,3 <sup>a</sup>	3,0±0,7 <sup>a</sup>	6,45±3,0 <sup>ab</sup>	1,2±0,6 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>Media ± desviación estándar de 10 repeticiones.

<sup>2</sup>Las medias seguidas de letras distintas difieren entre sí estadísticamente de forma significativa, según la prueba de Fisher (LSD) al nivel del 5%.

### 3.2.2.4. Estimación del índice de daños producidos por *Tetranychus turkestanii*

La evolución del índice de daños de *T. turkestanii* en ausencia y presencia de *N. californicus* y *P. persimilis* en plantas de judía se muestra en la Fig. 3.11. Se puede observar que durante las dos primeras semanas las plantas en todos los niveles de tratamientos, presentaron un índice de daños entre los grados 2 y el 3, independientemente de la especie de fitoseido. Pero a partir de la tercera semana, el efecto de estos fitoseidos sobre el índice de daños fue distinto.

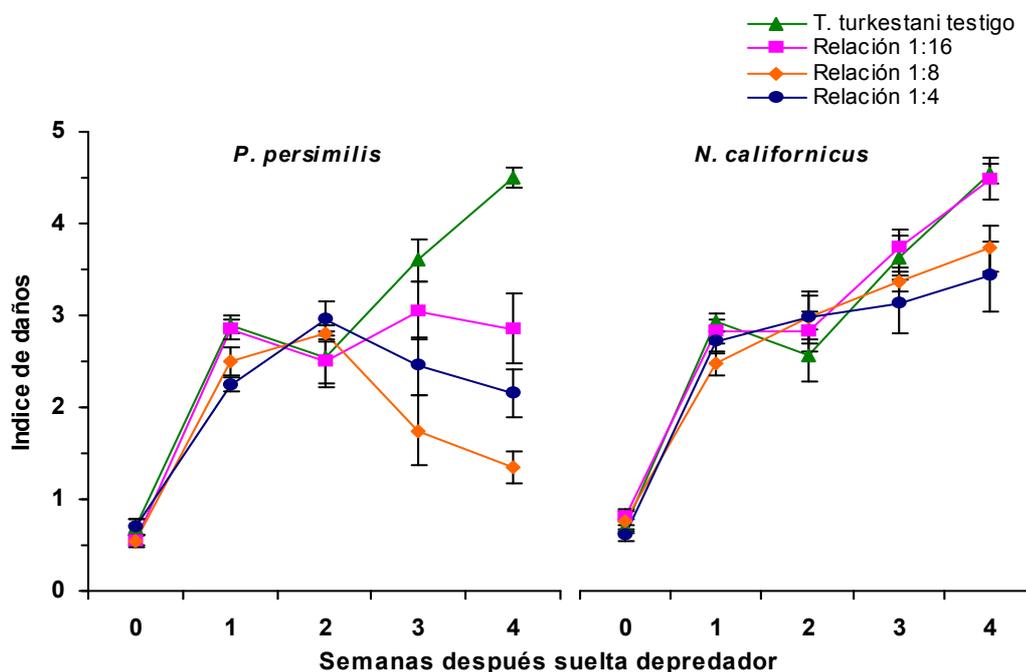


Fig. 3.11. Índice de daños de *Tetranychus turkestanii* en presencia y ausencia de *Neoseiulus californicus* y *Phytoseiulus persimilis* en plantas de judía en las relaciones depredador-presa 0:25 (testigo), 1:16, 1:8 y 1:4. Las barras en cada punto representan el desviación estándar de la media de 10 repeticiones.

En la tercera semana, en las plantas donde se soltó *N. californicus* el índice de daños superó el grado 3 en todos los tratamientos. Estos valores fueron similares al testigo y no presentaron diferencias significativas entre sí ( $P=0,23$ ;  $F=1,51$ ; g.l.=3,36). En la última semana, la relación 1:4 registró un valor de  $3,4 \pm 0,4$ , siendo este valor 1,1 veces menor que el registrado en el testigo y estadísticamente diferente ( $P < 0,05$ ;  $F=4,37$ ; g.l.=3, 36). En cambio, en la relación

1:16 se alcanzaron valores de  $4,5 \pm 0,2$  semejantes a los valores observados en las plantas del testigo (Tabla 3.14).

En tanto, que en las plantas donde se soltó *P. persimilis*, los valores del índice de daños provocados por *T. turkestanii* empezaron a marcar diferencias con respecto al testigo en la tercera semana (Tabla 3.15), pero estas diferencias sólo fueron estadísticamente significativas con la relación 1:8 ( $P < 0,05$ ;  $F = 5,59$ ; g.l.=3,36). Al final del ensayo, las tres relaciones depredador-presa con *P. persimilis* presentaron diferencias estadísticamente significativas con el testigo ( $P < 0,05$ ;  $F = 18,48$ ; g.l.=3,36).

Tabla 3.14. Índice de daño de *Tetranychus turkestanii* y efecto de diferentes relaciones depredador-presa con el fitoseido *Neoseiulus californicus* a lo largo del ensayo.

Tratamiento	Semana después suelta depredador				
	0	1	2	3	4
Testigo	$0,7 \pm 0,1^1 a^2$	$2,9 \pm 0,1 a$	$2,6 \pm 0,3 a$	$3,6 \pm 0,2 a$	$4,5 \pm 0,1 a$
Relación 1: 16	$0,8 \pm 0,1 a$	$2,8 \pm 0,1 a$	$2,8 \pm 0,2 a$	$3,7 \pm 0,2 a$	$4,5 \pm 0,2 a$
Relación 1:8	$0,8 \pm 0,1 a$	$2,5 \pm 0,1 b$	$3,0 \pm 0,2 a$	$3,4 \pm 0,1 a$	$3,7 \pm 0,2 ab$
Relación 1:4	$0,6 \pm 0,1 a$	$2,7 \pm 0,1 ab$	$3,0 \pm 0,3 a$	$3,1 \pm 0,3 a$	$3,4 \pm 0,4 a$

<sup>1</sup>Media  $\pm$  desviación estándar de 10 repeticiones.

<sup>2</sup>Las medias seguidas de letras distintas difieren entre sí estadísticamente de forma significativa, según la prueba de Fisher (LSD) al nivel del 5%.

Tabla 3.15. Índice de daño de *Tetranychus turkestanii* y efecto de diferentes niveles de relación depredador-presa con el fitoseido *Phytoseiulus persimilis* a lo largo del ensayo.

Tratamiento	Semana después suelta depredador				
	0	1	2	3	4
Testigo	$0,7 \pm 0,1^1 a^2$	$2,9 \pm 0,1 a$	$2,6 \pm 0,3 a$	$3,6 \pm 0,2 a$	$4,5 \pm 0,1 a$
Relación 1: 16	$0,6 \pm 0,1 a$	$2,9 \pm 0,1 a$	$2,5 \pm 0,3 a$	$3,1 \pm 0,3 a$	$2,8 \pm 0,4 b$
Relación 1:8	$0,6 \pm 0,1 a$	$2,5 \pm 0,1 b$	$2,8 \pm 0,1 a$	$1,8 \pm 0,4 b$	$1,4 \pm 0,2 c$
Relación 1:4	$0,7 \pm 0,1 a$	$2,3 \pm 0,1 b$	$3,0 \pm 0,2 a$	$2,5 \pm 0,3 ab$	$2,2 \pm 0,3 b$

<sup>1</sup>Media  $\pm$  desviación estándar de 10 repeticiones.

<sup>2</sup>Las medias seguidas de letras distintas difieren entre sí estadísticamente de forma significativa, según la prueba de Fisher (LSD) al nivel del 5%.

### **3.2.3. Dinámica depredador-presa en el caso de *Tetranychus evansi***

#### **3.2.3.1. Comportamiento de *Tetranychus evansi* en ausencia de depredadores**

La dinámica poblacional de la araña roja *T. evansi* en las plantas del testigo se muestra en las Figuras 3.12. En ausencia de fitoseidos, *T. evansi* colonizó las plantas de patata con rapidez. Aumentando de forma exponencial, su población alcanzó valores de  $116,8 \pm 11,7$  hembras/hoja en la tercera y última semana del experimento (Tabla 3.16).

#### **3.2.3.2. Interacciones entre *Tetranychus evansi* y *Neoseiulus californicus*. Efecto de distintas relaciones depredador-presa**

En presencia de *N. californicus*, la dinámica poblacional de *T. evansi* fue similar en todos los tratamientos, desde la primera hasta la última semana del ensayo (Fig. 3.12). En la última semana, los valores medios poblacionales fueron de  $149,1 \pm 18,2$ ;  $125,5 \pm 10,7$  y  $141,8 \pm 11,6$  hembras adultas/hoja, para las relaciones 1:16, 1:8 y 1:4 respectivamente (Tabla 3.16). Estas medias no presentaron diferencias significativas entre ellas ni tampoco con el testigo ( $P > 0,05$ ;  $F = 1,0$ ; g.l.=3, 36).

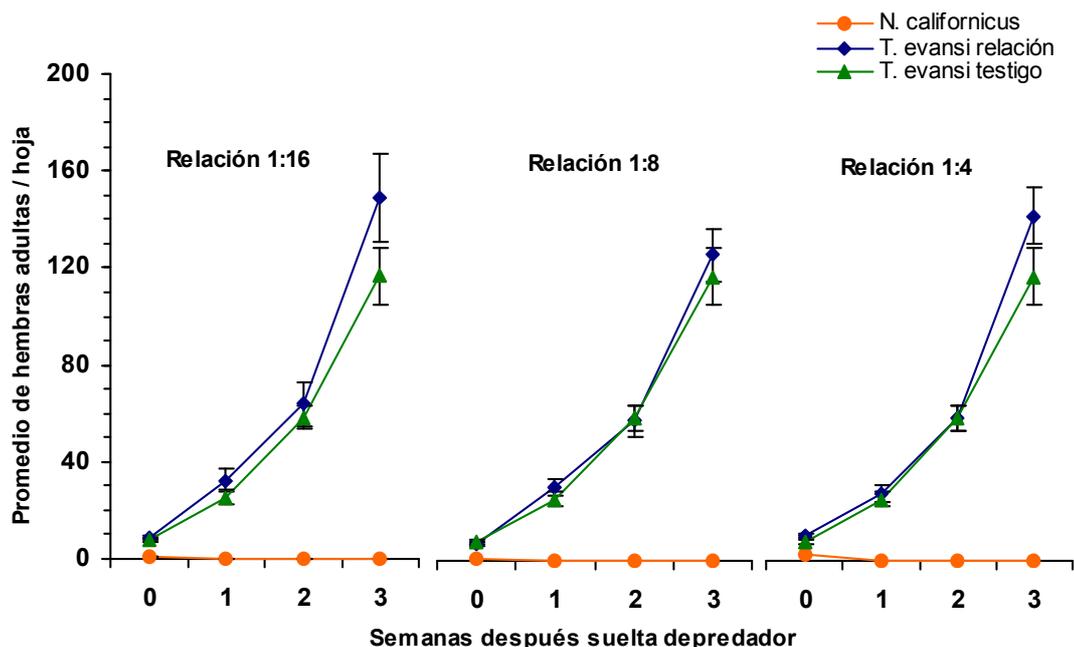


Fig. 3.12. Variación en el número de *Tetranychus evansi* y *Neoseiulus californicus* en plantas de patata en las relaciones depredador-presa 0:25 (testigo), 1:16, 1:8 y 1:4. Las barras en cada punto representan la desviación estándar de la media de 10 repeticiones.

Tabla 3.16. Número medio de hembras de *Tetranychus evansi* y efecto de diferentes relaciones depredador-presa con el fitoseido *Neoseiulus californicus* a lo largo del ensayo.

Tratamiento	Semana después suelta depredador			
	0	1	2	3
Testigo	7,6±0,7 <sup>1</sup> ab <sup>2</sup>	25,3±3,0a	58,4±5,0a	116,8±11,7a
Relación 1: 16	8,9±0,8a	32,5±4,8a	63,9±9,3a	149,1±18,2a
Relación 1:8	6,6±0,8b	30,1±3,5a	57,4±6,6a	125,5±10,7a
Relación 1:4	10,1±0,9a	27,5±3,5a	58,5±5,3a	141,8±11,6a

<sup>1</sup>Media ± desviación estándar de 10 repeticiones.

<sup>2</sup>Las medias seguidas de letras distintas difieren entre sí estadísticamente de forma significativa, según la prueba de Fisher (LSD) al nivel del 5%

La Fig. 3.13 muestra la evolución de *N. californicus*, observándose que el fitoseido desapareció en la primera semana en todas las relaciones depredador-presa evaluadas, lo que indica que *T. evansi* no es una presa adecuada de este depredador y no permite el mantenimiento o crecimiento de sus poblaciones.

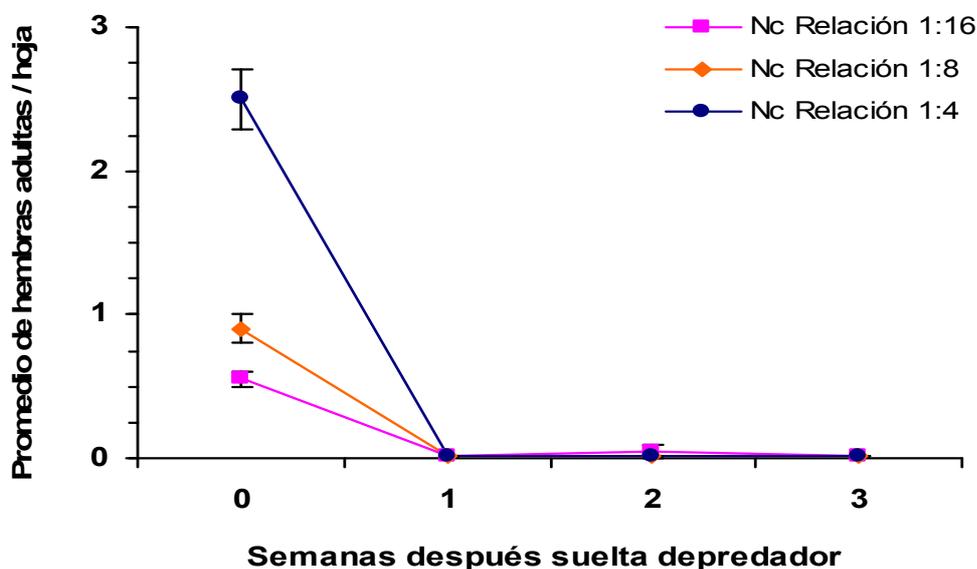


Fig. 3.13. Evolución poblacional de *Neoseiulus californicus* en plantas de patata infestadas con *Tetranychus evansi* en las relaciones depredador-presa 1:16, 1:8 y 1:4. Las barras en cada punto representan la desviación estándar de la media de 10 repeticiones. Nc: *N. californicus*.

### 3.2.3.3. Interacciones entre *Tetranychus evansi* y *Phytoseiulus persimilis*. Efecto de distintas relaciones depredador-presa

La evolución temporal de *T. evansi* en presencia de *P. persimilis* en plantas de patata se presenta en la Fig. 3.14. Al igual que lo observado en el ensayo de *N. californicus*, la población de la araña roja creció muy rápido y sin ningún tipo de control por parte del fitoseido.

En los tratamientos con *P. persimilis*, los valores medios de la población de *T. evansi* fueron de  $133,5 \pm 10,3$ ;  $176,7 \pm 17,0$  y  $140,1 \pm 13,6$  hembras/hoja, para las relaciones depredador presa 1:16; 1:8 y 1:4, respectivamente. Estos valores son semejantes a los obtenidos en el ensayo con *N. californicus* y más altos que el valor medio registrado en las plantas del testigo (Tabla 3.17). También se puede constatar que la relación 1:8 presentó valores más elevados, hasta el nivel de presentar diferencias significativas con el testigo al final del experimento ( $P < 0,05$ ;  $F = 2,89$ ; g.l.=3, 36).

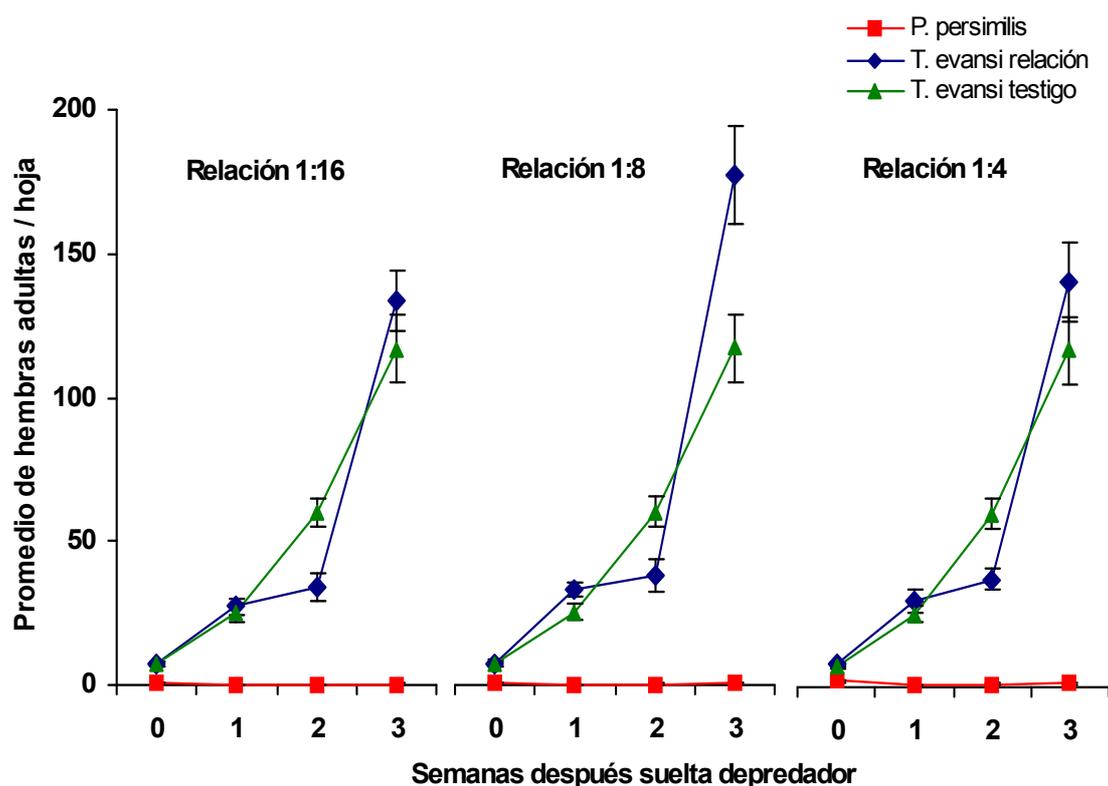


Fig. 3.14. Variación en el número de *Tetranychus evansi* y *Phytoseiulus persimilis* en plantas de patata en las relaciones depredador-presa 0:25 (testigo), 1:16, 1:8 y 1:4. Las barras en cada punto representan la desviación estándar de la media de 10 repeticiones.

Tabla 3.17. Número medio de hembras de *Tetranychus evansi* y efecto de diferentes relaciones depredador-presa con el fitoseido *P. persimilis* a lo largo del ensayo.

Tratamiento	Semana después suelta depredador			
	0	1	2	3
Testigo	7,6±0,7 <sup>1</sup> a <sup>2</sup>	25,3±3,0a	58,4±5,0a	116,8± 1,7b
Relación 1: 16	7,4±0,6a	27,2±2,7a	34,2±4,9a	133,5±10,3ab
Relación 1:8	7,6±0,9a	33,1±2,7a	38,0±5,9a	176,7±17,0a
Relación 1:4	8,3±0,7a	29,8±3,7a	37,5±4,0a	140,1±13,6ab

<sup>1</sup>Media ± desviación estándar de 10 repeticiones.

<sup>2</sup>Las medias seguidas de letras distintas difieren entre sí estadísticamente de forma significativa, según la prueba de Fisher (LSD) al nivel del 5%.

La Fig. 3.15, muestra la evolución de la población de *P. persimilis*, sin éxito para controlar a *T. evansi*, pues mantuvo una densidad poblacional muy por debajo de la población inicial, lo cual evidencia que esta presa tampoco es un alimento adecuado para este depredador.

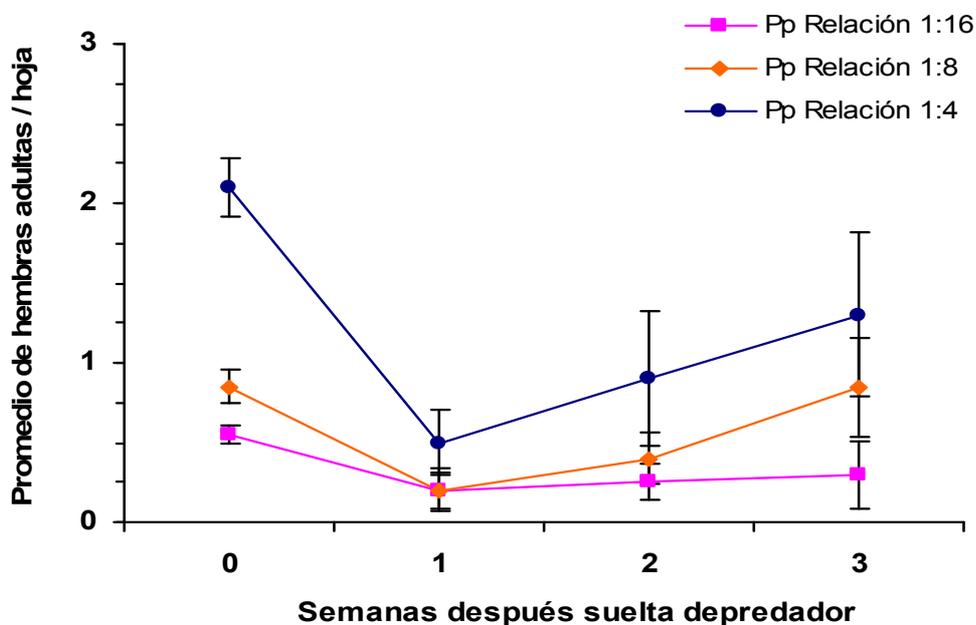


Fig. 3.15. Evolución poblacional de *Phytoseiulus persimilis* en plantas de patata infestadas con *Tetranychus evansi* de las relaciones depredador-presa 1:16, 1:8 y 1:4. Las barras en cada punto representan la desviación estándar de la media de 10 repeticiones. Pp: *P. persimilis*.

#### 3.2.3.4. Estimación del índice de daños producidos por *Tetranychus evansi*

El índice de daños de *T. evansi* en plantas de patata, con ausencia y presencia de *N. californicus* y *P. persimilis* se presenta en la Fig. 3.16. Se puede observar que los daños evolucionaron rápidamente a partir del establecimiento de los fitoseidos. Todos los tratamientos con y sin depredadores presentaron la misma tendencia.

En el caso de la suelta de *N. californicus*, a las dos semanas de iniciar el ensayo, en todos los tratamientos, las medias del índice de daños habían superado el índice 4, alcanzando el máximo valor una semana más tarde (Tabla 3.18).

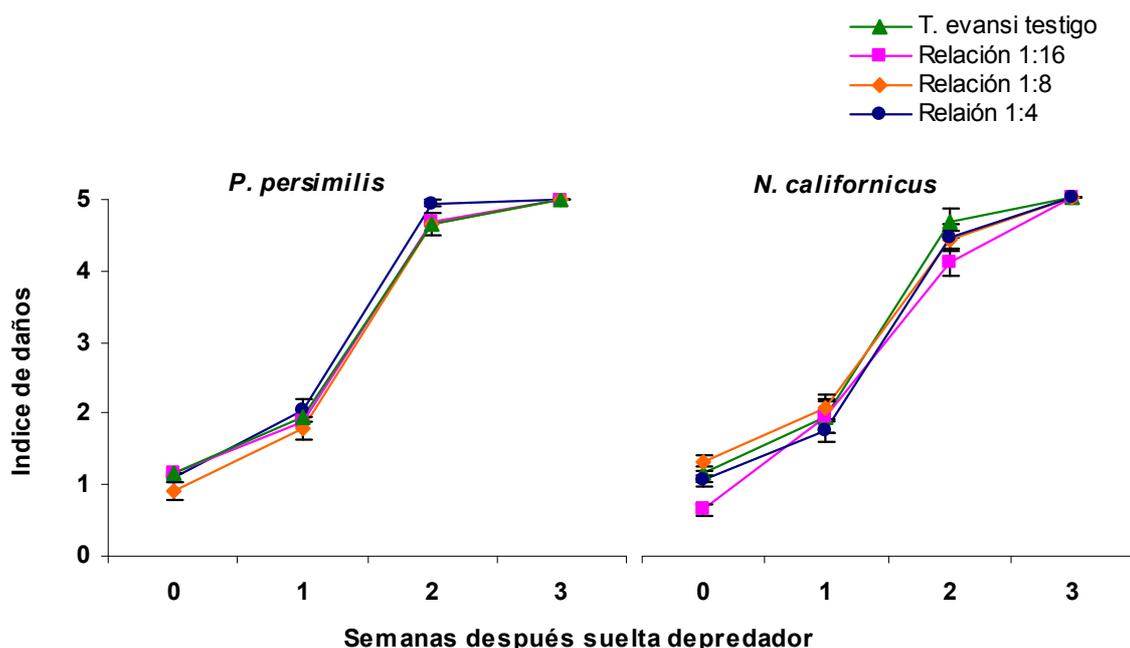


Fig. 3.16. Índice de daños producido por *Tetranychus evansi* en ausencia y presencia de *Neoseiulus californicus* y *Phytoseiulus persimilis* en plantas de patata, en las relaciones depredador-presa 0:25 (testigo), 1:16, 1:8 y 1:4. Las barras en cada punto representan la desviación estándar de la media de 10 repeticiones.

Tabla 3.18. Índice de daño de *Tetranychus evansi* y efecto de diferentes relaciones depredador-presa con el fitoseido *Neoseiulus californicus* a lo largo del ensayo.

Tratamiento	Semana después suelta depredador			
	0	1	2	3
Testigo	1,2±0,1 <sup>1</sup> a <sup>2</sup>	2,0±0,2a	4,7±0,2a	5,0
Relación 1: 16	0,7±0,1b	2,0±0,2a	4,1±0,2b	5,0
Relación 1:8	1,3±0,1a	2,1±0,2a	4,4±0,1ab	5,0
Relación 1:4	1,1±0,1a	1,8±0,2a	4,5±0,2ab	5,0

<sup>1</sup>Media ± desviación estándar de 10 repeticiones.

<sup>2</sup>Las medias seguidas de letras distintas difieren entre sí estadísticamente de forma significativa, según la prueba de Fisher (LSD) al nivel del 5%.

El índice de daño en los tratamientos donde se soltó *P. persimilis* no presentaron diferencias significativas entre sí ni con el testigo durante todo el ensayo, y alcanzó el nivel máximo tres semanas después de soltar los depredadores (Tabla 3.19).

Tabla 3.19. Índice de daño de *Tetranychus evansi* y efecto de diferentes relaciones depredador-presa con el fitoseido *Phytoseiulus persimilis* a lo largo del ensayo.

Tratamiento	Semana después suelta depredador			
	0	1	2	3
Testigo	1,2±0,1 <sup>1</sup> a <sup>2</sup>	2,0±0,2a	4,7±0,2a	5,0
Relación 1: 16	1,2±0,1a	1,9±0,1a	4,7±0,1a	5,0
Relación 1:8	0,9±0,1a	1,8±0,2a	4,7±0,2a	5,0
Relación 1:4	1,1±0,1a	2,1±0,2a	5,0a	5,0

<sup>1</sup>Media ± desviación estándar de 10 repeticiones.

<sup>2</sup>Las medias seguidas de letras distintas difieren entre sí estadísticamente de forma significativa, según la prueba de Fisher (LSD) al nivel del 5%.

### 3.2.4. Distribución vertical y desplazamiento de los ácaros en la planta

#### 3.2.4.1. Distribución vertical de los ácaros

Al evaluar la distribución vertical de los ácaros uniendo los datos de todas las observaciones realizadas, se pudo comprobar que en las plantas del testigo, el 76% de los individuos de *T. urticae* se encontraba en las hojas superiores. El comportamiento de *T. turkestanii* en las plantas del testigo fue similar. El 72% de sus individuos fue observado en las hojas superiores. Sin embargo, en *T. evansi* el 58% de la población permaneció en las hojas inferiores de la planta, el cual fue un patrón de distribución vertical diferente al de *T. urticae* y *T. turkestanii*. En este estudio, los datos indicaron que el movimiento de los ácaros en la planta se realizó de abajo a arriba, a medida que esta se fue desarrollando (Fig.3.17).

La distribución vertical de la presa fue alterada por la presencia del depredador en algunos casos. Cuando la relación depredador-presa fue *N. californicus* y *T. urticae*, la mayor parte de la población de esta araña roja se situaba en las hojas superiores (62%). Mientras que si el depredador era *P. persimilis*, aproximadamente la mitad de la población de *T. urticae* se encontraba en las hojas inferiores.

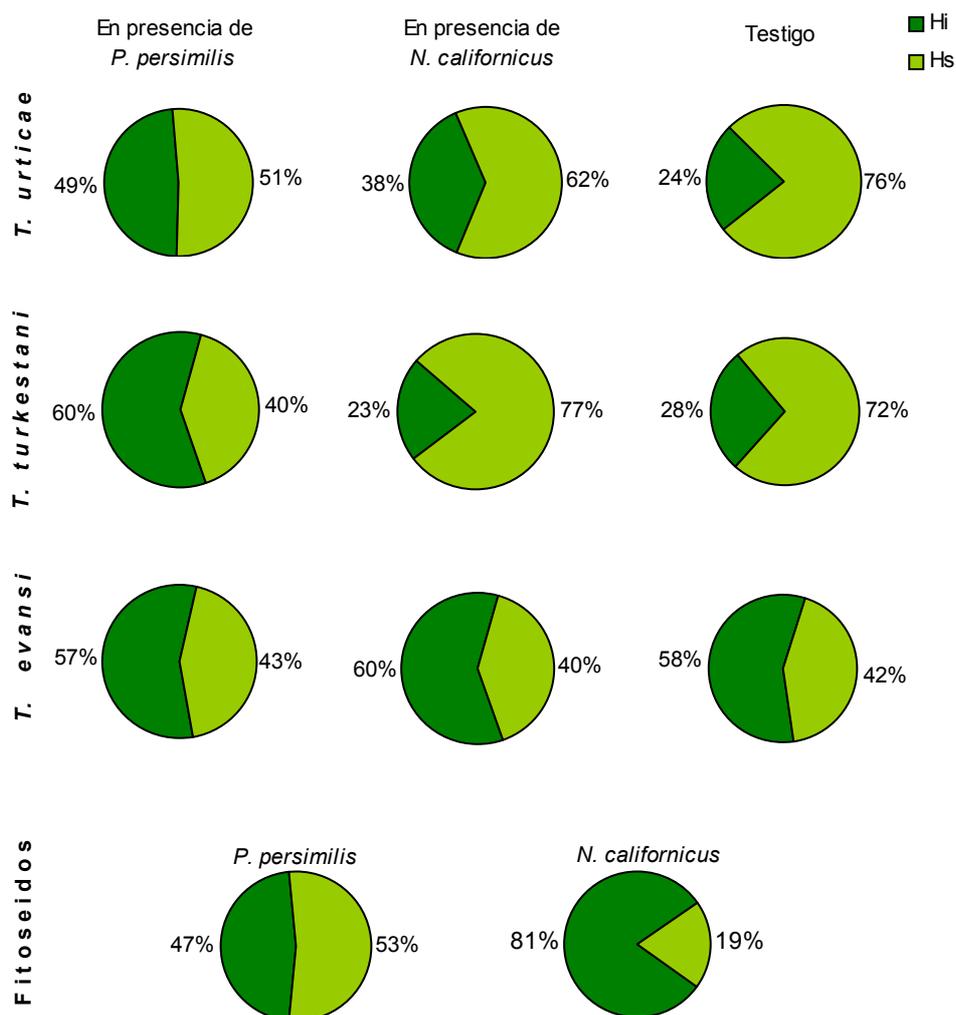


Figura 3.17. Distribución vertical de los fitoseidos y de las arañas rojas en las plantas del testigo y en las plantas con depredadores. No. de observaciones en cada caso: *Tetranychus urticae*: 80; *Tetranychus turkestanii*: 50; *Tetranychus evansi*: 40; *Phytoseiulus persimilis* y *Neoseiulus californicus*: 170.

Cuando la presa era *T. turkestanii* con *N. californicus* se observó una tendencia similar a la de *T. urticae* en presencia de ese mismo depredador, el 77% de la población de la presa *T. turkestanii* ocupaba las hojas superiores. Mientras que, con *P. persimilis* sólo un 40% de la población de esta araña roja ocupaba las hojas superiores. Un 11% menos que con *T. urticae*.

Según estos resultados, la presencia de *P. persimilis* modificó el patrón de distribución que *T. urticae* y *T. turkestanii* presentaron en las plantas del testigo, provocando que una mayor proporción de presas se mantuvieran en las

hojas inferiores, con un 25% más cuando la presa fue *T. urticae* y un 32% más en el caso de *T. turkestanii*. Sin embargo, cuando el depredador fue *N. californicus* la proporción de presas en las hojas inferiores en las plantas del testigo fue similar a la proporción de presas existentes en las plantas con depredadores. Esta similitud fue más estrecha con *T. turkestanii*, donde la diferencia en la proporción de presas en las hojas inferiores entre las plantas del testigo y las plantas con *N. californicus* fue de un 5%.

En los ensayos con *T. evansi* como presa, los fitoseidos *P. persimilis* y *N. californicus* no alteraron la distribución de esta araña roja en las plantas. Pues se encontraron proporciones semejantes en las plantas con depredadores y las del testigo. El 60% de la población de *T. evansi* se observó en las hojas inferiores de las plantas con *N. californicus*, con *P. persimilis* el 57%, y en el testigo un 58%.

En el caso de los fitoseidos la distribución vertical de los individuos ocurrió de forma diferente. El 81% de *N. californicus* fue observado en las hojas inferiores. En cambio, *P. persimilis* presentó una ligera tendencia a desplazarse hacia las hojas superiores, donde fue observado el 53% de los individuos.

#### **3.2.4.2. Desplazamiento temporal de los ácaros**

El desplazamiento de los ácaros durante los ensayos se muestra en la Figura 3.18, en la cual se presenta la distribución porcentual de individuos de cada especie en las hojas inferiores y superiores de la planta.

En el caso de las arañas rojas, la mayoría de los ácaros permaneció en las hojas inferiores durante la primera semana. Esta tendencia fue más notable en *T. urticae* y en *T. evansi* donde más del 90 y del 87%, respectivamente de sus individuos, permaneció en las hojas inferiores. Mientras, que en *T. turkestanii* en la primera el 30% de la población había pasado a las hojas superiores.

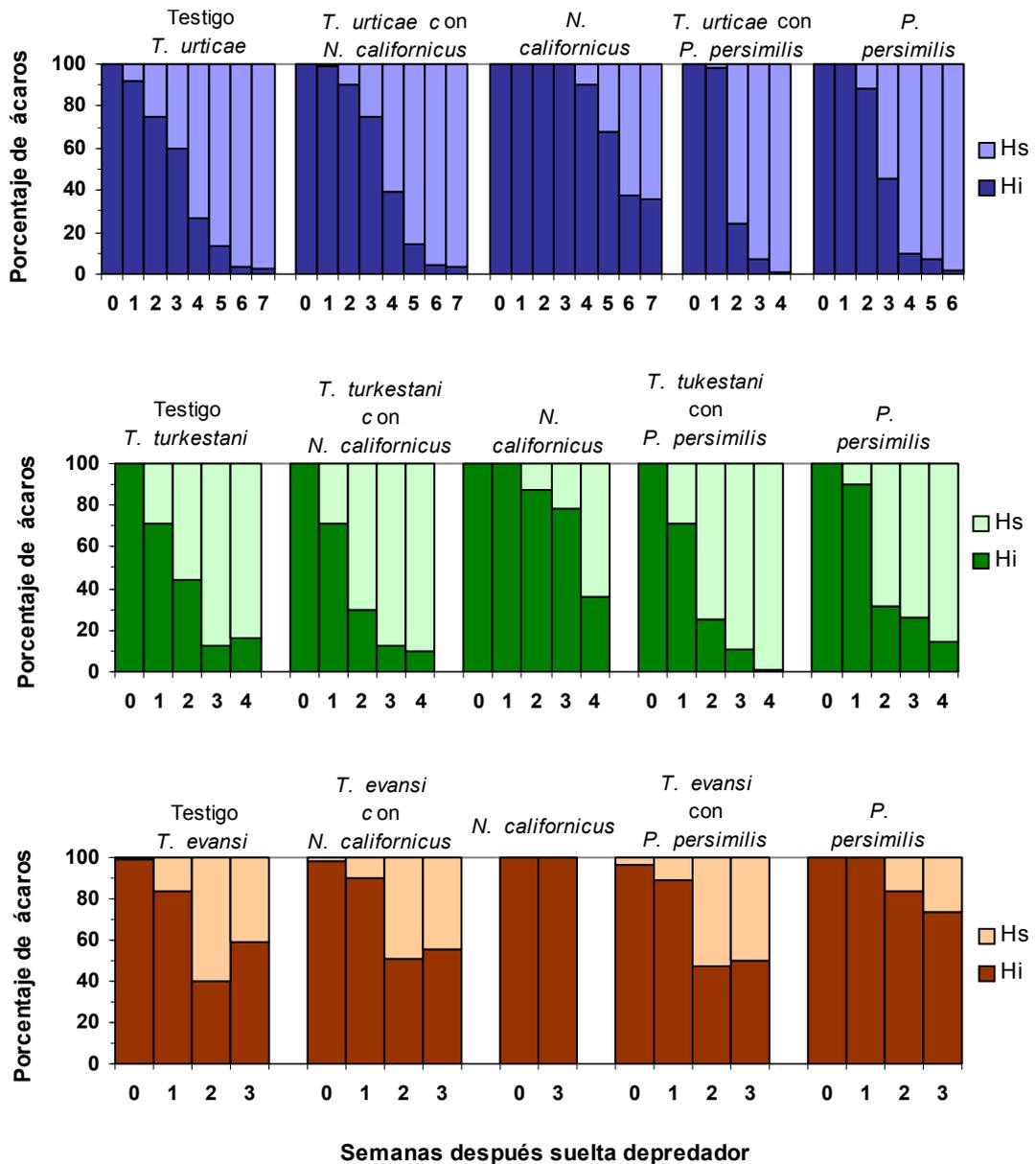


Figura 3.18. Desplazamiento temporal de los fitoseidos y de las arañas rojas en las plantas del testigo y en las plantas con depredadores. Valores medios de 10 repeticiones. Hi: hojas inferiores, Hs: hojas superiores.

A partir de la segunda semana después de la suelta de los depredadores, el desplazamiento de las arañas rojas hacia las hojas superiores fue mayor, con más del 50% en *T. turkestanii* y *T. evansi*, pero en una menor proporción en *T. urticae*, pues en ese momento, sólo el 25% de su población se había desplazado a las hojas superiores.

Para la tercera semana, la proporción del desplazamiento de *T. urticae* a las hojas superiores fue similar al de la semana anterior, aproximadamente un 15% de la población, por lo cual la población en las hojas inferiores aún se mantenía entorno del 60%. En cambio, ya en la cuarta semana el desplazamiento de *T. urticae* hacia las hojas superiores fue mayor, observándose más del 75%, el cual fue en aumento hasta casi desaparecer de las hojas inferiores de todos los tratamientos al final de los ensayos.

Por su parte, *T. turkestanii* a la tercera semana sólo mantenía alrededor del 18% de sus individuos en las hojas inferiores, porcentaje que continuó hasta al final de los ensayos a la semana siguiente, donde en todos los tratamientos la mayor proporción de los individuos de esta araña roja ocupaba las hojas superiores.

En este estudio la distribución vertical y temporal de *T. evansi* fue difícil de evaluar, porque el desplazamiento de esta araña roja a las hojas superiores fue muy rápido y agresivo, provocando una temprana defoliación en las hojas inferiores, obligando a sustituir éstas por hojas más jóvenes. En la primera semana hubo un movimiento de un 22% de la araña roja hacia las hojas superiores. En la segunda semana el 60 % de los individuos ya se había desplazado hacia las hojas superiores, por lo cual en la tercera semana todas las plantas estaban completamente ocupadas por los ácaros, imposibilitando el conteo.

Los fitoseidos, al igual que las arañas rojas, también presentaron una tendencia a moverse hacia las hojas superiores en el tiempo, pero la rapidez fue distinta en las dos especies. *P. persimilis* empezó a moverse de las hojas inferiores en la segunda semana tras la suelta en el ensayo con *T. urticae* e incluso antes en el ensayo con *T. turkestanii*, encontrándose entre el 15 y el 20% de los individuos en las hojas superiores. Posteriormente, el fitoseido continuó su desplazamiento hasta que al final de las experiencias con *T. turkestanii* y *T. urticae*, entre el 85 y el 95% de la población de *P. persimilis* fue observada en las hojas superiores, donde también se concentraba su presa.

El movimiento hacia arriba en *N. californicus* fue más lento y fue llevado a cabo por una menor proporción de la población. En las plantas con *T. urticae* no se observó dispersión hasta la cuarta semana. En las últimas dos semanas de evaluación cerca del 40% de la población de *N. californicus* ocupaba el nivel inferior de las plantas. Resultados similares se observaron con *T. turkestanii* al final de la experiencia, donde a las cuatro semanas, el 40 % de los especímenes de *N. californicus* permanecía en las hojas inferiores.

#### **3.2.4.3. Influencia de la densidad poblacional en la distribución vertical de los ácaros**

Para comprobar si la tendencia de los ácaros a agruparse en las hojas superiores depende de la densidad poblacional, el número de ácaros por hoja se clasificó en categorías según la densidad.

Al agrupar las poblaciones de *T. urticae* en cuatro categorías de densidad (Fig. 3.19), se pudo observar que en las plantas del testigo, el 75% de su población permaneció en los estratos inferiores a densidades menores de 25 ácaros/hoja. Mientras, que a densidades superiores se produjo un desplazamiento vertical, pues cuando las poblaciones sobrepasaron los 75 ácaros/hoja, el 100% de *T. urticae* ocupaba el estrato superior de la planta.

La distribución vertical de *T. turkestanii* en función de su densidad poblacional mostró un comportamiento diferente en las plantas del testigo. La mayor parte de los individuos permaneció en las hojas inferiores hasta que las densidades poblacionales fueron muy altas. Fue a partir de 75 ácaros/hoja que *T. turkestanii* se desplazó hacia las hojas superiores (Fig. 3.20).

Con *T. evansi*, los resultados fueron distintos al de las otras dos arañas rojas estudiadas. Entre el 40 y el 90% de los individuos de esta especie se concentró en las hojas inferiores de la planta en las distintas categorías de densidad de ácaros utilizadas, tanto en el testigo como donde se realizaron las sueltas de fitoseidos (Fig. 3.21).

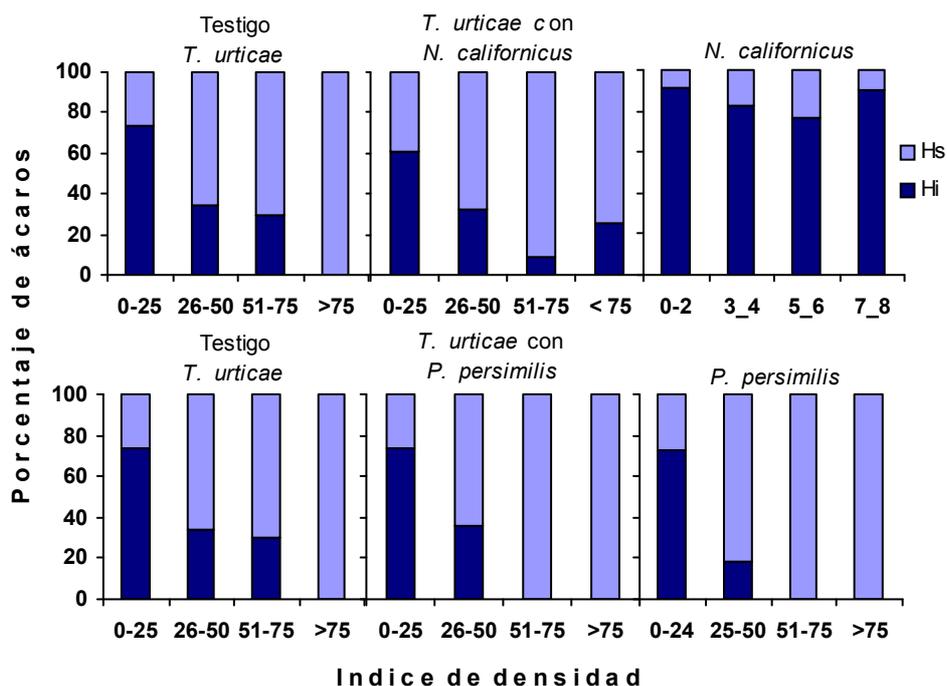


Figura 3.19. Distribución de *Tetranychus urticae* y los fitoseidos en las hojas superiores (Hi) e inferiores (Hs) de la planta según la densidad de ácaros en las hojas. El índice de densidad representa en categorías el número de hembras/hoja. Valores medios de 10 repeticiones.

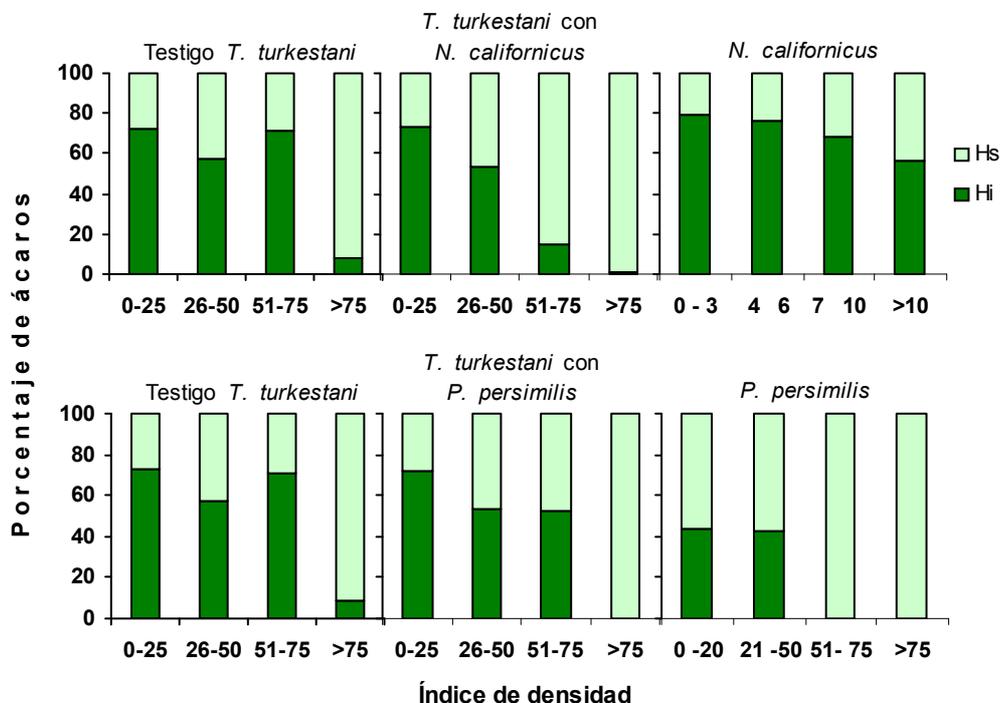


Figura 3.20. Distribución de *Tetranychus turkestanii* y los fitoseidos en las hojas superiores (Hs) e inferiores (Hi) de la planta según la densidad de ácaros en las hojas. El índice de densidad representa en categorías el número de ácaros/hoja. Valores medios de 10 repeticiones.

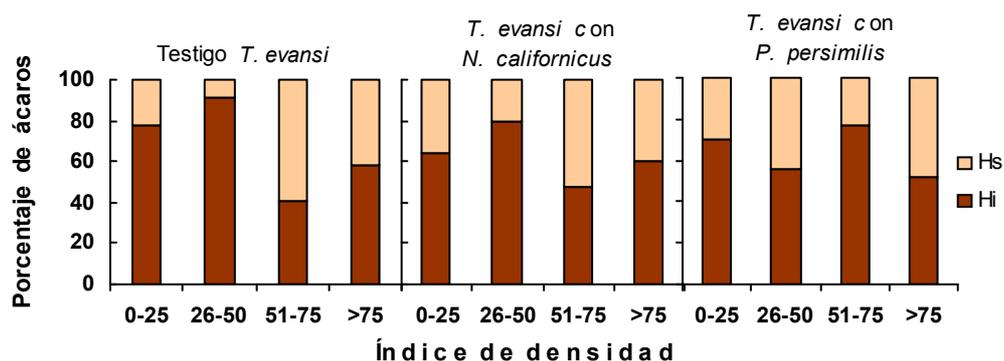


Figura 3.21. Distribución de *Tetranychus evansi* y los fitoseidos en las hojas superiores (Hs) e inferiores (Hi) de la planta según la densidad de ácaros en las hojas. El índice de densidad representa en categorías el número de ácaros por hoja. Valores medios de 10 repeticiones.

La presencia de los fitoseidos también pudo haber afectado la distribución de la presa según su densidad, como se puede observar en las figuras 3.19 y 3.20. En presencia de *P. persimilis* el movimiento hacia arriba de *T. urticae* y *T. turkestanii* se produjo a menores densidades de presa. Este comportamiento fue más evidente en el caso de *T. urticae* en presencia de *P. persimilis*, donde la población de la presa se concentró en las hojas superiores en densidades a partir de 50 ácaros/hoja. Los resultados obtenidos en la interacción entre *T. urticae* y *N. californicus* mostraron valores diferentes, con una desproporción en el desplazamiento.

Tanto con *P. persimilis* como con *N. californicus* las diferencias en el movimiento de *T. turkestanii* fue a altas densidades poblacionales, entre 51 y 75 ácaros/hoja. La respuesta de los dos fitoseidos a la distribución vertical dependiendo de la densidad poblacional fue diferente. *P. persimilis* tendió a desplazarse a las hojas superiores dependiendo de su propia densidad poblacional, todos los individuos se concentraron en el nivel superior cuando las densidades superaron los 50 depredadores/hoja en las plantas con *T. urticae* y *T. turkestanii*.

En cambio, la distribución vertical de *N. californicus* no se vió afectada por su densidad poblacional con *T. urticae* y apenas con *T. turkestanii*. Con *T. urticae* entre el 75 y el 90% de los especímenes de *N. californicus* permaneció en

las hojas inferiores a cualquier nivel de densidad poblacional. Mientras que con *T. turkestanii*, a medida que *N. californicus* aumentó su densidad, mostró una ligera tendencia a moverse hacia las hojas superiores.

### 3.2.5. Evolución de las relaciones depredador-presa durante los ensayos

La evolución de la relación entre el número de presas y depredadores en las hojas a lo largo de las experiencias muestra de forma gráfica (Figuras 3.22 y 3.23), la habilidad de los fitoseidos para controlar a su presa en las condiciones ensayadas. Esta relación fue comparada en cada fecha de muestreo con la relación inicial de suelta expresada como el número de presas por unidad de depredador.

El balance entre *T. urticae* y sus depredadores fue distinto según la especie de fitoseido (Fig. 3.22).

*N. californicus* no fue capaz de mantener o disminuir los niveles iniciales de suelta en el caso de altas relaciones depredador-presa, como 1:12 y 1:8. En estos ensayos la relación depredador-presa estuvo siempre por encima de la inicial, excepto en la segunda fecha de muestreo y, además, presentó una tendencia creciente a medida que avanzó el tiempo, hasta situarse en la séptima semana en 1:96 depredador-presas en la relación inicial 1:12 y 1:110 depredador-presas en la relación inicial 1:8. Únicamente en la relación 1:4, *N. californicus* conservó las proporciones depredador-presa más o menos similares a la inicial, oscilando por encima o por debajo de este valor a lo largo de las siete semanas hasta alcanzar un valor al final del experimento de 1:7,5 depredador-presas.

En cambio, *P. persimilis* mostró una gran capacidad para reducir los niveles iniciales de suelta y, además, fue capaz de hacerlo en las tres relaciones depredador-presa evaluadas y en un plazo de tiempo no superior a las tres semanas en las dosis de suelta más altas.

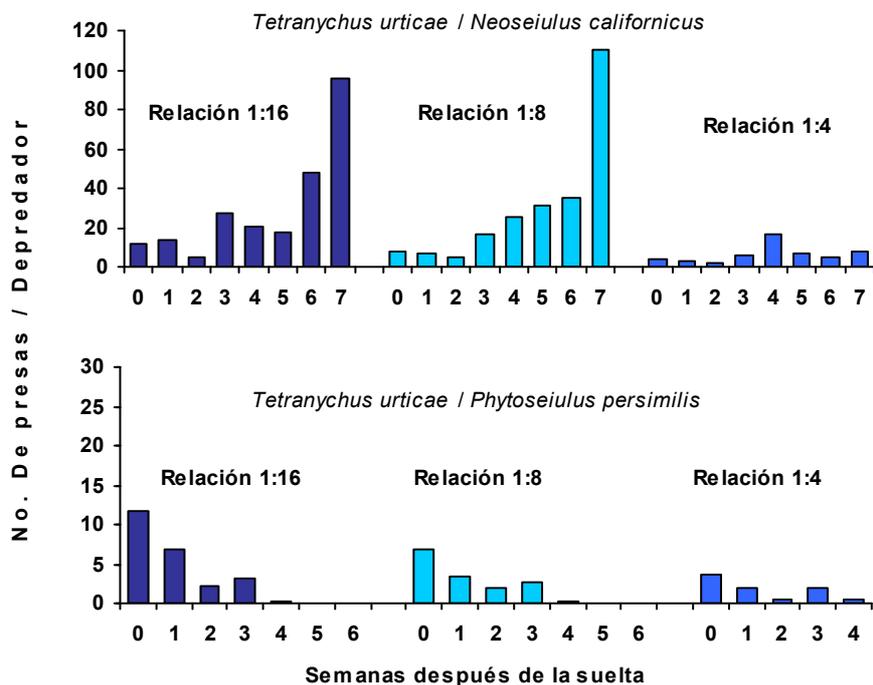


Figura 3.22. Evolución temporal de la relación depredador-presa en cada fecha de muestreo y su comparación con la dosis inicial de suelta de *Neoseiulus californicus* y *Phytoseiulus persimilis* alimentados con *Tetranychus urticae*. Valores medios de 10 repeticiones.

También en el caso de *T. turkestanii* la capacidad depredadora de los fitoseidos fue distinta según se trate de *N. californicus* o *P. persimilis* (Fig. 3.23).

*N. californicus* en presencia de *T. turkestanii* no mantuvo las dosis iniciales de suelta en los ensayos de 1:16 y 1:8, ya que el crecimiento de la presa no fue detenido por el fitoseido. Así, al final de estas experiencias, dichas relaciones alcanzaron los valores de 1:86 y 1:60 depredador-presas, respectivamente. Pero tampoco en la relación 1:4 este depredador fue capaz de mantener proporciones comparables a la inicial, ya que al final del ensayo, cuatro semanas después de la suelta de los depredadores, la relación 1:4 alcanzó la proporción de 1:24 depredador-presas, seis veces superior a la inicial.

Por el contrario, *P. persimilis* desarrolló sus poblaciones con la suficiente rapidez para detener el crecimiento de *T. turkestanii* y fue capaz de reducir su

población y eliminarla completamente de las plantas en dos o tres semanas, en las tres relaciones iniciales de suelta.

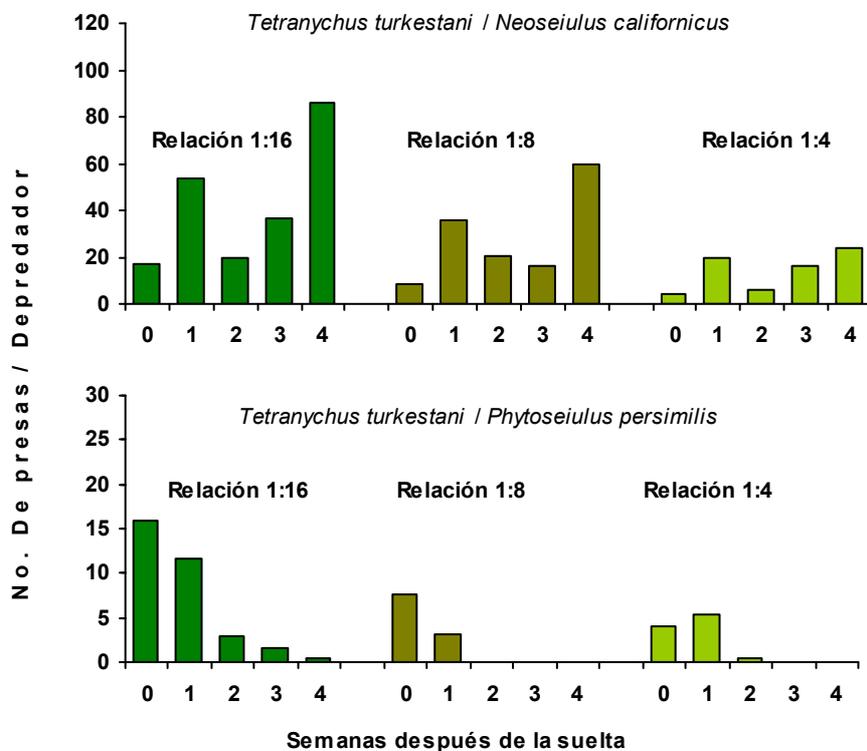


Figura 3.23. Evolución temporal de la relación depredador-presa en cada fecha de muestreo y su comparación con la dosis inicial de suelta de *Neoseiulus californicus* y *Phytoseiulus persimilis* alimentados con *Tetranychus turkestanii*. Valores medios de 10 repeticiones.

### **3.3. Simulación de la dinámica poblacional de los fitoseidos *Neoseiulus californicus* y *Phytoseiulus persimilis* con las presas *Tetranychus urticae* y *Tetranychus turkestanii***

A continuación son presentados los resultados de la simulación de la dinámica poblacional depredador-presa obtenida por el algoritmo de selección y usado para estimar el número mínimo de fitoseidos necesarios para controlar las poblaciones de *T. urticae* y *T. turkestanii*, con un nivel de daño aceptable.

#### **3.3.1. Simulación de la dinámica de los depredadores *Neoseiulus californicus* y *Phytoseiulus persimilis* con *Tetranychus urticae* como presa**

El valor de la tasa de crecimiento ( $\alpha$ ) de la población de *T. urticae* en ausencia de los fitoseidos fue de 0,0474, con una población inicial de 25 ácaros/planta. Al alimentarse de esta presa, la tasa de consumo ( $\beta$ ) y la tasa de crecimiento poblacional ( $\gamma$ ) de *N. californicus* fue de 0,0674 y de 0,0372, respectivamente. En tanto que *P. persimilis* obtuvo una tasa de consumo ( $\beta$ ) de 0,0643, con una tasa de crecimiento de población ( $\gamma$ ) de 0,1076, depredando a *T. urticae*.

En la Fig. 3.24 se observa el tiempo de extinción  $t_e$  de *T. urticae* en presencia de *N. californicus*. Considerando una población mínima del depredador de 4 ácaros/planta, se puede lograr la extinción de la presa en un tiempo finito de 280 días, habiendo alcanzado el fitófago una población máxima de  $10^5$  ácaros/planta (Fig. 3.25).

En la Fig. 3.26 se puede observar cómo la dinámica poblacional de la presa puede ser afectada por el aumento del nivel de suelta del depredador. A medida que se aumenta el número de *N. californicus* liberado, bajan la población máxima, el tiempo en que se logra la población máxima y el tiempo de extinción de *T. urticae*. Y por tanto, también disminuye el índice de daño alcanzado en el momento en que se alcanza la población máxima de la presa, el cual representa el daño que la plaga podría provocar en la planta. Suponiendo que se realiza una

suelta de 12 ácaros/planta del depredador se alcanzaría a los 10 días una población máxima de *T. urticae* de 29 ácaros/planta (Fig. 3.26). El tiempo de extinción de la plaga estaría entorno a los 37 días y el menor daño aceptable cerca del 27% (Fig. 3.27).

En el caso de *P. persimilis*, el número mínimo de depredadores capaces de provocar la extinción de *T. urticae*, en un tiempo finito, sería de 1 ácaro/planta y el tiempo de extinción de la presa de 53 días, alcanzando ésta la población máxima de 100 ácaros/planta a los 40 días (Figuras 3.28 y 3.29). Pero si realizamos una suelta de 8 ácaros/planta (Fig. 3.30), la presa alcanzaría una población máxima por debajo de los 30 ácaros/planta a los 10 días y se extinguiría a los 23 días después de la suelta del depredador, con un 15 % nivel de daño aceptable (Fig. 3.31).

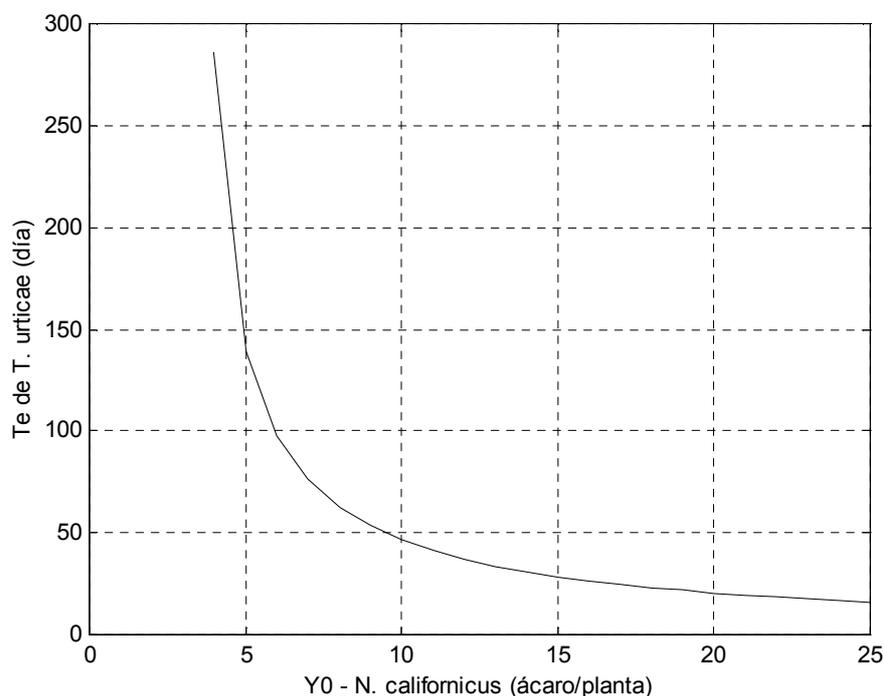


Fig. 3.24. Tiempo de extinción de *Tetranychus urticae* con *Neoseiulus californicus*.

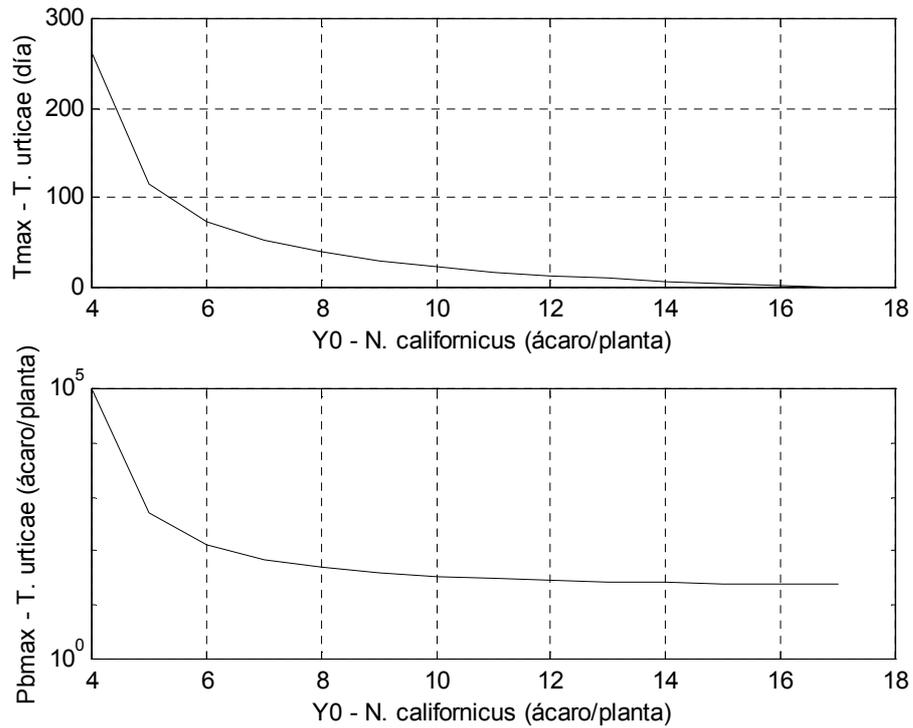


Fig. 3.25. Población máxima de *Tetranychus urticae* para una Y0 de *Neoseiulus californicus* alcanzada en un tiempo finito.

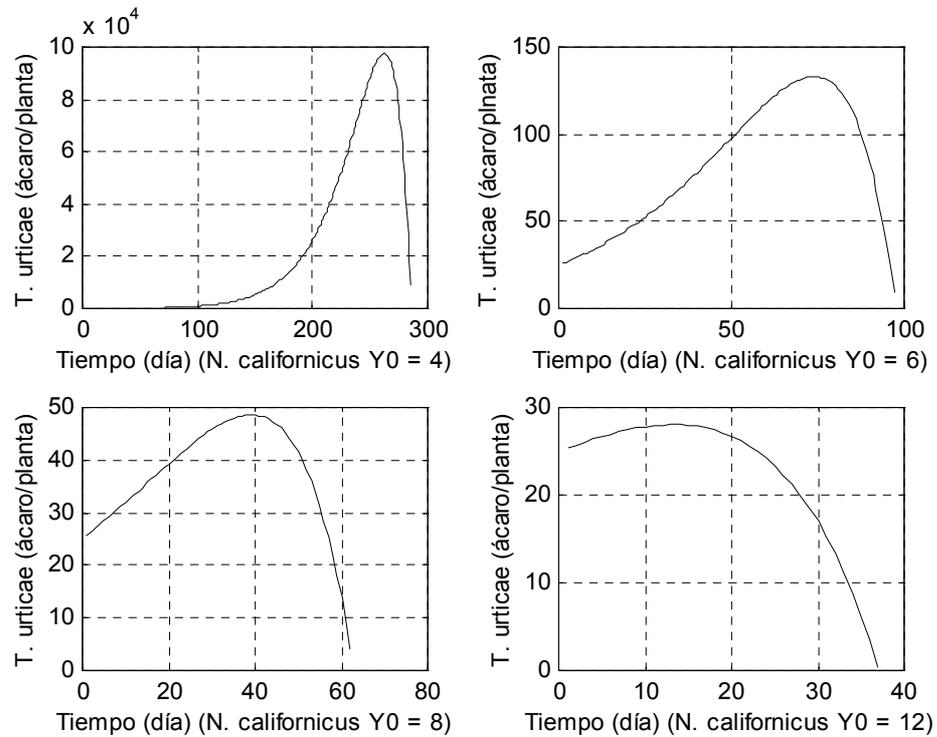


Fig. 3.26. Dinámica poblacional *Tetranychus urticae* para varios Y0 de *Neoseiulus californicus*.

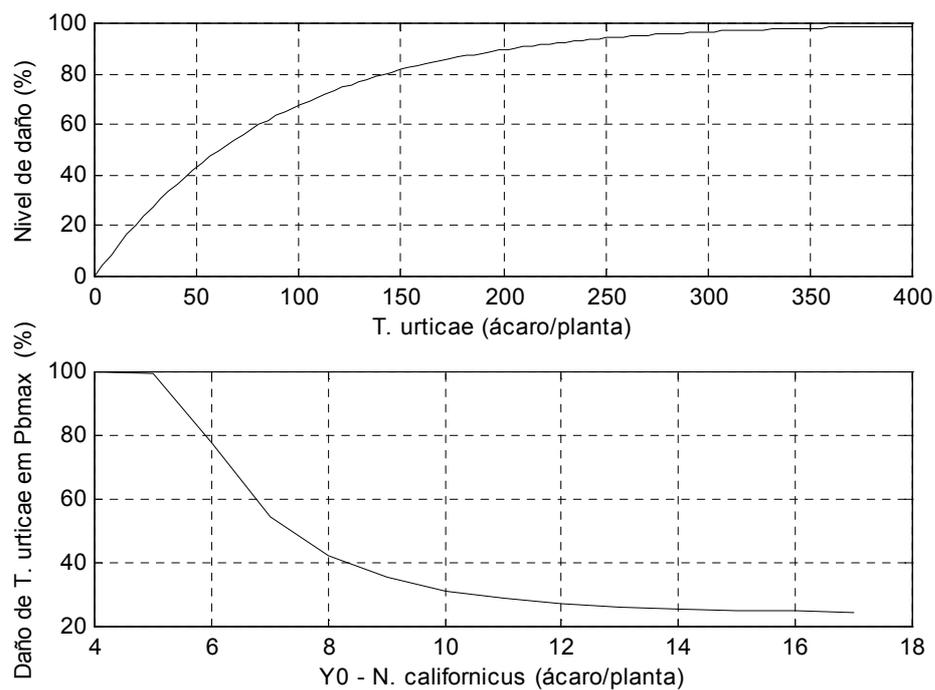


Fig. 3.27. Índice de daño de *Tetranychus urticae* cuando la población es máxima para varios Y0 de *Neoseiulus californicus*.

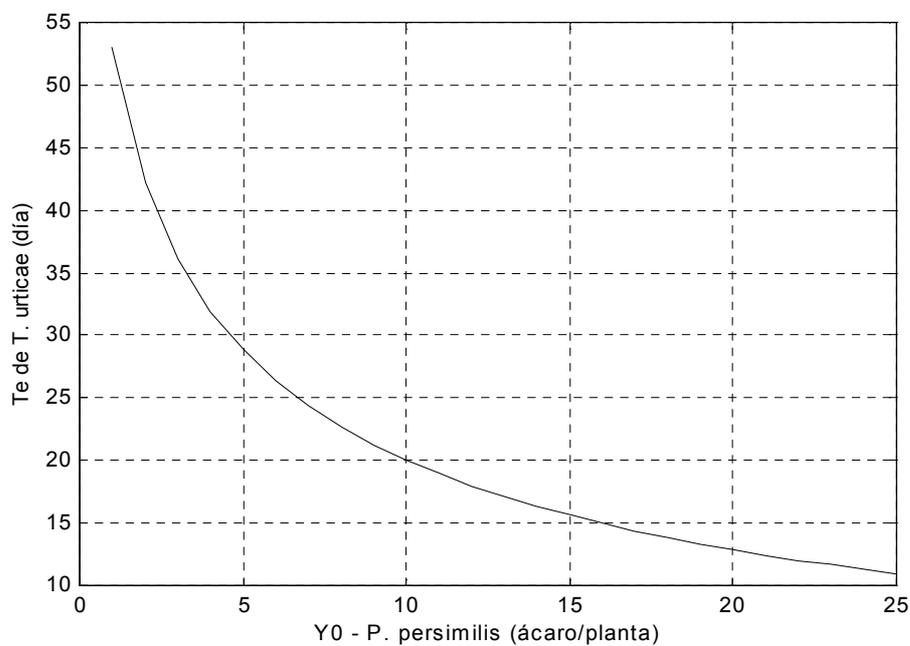


Fig. 3.28. Tiempo de extinción de *Tetranychus urticae* con *Phytoseiulus persimilis*.

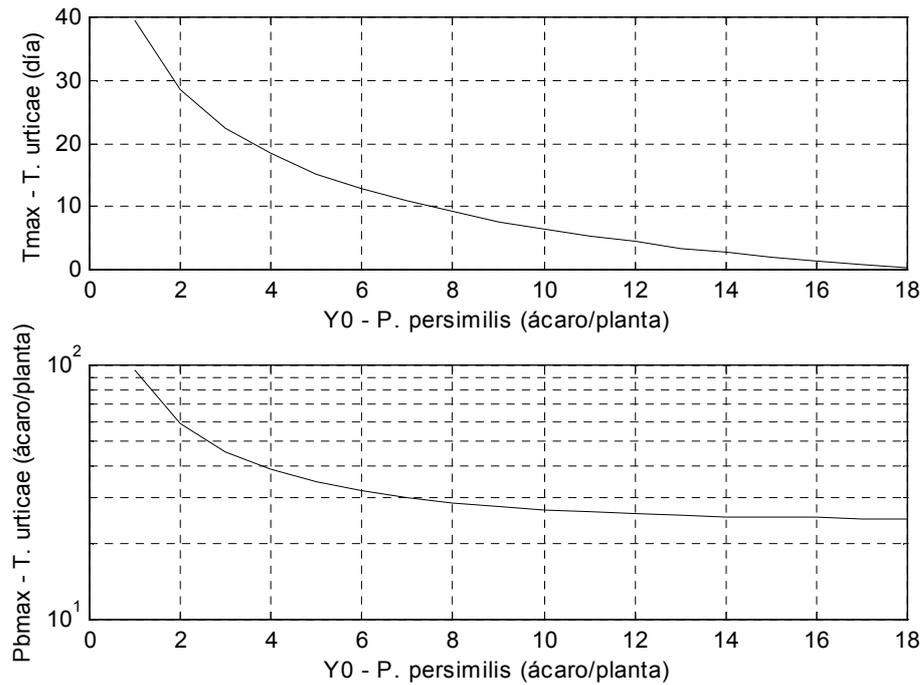


Fig. 3.29. Población máxima de *Tetranychus urticae* para una  $Y_0$  de *Phytoseiulus persimilis* alcanzada en un tiempo finito.

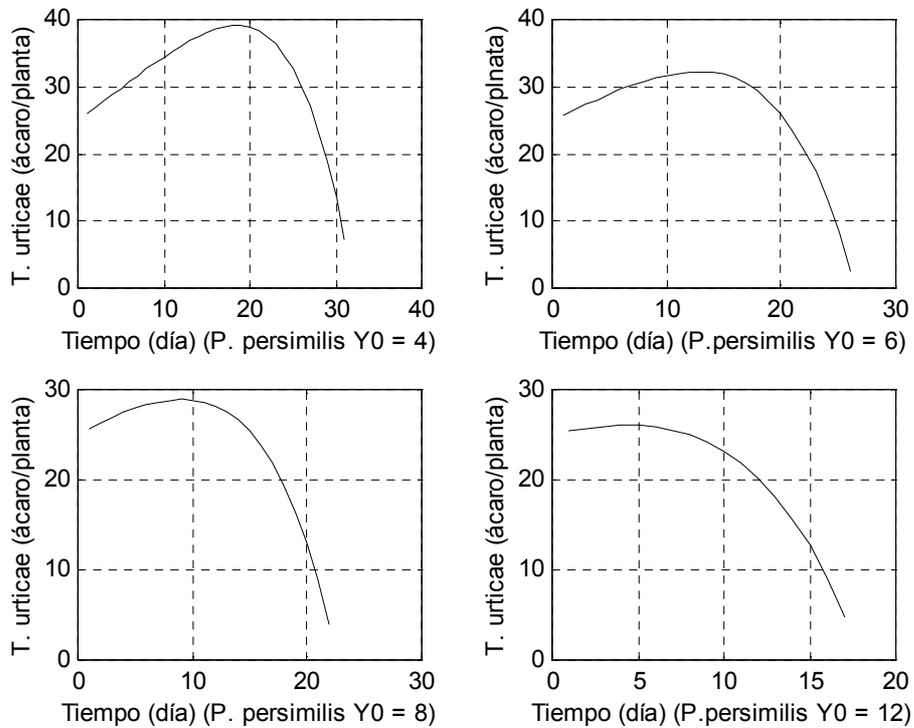


Fig. 3.30. Dinámica poblacional *Tetranychus urticae* para varios  $Y_0$  de *Phytoseiulus persimilis*.

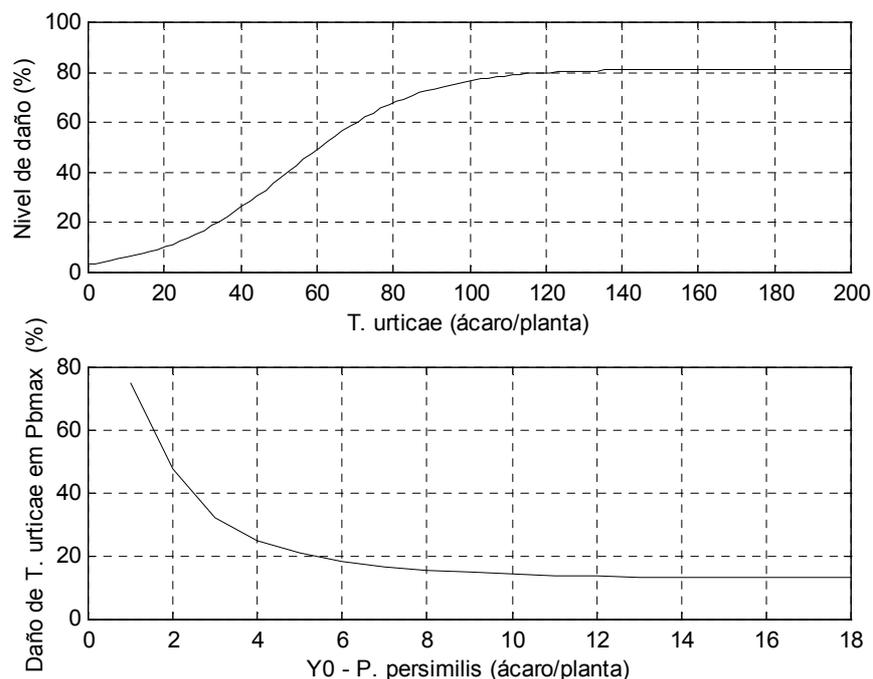


Fig. 3.31. Índice de daños de *Tetranychus urticae* cuando la población es máxima para varios  $Y_0$  de *Phytoseiulus persimilis*.

### 3.3.2. Simulación de la dinámica de los depredadores *Neoseiulus californicus* y *Phytoseiulus persimilis* con *Tetranychus turkestanii* como presa

En el caso de *T. turkestanii*, con una población inicial aproximada de 25 ácaros/planta, el valor de la tasa de crecimiento ( $\alpha$ ) de la población en ausencia de los fitoseidos fue de 0,1561. Teniendo como presa a esta araña roja, la tasa de consumo ( $\beta$ ) y la tasa de crecimiento poblacional ( $\gamma$ ) para *N. californicus* fueron de 0,1561 y 0,0547, respectivamente. Mientras que *P. persimilis* presentó una tasa de consumo ( $\beta$ ) de 0,2142 y una tasa de crecimiento de 0,1204.

*N. californicus* podría extinguir a *T. turkestanii* en un tiempo finito con un mínimo de 17 ácaros/planta a los 38 días (Fig. 3.32), alcanzando la presa una población máxima de 100 ácaros/planta, aproximadamente a los 29 días (Fig. 3.33). En el supuesto de que se realizara una suelta del depredador *N. californicus* de 20 ácaros/planta, la población máxima que alcanzaría la presa *T.*

*turkestani* estaría por debajo de los 30 ácaros/planta (Fig. 3.34). Este máximo poblacional ocurriría en torno de los 8 días después de la suelta del fitoseido y la extinción de la araña roja se daría alrededor de los 18 días. Todo ello con un daño mínimo entorno del 28 por ciento (Fig.3.35).

Con *P. persimilis* como depredador se podría extinguir esta plaga en un tiempo finito con una suelta de 5 depredadores por planta, a los 50 días después de la suelta del depredador (Fig. 3.36). La población máxima que alcanzaría *T. turkestani* estaría en torno de 1200 ácaros/planta a los 42 días después de la suelta (Fig. 3.37). Si la suelta inicial del depredador se aumenta a 12 ácaros/planta, la población máxima de la plaga no llegaría a los 30 ácaros/planta y esto ocurriría a los 5 días después de la suelta del depredador (Fig. 3.38). La plaga se extinguiría a los 11 días, provocando unos daños a la planta alrededor del 28% (Fig. 3.39).

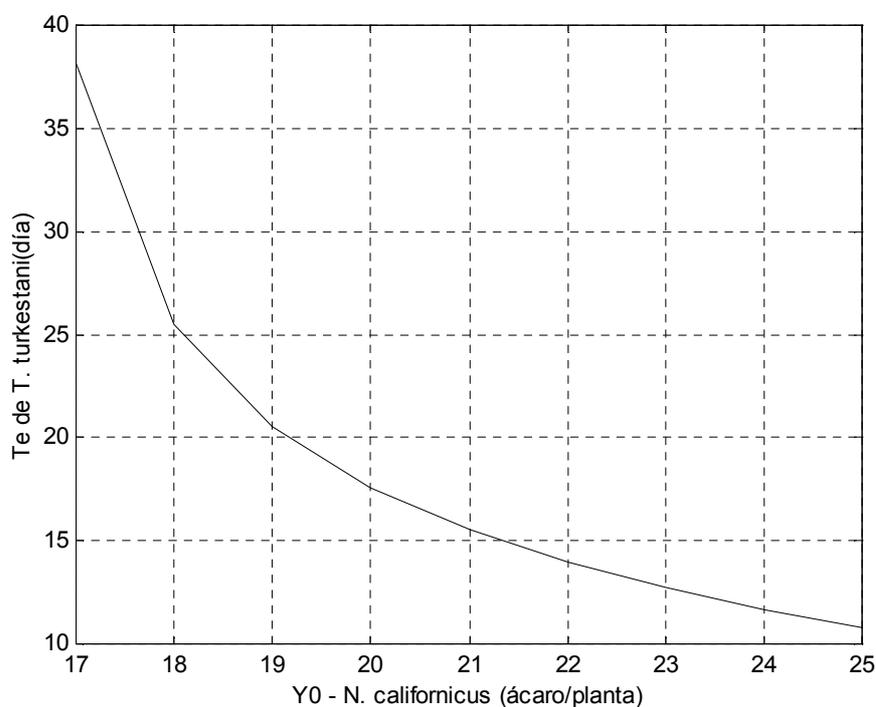


Fig. 3.32. Tiempo de extinción de *Tetranychus turkestani* con *N. eoseiulus californicus*.

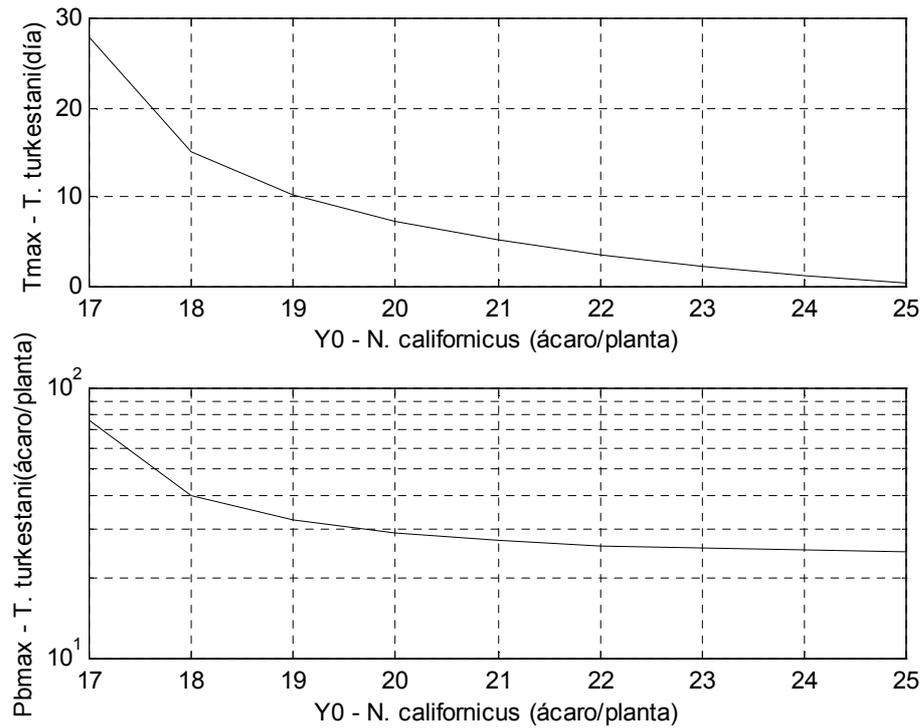


Fig. 3.33. Población máxima de *Tetranychus turkestani* para una Y0 de *Neoseiulus californicus* alcanzada en un tiempo finito.

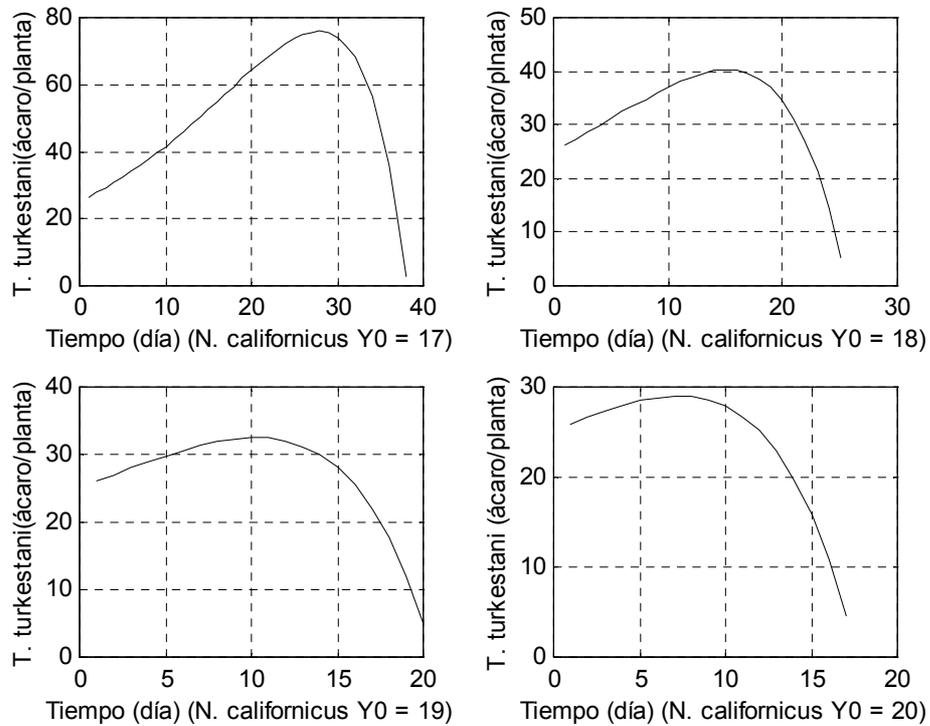


Fig. 3.34. Dinámica poblacional *Tetranychus turkestani* para varios Y0 de *Neoseiulus californicus*.

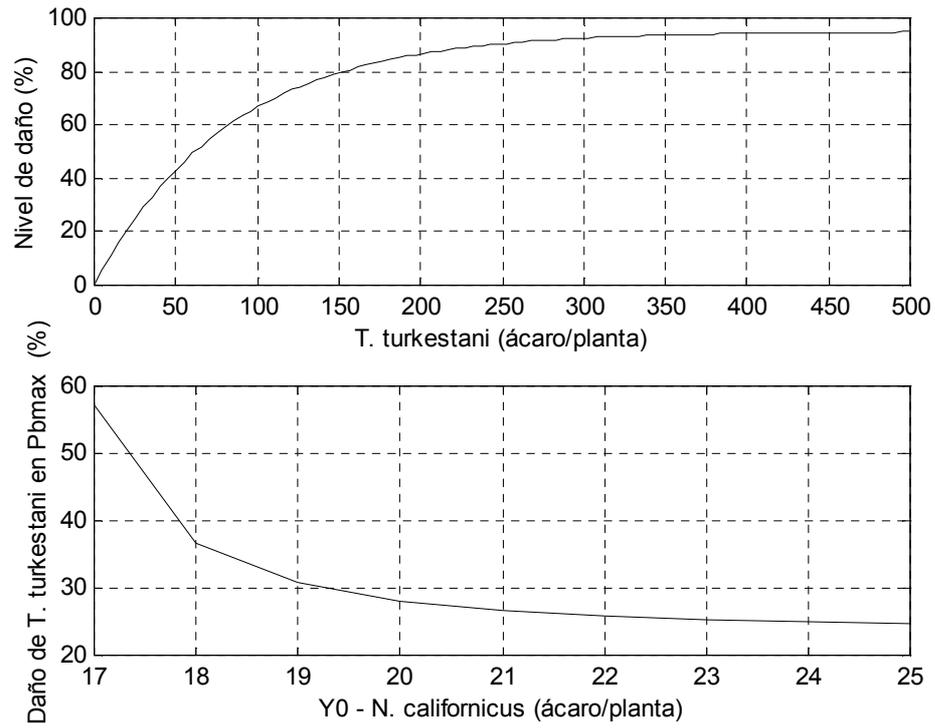


Fig. 3.35. Índice de daño de *Tetranychus turkestanii* cuando la población es máxima para varios Y0 de *Neoseiulus californicus*.

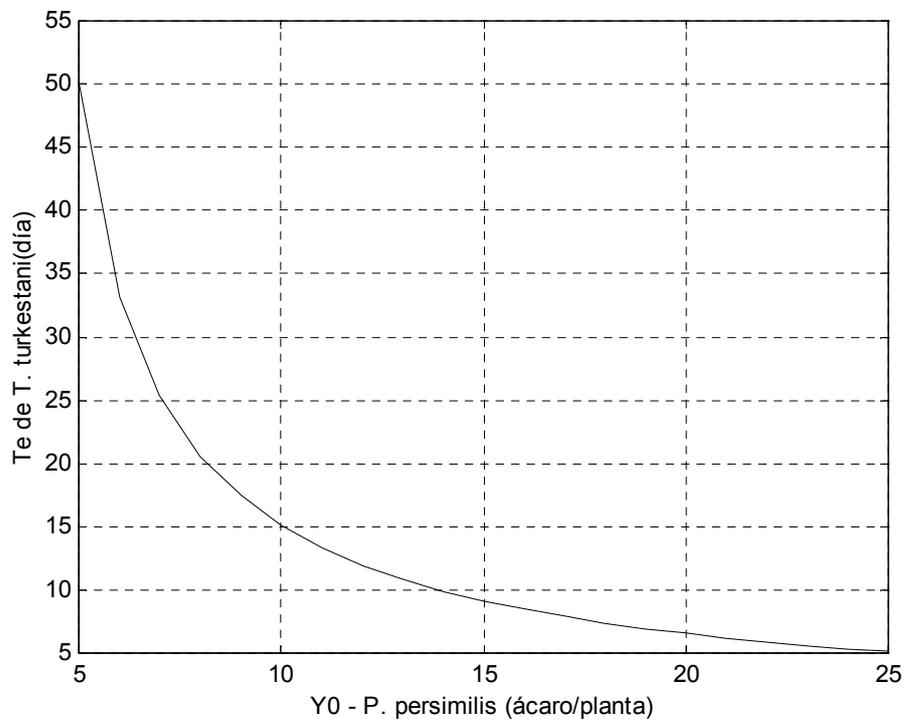


Fig. 3.36. Tiempo de extinción de *Tetranychus turkestanii* por *Phytoseiulus persimilis*.

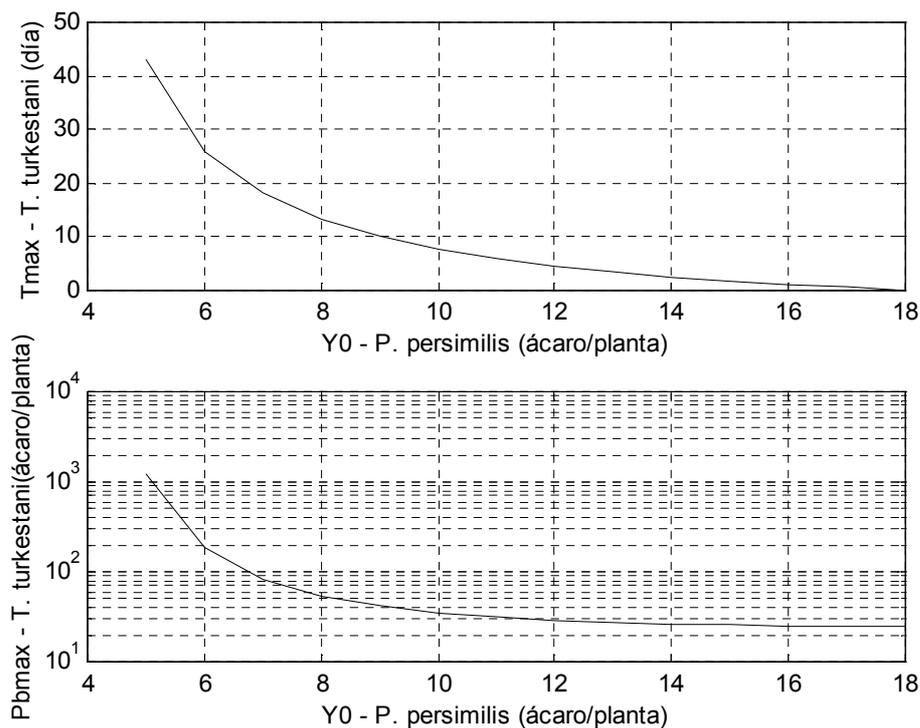


Fig. 3.37. Población máxima de *Tetranychus turkestanii* para una  $Y_0$  de *Phytoseiulus persimilis* alcanzada en un tiempo finito.

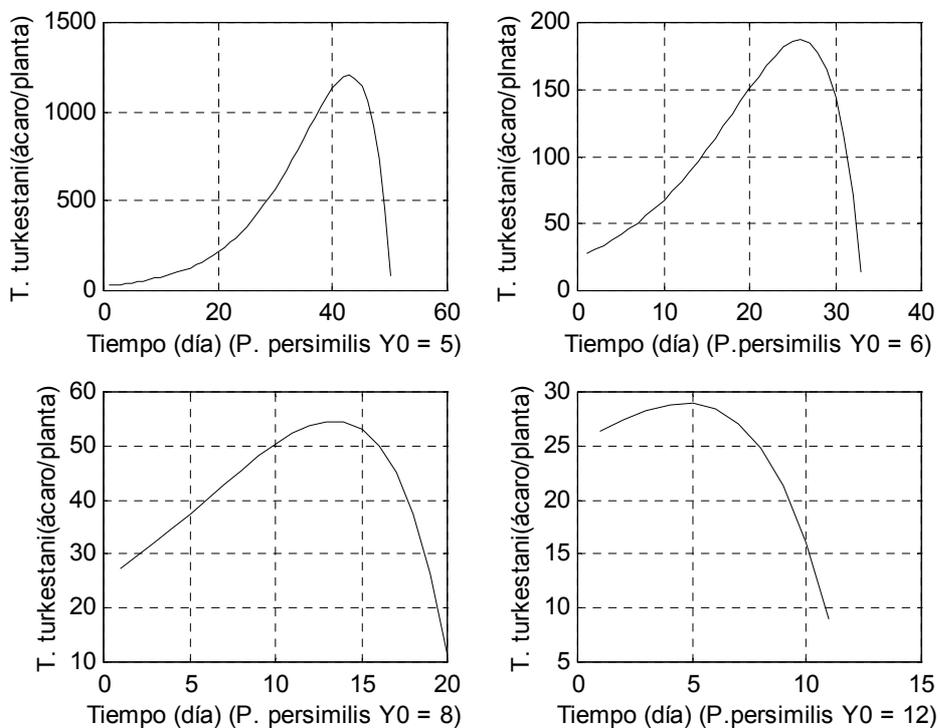


Fig. 3.38. Dinámica poblacional *Tetranychus turkestanii* para varios  $Y_0$  de *Phytoseiulus persimilis*.

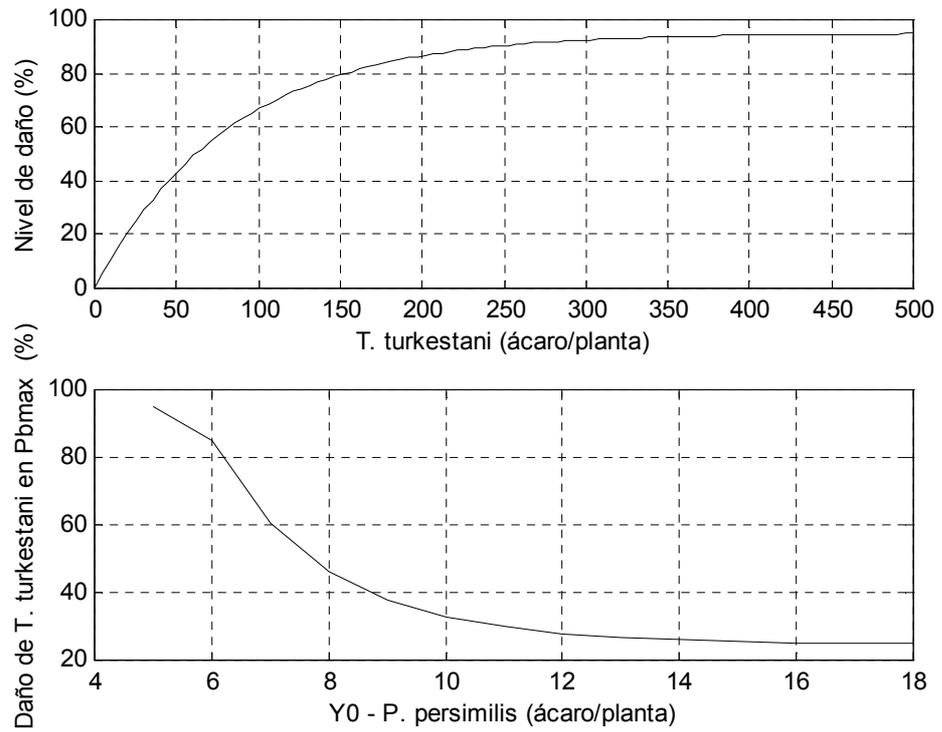
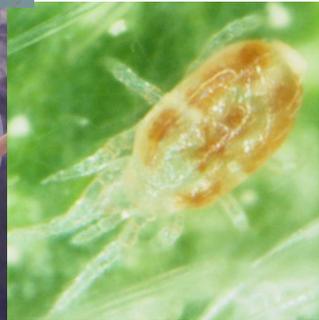


Fig. 3.39. Índice de daño de *Tetranychus turkestanii* cuando la población es máxima para varios Y0 de *Phytoseiulus persimilis*.



#### 4. DISCUSIÓN



## 4. DISCUSIÓN

### 4.1. Respuesta numérica potencial de *Neoseiulus californicus* y *Phytoseiulus persimilis* con *Tetranychus urticae* como alimento

Los resultados obtenidos en el estudio de laboratorio para determinar la idoneidad de las poblaciones autóctonas de *N. californicus* y *P. persimilis* cuando se alimentan de *T. urticae*, demuestran que los principales parámetros biológicos de estos depredadores alcanzan valores similares a los encontrados por otros autores al estudiar poblaciones de diferentes orígenes geográficos. También avalan su empleo en el control de esta plaga en condiciones mediterráneas.

El tiempo de desarrollo de huevo a adulto registrado en este ensayo a 23 °C para *N. californicus* fue superior en 1,76 días al obtenido por Mesa et al. (1990) a 25°C. Castagnoli y Simoni (1991) evaluando la influencia de la temperatura sobre la población de *N. californicus*, observaron que este período decrecía con el aumento de la temperatura. Sin embargo, las hembras de *P. persimilis* alcanzaron su desarrollo de huevo a adulto en 0,68 días menos que lo reportado por Amano y Chant (1977), a 23 °C, pero similar a lo observado por Badii y McMurtry (1984) a 25 °C. McMurtry, et al. (1970), señalaron que el tiempo de desarrollo de los fitoseidos depredadores de ácaros fitófagos está influenciado por muchos factores ambientales, como la temperatura, la densidad y el fotoperíodo.

En cuanto a la duración del desarrollo en hembras y machos, se pudo observar que en ambas especies, *N. californicus* y *P. persimilis*, la duración del tiempo de desarrollo de las hembras es similar al de los machos. Lo mismo fue registrado por Laing (1968) en *P. persimilis*, donde la hembra tuvo un tiempo de desarrollo de  $7,5 \pm 0,1$  y el macho de  $7,4 \pm 0,3$  a 20°C. Según Sabelis (1985a), en los fitoseidos por lo general, el periodo de huevo a adulto en los machos no es más corto que el de las hembras, como sucede en las arañas rojas. Sin embargo, Amano y Chant (1977), observaron que los machos tenían una cierta tendencia a desarrollarse más rápido que las hembras.

En el estado larval, ambos fitoseidos no se alimentaron de la presa; coincidiendo estas observaciones para el caso de *P. persimilis* con las realizadas por Laing (1968) y Gilstrap y Friese (1985), pero difiriendo con estos últimos autores en relación con *N. californicus*, quienes reportaron que las larvas de este depredador consumieron 1.1 huevos de *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) durante su desarrollo.

Los estados post-larvares, protoninfa y deutoninfa, son más móviles que las larvas porque tienen un par de patas extra, esto puede ayudar a encontrar alimento más rápido, lo cual es imprescindible para continuar su desarrollo (Sabelis, 1985b). En este estudio las hembras de *N. californicus* consumieron de media  $9,17 \pm 2,3$  huevos de *T. urticae*, aproximadamente 2,23 huevos menos que lo reportado por Gilstrap y Friese (1985), teniendo como presa *T. cinnabarinus*. Mientras que en *P. persimilis*, el consumo de las hembras de estos estados post-larvares fue de  $14,1 \pm 2,5$  huevos de *T. urticae*, similar a lo reportado por esos autores cuando fueron alimentadas con *T. cinnabarinus*.

En relación a la fecundidad, los valores obtenidos en este ensayo a 23 °C, difieren notablemente por los obtenidos por Escudero (1998), cuando los depredadores estudiados fueron alimentados con *T. urticae* a 25°C. Esta autora observó el pico máximo de fecundidad en ambas especies a los dos días de iniciar la puesta, alcanzando una tasa máxima de 3,15 de huevos/hembra /día para *N. californicus* y de 4,64 huevos /hembra /día para *P. persimilis*.

Asimismo, el tiempo de una generación reportado por Mesa et al. (1990) y Castagnoli y Simone (1991), para *N. californicus*, alimentado con *T. urticae* a 25 °C, fue superior en 3,35 y 4,53 días, respectivamente, al obtenido en este estudio a 23 °C. Sin embargo, la tasa de fecundidad máxima obtenida por *P. persimilis*  $4,43 \pm 0,33$  huevos/ hembra/ día en este ensayo fue superior en 1,74 y 1,52 huevos/ hembra/ día a la observada por Badii y McMurtry (1984) y Takahashi y Chant (1994), quienes utilizaron como presa a *Tetranychus pacificus* (McGregor).

Los valores de la tasa intrínseca de desarrollo  $r_m$  de los fitoseidos alimentados con esta presa son comparables a los obtenidos por otros autores en

condiciones similares de temperatura. La tasa intrínseca de crecimiento de *N. californicus* con *T. urticae* de 0,248 días<sup>-1</sup> fue similar a la obtenida por Castagnoli y Simoni (1991) de 0,259 día<sup>-1</sup> y Escudero y Ferragut (2005) de 0,260 días<sup>-1</sup>, superior a la de Renken y Pringle (1998) de 0,227 días<sup>-1</sup> y ligeramente inferior a la de Gotoh *et al.*, (2004), de 0,274 días<sup>-1</sup> y a la de Ma y Laing (1973) de 0,287 días<sup>-1</sup>. El valor de  $r_m$  para *P. persimilis* alimentado con *T. urticae* de 0,326 días<sup>-1</sup> fue menor de la reportada por Escudero y Ferragut (2005) de 0,373 días<sup>-1</sup>, pero mayor que la reportada por Laing (1968), de 0,219 días<sup>-1</sup>.

Con estos resultados no se pretende comparar la biología de *N. californicus* y *P. persimilis* para encontrar el mejor depredador que controle a la araña roja *T. urticae*. La eficacia en el control biológico de estos fitoseidos depende, además, de otros factores como la adaptación de la especie a las condiciones climáticas o de su comportamiento en condiciones de campo (Hussey y Scopes, 1985; Van der Blom, 2002).

## **4.2. Dinámica poblacional de *Neoseiulus californicus* y *Phytoseiulus persimilis* con las presas *Tetranychus urticae*, *Tetranychus turkestanii* y *Tetranychus evansi***

### **4.2.1. Eficacia de los depredadores**

Los resultados obtenidos mostraron diferencias en la eficacia de los fitoseidos en el control de las tres especies de arañas rojas en condiciones de invernadero.

*P. persimilis* resultó eficaz al eliminar completamente las poblaciones de *T. urticae* y *T. turkestanii*, reduciendo considerablemente su número a partir de la primera o segunda semana tras la suelta. Estos resultados fueron similares a los observados por Zhang y Sanderson (1995), estudiando la eficacia depredadora de *P. persimilis* sobre *T. urticae* en un cultivo de rosas; donde el depredador controló la plaga en cinco semanas luego de su introducción. En cambio, *N. californicus* no fue capaz de eliminar estas presas en el periodo de seguimiento poblacional. Aunque redujo las poblaciones de *T. urticae* y *T. turkestanii* por debajo de los niveles del testigo en la relación 1:4. Pero estos dos depredadores se mostraron incapaces de controlar o reducir las poblaciones de *T. evansi*.

La eficacia de los fitoseidos en el control de estas tres arañas rojas fue ensayada en condiciones de laboratorio por Escudero y Ferragut (2005) y Escudero *et al.*, (2005), quienes encontraron resultados similares a los obtenidos en este estudio a mayor escala. Poblaciones nativas de *N. californicus* y *P. persimilis* muestran un potencial biótico elevado cuando se alimentan de *T. urticae*, *T. turkestanii* y *T. ludeni*, en cambio sus parámetros demográficos son muy reducidos al alimentarse de *T. evansi*. Con esta presa la duración del desarrollo fue mayor, pero sobre todo la fecundidad muy escasa en comparación a la encontrada con los otros alimentos. La araña roja del tomate no es una presa adecuada para los fitoseidos, aparentemente debido a la pequeña ingesta de alimento que toman, por lo que algunos autores han sugerido que debe contener alguna sustancia con efecto inhibitor de la alimentación (Moraes y McMurtry, 1986).

En este estudio se ha analizado por separado la eficacia de *N. californicus* y *P. persimilis* sobre tres especies de presa. Sin embargo, desde hace unos años ambos depredadores se han utilizado en sueltas combinadas, en un intento de aprovechar las ventajas y minimizar los inconvenientes de su empleo por separado. Cada uno de los depredadores presenta una serie de características biológicas que les hace favorable para su empleo en el control de estas plagas. *P. persimilis* está especializado en alimentarse de arañas rojas productoras de tela (McMurtry y Croft, 1997) y entre sus características beneficiosas se encuentra una gran capacidad de consumo de presas, un corto tiempo de desarrollo hasta el estado adulto, una gran velocidad en la producción de descendientes y una notable capacidad de búsqueda de presas. Estas características le permiten reducir y eliminar las presas en un corto periodo de tiempo en cultivos comerciales. El aspecto desfavorable se encuentra en su incapacidad para mantenerse en ambientes con baja densidad de presas, debido a que no es capaz de consumir otras presas ni otros alimentos alternativos y necesita una densidad de araña roja moderada para su supervivencia. Por este motivo *P. persimilis* se emplea solo de forma “curativa”, cuando ya existen poblaciones de araña roja establecidas en los cultivos, aumentando así el riesgo de que ya hayan producido daños económicos en las plantas.

Por el contrario, *N. californicus* es un depredador más generalista, que tiene una menor respuesta numérica y funcional con la araña roja que *P. persimilis* (Friese y Gilstrap, 1982; Gilstrap y Friese, 1985). Sin embargo, tiene un régimen alimenticio más variado y, aunque tiene preferencia por las arañas rojas, puede sobrevivir comiendo distintas especies de insectos y ácaros y polen (Swirski *et al.*, 1970; Castagnoli y Falchini, 1993; Croft *et al.*, 1998). Además *N. californicus* parece ser más tolerante a los plaguicidas que *P. persimilis* (Croft *et al.*, 1976; Blümel, 1999; Sato *et al.* 2002; Tuesta, 2004), lo que resulta muy favorable para su supervivencia en cultivos comerciales en los que se aplica el control integrado de plagas.

La utilización combinada de un depredador especialista y uno generalista puede beneficiar el control de la plaga, produciendo un descenso brusco de sus poblaciones a corto plazo y el mantenimiento de densidades poblacionales muy

por debajo del umbral de daño a medio plazo. Por este motivo, las empresas comerciales han buscado complementar la acción de ambos depredadores mediante sueltas combinadas. A nivel de laboratorio se han estudiado, también, las interacciones que se producen entre las dos especies cuando coinciden en las mismas plantas. A corto plazo *P. persimilis* es claramente superior en su capacidad de búsqueda y en la competencia por el alimento, pero sale perjudicado en la depredación intragremial—depredación entre especies de depredadores, generalmente sobre huevos e inmaduros (Walter y Schausberger, 1999ab; Schausberger y Walter, 2001; Schausberger, 2003). *P. persimilis* domina en ambientes con altas poblaciones de araña roja, pero *N. californicus* lo desplaza a bajas densidades de presa y es la única especie que persiste de forma estable en estas condiciones (Walzer, *et al.*, 2001).

#### 4.2.2. Estimación del índice de daños

La magnitud de los daños depende de varios factores, principalmente de la especie de ácaro fitófago, de las condiciones de la planta hospedera, y sobre todo de la duración del tiempo de alimentación y de la densidad poblacional del fitófago. Papaioannou-Souliotis (1979), señaló que el efecto de *T. urticae* sobre la planta de judía, era una función de la población inicial que infesta las plantas. Nachman y Zemek (2002a), estudiando este efecto también relacionaron el índice de daño con la densidad poblacional, obteniendo una correlación positiva entre los dos parámetros. En este estudio se pudo confirmar que a medida que fue aumentando la densidad poblacional, tanto en el testigo como en las relaciones de suelta donde las poblaciones de *T. urticae*, *T. turkestanii* y *T. evansi* fueron elevadas, también el índice de daño fue en aumento, alcanzando valores cercano al máximo, o como en el caso de los tratamientos con *T. evansi*, donde en poco menos de tres semanas todos los tratamientos alcanzaron los máximos valores. Mientras que en el nivel de tratamiento 1:4 de *P. persimilis* con *T. urticae*, donde la presa fue diezmada por los fitoseidos, durante las siete semanas de estudios los valores del índice de daños estuvieron por debajo de la unidad.

En experiencias realizadas con *T. urticae* en judía, Sabelis (1981), estudiando la relación entre el daño en las hojas y el aumento de la densidad

poblacional, señala que la superficie ocupada por las colonias crece diez veces más rápido que el daño en las hojas. Por su parte, Sances *et al.* (1979ab), consideran que los daños y el lugar de ataque pueden ser distintos según la abundancia. Estos autores observaron que *T. urticae* en fresón con bajos niveles poblacionales provocó más daños en el mesófilo y menos en el parénquima, mientras que con altos niveles poblacionales el parénquima en empalizada fue el tejido más afectado.

En el presente estudio también se pudo observar que la severidad de los daños difiere con la especie. En las plantas de judía a la cuarta semana, el índice de daño en el testigo con *T. turkestanii*, promediaba 4,5. En tanto que con *T. urticae*, en ese período de tiempo era sólo de 2,6, teniendo que pasar tres semanas más para superar el índice 4. Probablemente esto es debido a que las colonias de *T. turkestanii* estaban concentradas en las nervaduras de las hojas, sobre todo en el envés, donde ocasionaron el mayor daño a la planta, provocando una defoliación más temprana. Igualmente se pudo observar que *T. turkestanii* no produce el típico daño de los puntos blanquecinos difusos que produce *T. urticae* en las plantas, más bien provoca unas manchas marrones herrumbosas. Estas características del ataque de *T. turkestanii*, también han sido reportadas en el cultivo de algodón (Western Regional Integrated Pest Management Project. 1984).

En el caso de *T. evansi*, donde el índice de daños a las tres semanas alcanzó el máximo nivel y la plaga ocupó toda la planta y como el ensayo se condujo en plantas de patatas no podemos realizar comparaciones con las otras dos especies de fitófagos estudiadas. Por lo tanto, es difícil de definir si esto ocurrió por la agresividad de la plaga o por la susceptibilidad del hospedero. Probablemente se deba por ambas causas, ya que *T. evansi* es fitófago de solanáceas (Moraes *et al.*, 1987), y posiblemente las plantas de patata sean un alimento adecuado para esta plaga, pues en el laboratorio pudimos observar que *T. evansi* eliminaba las plantas de patata más rápidamente que las plantas de *S. nigrum*, a las cuales no llegaba a secar totalmente (datos no publicados).

#### 4.2.3. Distribución vertical y movimiento de los ácaros en la planta

Los resultados obtenidos han puesto de manifiesto que las arañas rojas colonizan las hojas en las que se han colocado al inicio del ensayo y las hojas del mismo nivel en la planta antes de dispersarse hacia las hojas superiores. Al analizar los datos obtenidos de forma conjunta se observa que en este estudio el comportamiento de los ácaros fitófagos fue similar en los tratamientos testigos que en los tratamientos donde se realizaron las sueltas de los depredadores.

En unas experiencias comparables, Nachman (1981) estudió la distribución vertical de *T. urticae* y *P. persimilis* en plantas de pepino en invernaderos comerciales y encontró que el 21% de la araña roja se localizaba en las hojas inferiores de la planta, el 26% en las intermedias y el 53% en las superiores. En el caso de *P. persimilis* los resultados fueron 9% (hojas inferiores), 17% (intermedias) y 74% (superiores). Tanto en el depredador como en la presa encontró una respuesta geotáctica negativa cuando los ácaros cambiaban de hoja; es decir, el movimiento se producía hacia la parte superior de la planta. Estos resultados son congruentes con los obtenidos en este estudio, aunque en el trabajo de Nachman se tomaron hojas de tres alturas diferentes en la planta.

La mayor parte de los estudios sobre la dispersión vertical de los ácaros en campo se han realizado en plantaciones de lúpulo (*Humulus lupulus* L.) de Estados Unidos y el Reino Unido (Sites y Cone, 1985; Kazak *et al.*, 1995; Strong y Croft, 1995; Lilley *et al.*, 1999). En ellos se demostró que las poblaciones de *T. urticae* se mueven verticalmente según la época del año, permaneciendo en la parte baja de la planta en primavera y en la parte superior en verano. Posteriormente las hembras descienden para invernar a nivel del suelo. Kazak *et al.*, (1995) también observan cambios en la distribución vertical del fitoseido *Galendromus occidentalis* (Nesbitt), que permanece la mayor parte del tiempo en las hojas inferiores y sigue a *T. urticae* a sus lugares de hibernación. Por su parte, Strong y Croft (1995) demuestran que la dispersión vertical de los fitoseidos *G. occidentalis* y *Neoseiulus fallacis* (Garman) sigue las mismas pautas que la presa. Estudios recientes de Strong *et al.*, (1997, 1999) sugieren que la agregación espacial, la distribución y la dispersión de los fitoseidos son factores

clave en la eficacia de estos depredadores como agentes de control biológico de araña roja en lúpulo.

A la temperatura en que se han realizado la mayoría de los ensayos (invierno, primavera y principio del otoño) *T. urticae* y *T. turkestanii* permanecen en el nivel inferior de la planta unas dos semanas. Las causas del desplazamiento vertical hay que buscarlas en el deterioro de las hojas y en la necesidad de buscar hojas más jóvenes que les proporcionen alimento de mayor calidad. También la presencia de los depredadores pudo forzar a la presa a buscar partes de la planta libres de ellos. El comportamiento de *T. evansi* es distinto, ya que casi la mitad de la población permanece en las hojas inferiores al final de los ensayos. La comparación con las otras arañas rojas es difícil, en este caso se trata de plantas de patata que pueden proporcionar unas condiciones más favorables a la araña roja que la judía. Según Moraes *et al.* (1987), *T. evansi* muestra preferencia por las solanáceas. Por lo tanto, en presencia de un alimento más adecuado, la plaga provocó un deterioro más rápido de las hojas viejas y por ende su defoliación. Lo cual conllevaba a un cambio de hoja. Además, la escasa presencia de fitoseidos en estas hojas pudo influir en la menor dispersión vertical de *T. evansi*. La ineficacia y el escaso número de *N. californicus* y *P. persimilis* en los experimentos con *T. evansi*, no permitieron analizar con esta presa su desplazamiento temporal ni su comportamiento de dispersión en el interior de la planta.

La respuesta de los fitoseidos ha sido consecuente con su comportamiento alimenticio. *P. persimilis* se alimenta exclusivamente de arañas rojas y su capacidad de consumo en comparación a la de otros fitoseidos es elevada; por tanto, muestra una rápida respuesta, similar a la de sus presas y se desplaza a las hojas superiores siguiendo el alimento. En cambio, *N. californicus* puede sobrevivir con alimentos alternativos (Swiirskii *et al.*, 1970; Castagnoli y Falchini, 1993; Croft, *et al.*, 1998) y además su capacidad de consumo es más reducida, por lo que una parte significativa de la población permanece en las hojas inferiores varias semanas después de la suelta, a pesar de que la araña roja es muy escasa en este medio.

Estas diferencias en el comportamiento dispersivo dentro de la planta pueden haber influido en la distinta eficacia que los fitoseidos han mostrado en el control de estas presas en el invernadero. Como se ha comentado en puntos anteriores *P. persimilis* es capaz de eliminar completamente a *T. urticae* y *T. turkestanii* en dos o tres semanas tras la suelta y en los tres niveles depredador-presa ensayados. En cambio, *N. californicus* no puede exterminar a la presa y solo reduce sus poblaciones de forma significativa en relaciones depredador-presa de 1:4.

Se considera que el estudio de la dispersión vertical de los depredadores y las presas en las plantas es crucial para el desarrollo de una óptima estrategia de liberación de los fitoseidos (Lilley *et al.*, 1999). Estudios realizados con *P. persimilis* por 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 presa determinan la respuesta funcional del depredador. En plantas de porte bajo, como las hortícolas, 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. 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.

En cambio, sobre otro tipo de plantas y con depredadores que muestran una estrategia distinta las cosas son diferentes. Por ejemplo, en cítricos (plantas muy estables, ya que viven muchos años) y con fitoseidos polívoros como *Euseius stipulatus* (Athias-Henriot) es posible que se de un buen control de la plaga (en este caso el ácaro rojo *Panonychus citri* McGregor), aunque las distribuciones del depredador y la presa no coincidan espacialmente. Ferragut (1986) y García-Marí *et al.*, (1985) encontraron que el fitoseido permanece durante el día en las hojas del interior de la copa protegido de la luz y el calor,

mientras que la mayor parte de los ácaros rojos prefieren las hojas del exterior de la copa. Durante la noche los fitoseidos se desplazan a la periferia de la copa y buscan comida en las hojas desarrolladas de la última brotación, alimentándose en esos momentos de *P. citri* y ejerciendo un buen control de la plaga. Sin embargo, Villanueva y Childers (2005) no encuentran diferencias en la abundancia de fitoseidos en muestras tomadas a lo largo del día en parcelas de pomelo en Florida, y no pueden probar que la radiación solar favorezca la dispersión de los fitoseidos a las hojas del interior de la copa.

La distribución vertical de los ácaros estudiados y su tendencia a desplazarse a las hojas superiores de la planta está influida por su densidad poblacional y es densidad-dependiente en *T. urticae*, *T. turkestanii* y *P. persimilis* por encima de un determinado nivel de ácaros por hoja. En el trabajo mencionado anteriormente, Nachman (1981) observó en plantas de pepino que la distribución vertical de la araña roja *T. urticae* no está influida por su densidad poblacional, mientras que la de *P. persimilis* sí, ya que muestra una tendencia a concentrarse más en las hojas superiores a medida que su densidad poblacional aumenta.

Estos resultados son diferentes a los encontrados en esta tesis, ya que tanto *T. urticae* como *T. turkestanii* sí que muestran una tendencia a moverse hacia las hojas superiores con el aumento de la densidad. Sin embargo, hay que tener en cuenta la distinta escala espacial a la que Nachman (1981) realizó sus experiencias, en el interior de tres invernaderos de gran superficie con unas 300 plantas desarrolladas durante varios meses en cada uno de ellos, muy diferente a las plantas de pocas semanas de vida en las que se han realizado estos estudios y que pueden haber afectado al comportamiento dispersivo de las especies.

#### **3.2.4. Niveles de suelta de depredadores**

De los resultados obtenidos se desprende que la distinta eficacia de los fitoseidos tiene que ver con las dosis de suelta iniciales. *P. persimilis* es capaz de reducir y eliminar a *T. urticae* y *T. turkestanii* en las tres relaciones depredador-presa ensayadas. El incremento poblacional *P. persimilis* en los experimentos fue

considerable. Esto indica la gran capacidad depredadora del fitoseido que puede detener el crecimiento de poblaciones de araña roja. Independientemente de los crecimientos poblacionales, el periodo de tiempo estudiado fue suficiente para que el fitoseido en todos los niveles depredador-presa estudiados eliminara a la araña roja de las plantas. En cambio, *N. californicus* sólo reduce de forma significativa a *T. urticae* y *T. turkestanii* en la relación de un fitoseido por cada cuatro arañas rojas. Otras combinaciones con una mayor proporción de araña roja no permiten que el crecimiento del fitoseido sea capaz de contrarrestar al de sus presas.

No se han realizado en España estudios de la eficacia de liberaciones de estos fitoseidos en función de la relación inicial entre el número de depredadores y presas (García-Marí y González-Zamora, 1999). Sin embargo, las empresas productoras de enemigos naturales recomiendan para controlar *T. urticae* con *P. persimilis* y *N. californicus* unas dosis de suelta basadas en unidad de superficie. De 2 a 6 especímenes por m<sup>2</sup> para tratamientos curativos y preventivos bajos; en curativos altos de 20 a 50 ácaros por m<sup>2</sup> en intervalos de 7 a 21 días según recomendaciones de Koppert (2006). La empresa Syngenta Bioline (2006), recomienda de 5 a 10 ácaros por m<sup>2</sup>, llegando a 20 por m<sup>2</sup> cuando se aplica directamente sobre foco, o de 25 a 30 depredadores por m<sup>2</sup> cuando se trata de *N. californicus* aplicado en cultivo de rosas. Esta empresa recomienda distribuir la mezcla uniformemente sobre las hojas y aplicar mayor cantidad donde se observen colonias de arañas rojas establecidas.

En las relaciones depredador-presa las densidades poblacionales iniciales tienen unas consecuencias muy importantes en la dinámica del sistema (Shaw, 1985). El control de *T. urticae* que consiguen los fitoseidos depende, entre otros factores, de que exista una relación depredador-presa favorable para el depredador (Strong y Croft, 1995), por lo que es muy importante establecer un nivel inicial de ambos, o un nivel de suelta, que sea efectivo para el control de la plaga.

Diferentes relaciones entre *N. californicus* / *T. urticae* tienen efectos diferentes en la abundancia poblacional de la plaga. En general, una relación de

1/10 se ha considerado favorables en muchos cultivos (Croft y Hoyt, 1983; Wilson *et al.*, 1984; González-Zamora *et al.*, 1991; Strong y Croft, 1995). Según Greco *et al.*, (2005), relaciones de 1/5 reducen las poblaciones de la araña roja en fresón por debajo del umbral de daño económico con densidades poblacionales de 5 a 15 arañas rojas por hoja, en el plazo de una semana. Con relaciones de 1/7,5 a 1/15 la araña roja no supera el umbral de daño con niveles iniciales de 5 a 10 formas móviles por hoja. A mayores densidades iniciales, de 15 a 20 formas móviles por hoja, relaciones de 1/5 a 1/7,5 impiden, también, que la plaga alcance el valor umbral en el plazo de siete días.

En el caso del sistema *P. persimilis/T. urticae* se han propuesto relaciones iniciales entre 1/20 y 1/60 para un buen control (Janssen y Sabelis, 1992a). En geranio, Opit *et al.*, (2004) consiguen buenos controles de la plaga en proporciones entre 1/4 y 1/20, tanto a moderados como a altos niveles de infestación inicial de araña roja. Incluso con altas poblaciones de la plaga el depredador fue capaz de controlarla en 1-2 semanas y mantenerla a bajos niveles, lo que demuestra la utilidad de este fitoseido para controlar los focos iniciales de la araña roja. La relación de suelta de 1/4 redujo la población de la plaga a niveles similares a los conseguidos mediante una aplicación acaricida. Estas relaciones depredador-presa no solo frenaron el crecimiento de la plaga sino que redujeron notablemente el daño visible en la planta, lo cual es muy positivo, dada la importancia que el aspecto estético tiene en estos cultivos.

#### **4.3. Simulación de la dinámica poblacional de los fitoseidos *Neoseiulus californicus* y *Phytoseiulus persimilis* con las presas *Tetranychus urticae* y *Tetranychus turkestanii***

La utilización de ácaros fitófagos y depredadores para la modelización de la dinámica depredador-presa ha sido muy empleada, sobre todo en el campo de la ecología, dada la facilidad con que los ácaros se crían en laboratorio y la rapidez de sus generaciones. Sin embargo, en estos modelos, se han estudiado preferentemente otros aspectos de la interacción, como dispersión, densidad, distribución y persistencia en ambientes homogéneos y heterogéneos (Nachman 1981, Nachman 1998, Jansen y Sabelis, 1992b, Walde y Nachman 1999) e interacciones en sistemas tritróficos (Nachman y Zemek, 2002a, Nachman y Zemek, 2002b, Nachman y Zemek, 2003).

La simulación de la dinámica poblacional de *N. californicus* y *P. persimilis* frente a *T. urticae* y *T. turkestanii*, nos permitió estimar parámetros difícilmente cuantificables en el trabajo experimental, tales como el número mínimo de depredadores capaces de provocar la extinción de la presa en un tiempo finito, la población máxima de la presa en la planta, el momento en que la presa alcanza su población máxima y el porcentaje de daño mínimo en la planta. Estos datos son valiosos para diseñar una estrategia en el control biológico de ácaros fitófagos en un invernadero si tomamos en cuenta los tres objetivos principales del uso óptimo de los fitoseidos: 1) mantener la población de la plaga por debajo del nivel de daño económico; 2) minimizar la necesidad de vigilar los cultivos en orden de detectar focos en fase temprana, y 3) minimizar los costos de compra y suelta de los fitoseidos (Rabbinge, 1985, Nachman, 1988).

Según Weihrach (2004), el umbral económico de daño de *T. urticae* en lúpulo es de 2,2; similar a lo reportado por Scope (1985), de 1,9 en plantas de pepino, bajo el cual puede ocurrir pérdida de producción. Donde un índice de 2,5 puede causar una pérdida de 40% después de la quinta semana, con una tasa máxima de incremento de daño de 1,0 en 12 días. Mientras que en tomate, el umbral económico de daño es de 2,0, semejante al de pepino, equivalente a más o menos el 30% del área fotosintética, donde pueden ocurrir pérdidas iniciales de producción; siendo la tasa máxima de incremento de daño observada de 2,7 en

16 días. Este mismo autor señala que es interesante notar que la tasa de incremento de daño de *T. urticae* es similar en tomate y pepino, mientras la temperatura media de crecimiento es de 16 y 21°C, respectivamente. Aunque la judía crece en un rango de temperatura muy variable, de 15 a 35°C (Adsule et al., 2004), probablemente el umbral económico de daño de *T. urticae* en judía esta próximo a los valores encontrados por dichos autores en lúpulo, pepino y tomate.

Por lo tanto, en este estudio para elegir la dosis mínima de suelta (Y0: ácaro por planta), de los fitoseidos *N. californicus* y *P. persimilis* que controle adecuadamente sus presas *T. urticae* y *T. turkestani* basándonos en la simulación de su dinámica poblacional, hemos dado por supuesto que los daños en la planta no deben sobrepasar el 30 %. Pero además, en cualquiera de los casos, si decidimos realizar una suelta de *N. californicus* o *P. persimilis*, indudablemente que tendríamos que considerar cuál dosis sería la más adecuada para la especie de tetrániquido en cuestión. Pues como se pudo observar los daños provocados por *T. turkestani* en las plantas de judía fueron más agresivos y causaron una defoliación más rápida que *T. urticae*.

La simulación de la dinámica poblacional de *N. californicus* en presencia de *T. urticae* nos revela que la dosis mínima de suelta del depredador frente a esta plaga podría ser de 12 ácaros/planta, pues el nivel de daños estaría en torno del 27%, con una población máxima de la presa de 29 ácaros/planta, alcanzada entorno de las dos semanas después de la suelta del depredador. Mientras que frente a *T. turkestani*, la dosis mínima de suelta de *N. californicus* fue estimada en 20 ácaros/planta, con una población máxima del fitófago de 29 ácaros y el índice de daño entorno del 28 %.

Para el caso de *P. persimilis* con *T. urticae*, la dosis más adecuada andaría entorno de 6 a 8 ácaros/planta, ya que la población máxima del fitófago estaría entre los 32 y 28 ácaros/planta, respectivamente, la cual se alcanzaría antes de la tercera semana después de la suelta de los depredadores y el nivel de daños estarían entre el 18 y el 15 %. En presencia de *T. turkestani*, la dosis mínima de suelta de *P. persimilis* sería de 12 ácaros/planta. Con estas

cantidades de suelta del depredador la población máxima de este fitófago sería respectivamente de 29 ácaros/planta, alcanzada entre los 5 días después de la suelta del depredador, pero los daños en la planta serían de 28%, aproximadamente.

El análisis de las simulaciones realizadas permitió validar el modelo, ya que hubo una coherencia entre las predicciones del modelo y los resultados experimentales obtenidos en los ensayos de invernadero. Con cada dosis sugerida por la simulación de los datos obtenidos en los sistemas depredador-presa: *N. californicus* / *T. urticae* o *T. turkestanii* y *P. persimilis* / *T. urticae* o *T. turkestanii*, se podría dar con una solución apropiada para cumplir con los objetivos señalados por Rabbinge (1985) y Nachman (1988) en el uso de los fitoseidos como controladores biológicos de las arañas rojas. Pero es necesaria su verificación en parcelas comerciales y comprobar si existe similitud entre los datos previstos por el modelo y los obtenidos experimentalmente, donde no sólo se estudiaría la dinámica poblacional del sistema depredador-presa, sino también se evaluarían sus efectos sobre la cosecha y por ende en los costes de producción, con lo cual se podría determinar el umbral económico de daño de estas dos plagas sobre el cultivo de judía.



## **5. CONCLUSIONES**



## 5. CONCLUSIONES

A continuación son presentadas las conclusiones de este estudio basadas en los resultados obtenidos y bajo las condiciones en que fueron realizados los experimentos.

### **5.1. Conclusiones a la respuesta numérica potencial de *Neoseiulus californicus* y *Phytoseiulus persimilis* con *Tetranychus urticae* como alimento:**

- 1- Los valores de los parámetros biológicos de las poblaciones de *P. persimilis* y *N. californicus* que se encuentran en los cultivos hortícolas del mediterráneo español son similares a los de otras regiones geográficas.
- 2- La duración del desarrollo, la fecundidad y los parámetros demográficos de poblaciones locales de *N. californicus* y *P. persimilis* cuando se alimentan de la araña roja *T. urticae* alcanzan valores óptimos, lo cual indica que es un alimento adecuado para estos fitoseidos.

### **5.2. Conclusiones a la dinámica poblacional de *Neoseiulus californicus* y *Phytoseiulus persimilis* con las presas *Tetranychus urticae*, *Tetranychus turkestanii* y *Tetranychus evansi*:**

- 1- Los resultados obtenidos apoyan la hipótesis de que las poblaciones autóctonas de *P. persimilis* pueden ser utilizadas para controlar a *T. urticae* y a *T. turkestanii* en condiciones climáticas mediterráneas.
- 2- *P. persimilis* es capaz de reducir y eliminar a *T. urticae* y a *T. turkestanii* en las tres relaciones depredador-presa ensayadas.
- 3- El depredador *N. californicus* podría controlar poblaciones de *T. urticae* y *T. turkestanii* en relaciones de depredador-presa menores de 1:4.

- 4- Los depredadores estudiados *N. californicus* y *P. persimilis* no controlan eficazmente a *T. evansi*.
- 5- A medida que aumenta la densidad poblacional, también aumenta el índice de daño.
- 6- Los daños en las plantas de judía son más severos con *T. turkestanii* que con *T. urticae*.
- 7- *T. evansi* en patata puede provocar que se alcancen los máximos valores del índice de daños a las tres semanas.
- 8- *T. urticae* y *T. turkestanii* tienden a moverse hacia las hojas superiores con el aumento de la densidad, al igual que *P. persimilis*. En tanto que *N. californicus* permanece en las hojas inferiores.

**5.3. Conclusiones a la simulación de la dinámica poblacional de los fitoseidos *Neoseiulus californicus* y *Phytoseiulus persimilis* con las presas *Tetranychus urticae* y *Tetranychus turkestanii*:**

- 1- El análisis de las simulaciones realizadas ha permitido validar el modelo obtenido, ya que existe una coherencia entre las predicciones del modelo y los resultados experimentales obtenidos en los ensayos de invernadero.
- 2- Si la población inicial del fitófago es de 25 ácaros/planta, se estima que la dosis mínima de suelta de *N. californicus* podría estar en 12 y 20 especímenes por planta en presencia de *T. urticae* y de *T. turkestanii*, respectivamente.
- 3- Para controlar a *T. urticae* con una población inicial de 25 ácaros/planta, la dosis mínima de suelta de *P. persimilis* sería de 6 a 8 ácaros/planta, la cual tendría que aumentarse a 12 especímenes por planta si la plaga es la especie *T. turkestanii*.



## **6. BIBLIOGRAFÍA**



## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Adsule, R.N., Deshpande, S.S. y Sathe, S.K. 2004. La judía. *In*: Salunkhe, D.K. y Kadam, S.S. *Tratado de ciencia y tecnología de las hortalizas*. Traducido por Vázquez-Yanez, O.P. y Calo-Nata, P. (ed.) Acribia, S.A., Zaragoza (España). pp 467-479.
- Alfaro, A. 1964. Los ácaros de los frutales. *Bol. Pat. Veg. Entomol. Agríc.*, **27**: 201-221.
- Amano, H., y Chant, D.A. 1977. Life history and reproduction of two species of predacious mites, *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot and *Amblyseius andersoni* (Chant) (Acarina: Phytoseiidae). *Can. J. Zool.*, **55**: 1978-1983.
- Amano, H., y Chant, D.A. 1978a. Mating behavior and reproductive mechanisms of two species of predacious mites, *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot and *Amblyseius andersoni* (Chant) (Acarina: Phytoseiidae). *Acarologia*, **20**: 196-213.
- Amano, H., y Chant, D.A. 1978b. Some factors affecting reproduction and sex ratios in two species of predacious mites, *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot and *Amblyseius andersoni* (Chant) (Acarina: Phytoseiidae). *Can. J. Zool.*, **56**: 1593-1607.
- Aponte, O.R. y Aponte, F. 1990. Daño de *Tetranychus urticae* Koch y su influencia en el cultivo de la caraota (*Phaseolus vulgaris* L.). *Bol. Entomol. Venez. N.S.*, **5**(20): 197-204.
- Ashihara, W., Hamamura, T. y Shinkaji, N. 1978. Feeding reproduction, and development of *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acarina: Phytoseiidae) on various food substances. *Bull. Fruit Tree Res. Stn. Ser. Entomol.*, **2**: 91- 98.
- Badii, M.H. y McMurtry, J.A. 1984. Life history and life table parameters for *Phytoseiulus longipes* with comparative studies on *P. persimilis* and *Typhlodromus occidentalis* (Acari: Phytoseiidae). *Acarologia*, t. **XXV**, fasc. 2: 111-123.
- Baker, E.W. y Pritchard, A.E. 1953. A guide to the spider mites of cotton. *Hilgardia*, **22** (7): 203-234.
- Bakker, F.M., Klein, M.E., Mesa, N.C. y Braun, A.N. 1993. Saturation déficit tolerante spectra of phytophagous mites and their phytoseiid predators on cassava. *Exp. Appl. Acarol.*, **17**: 97-113.
- Birch, L.C. 1948. The intrinsic rate of natural increase of an insect population. *J. Anim. Ecol.*, **17**: 15-26.

- Blackwood, J.S., Luh, H.K. y Croft, B.A. 2004. Evaluation of prey-stage preference as an indicator of life-style type in phytoseiid mites. *Exp. Appl. Acarol.*, **33**: 261-280.
- Blümel, S. 1999. Susceptibility of *Neoseiulus californicus* to pesticides in the laboratory compared to other predatory mite. Meeting of the IOBC/WPRS WG "Pesticides and beneficial organisms". 26-30 october, 1999, Versailles, France.
- Blümel, S. y Walzer, A. 2002. Efficacy of different release strategies of *Neoseiulus californicus* McGregor and *Phytoseiulus persimilis* Athias Henriot (Acari: Phytoseiidae) for the control of two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch) on greenhouse cut roses. *System. & Appl. Acarol.*, **7**: 35-45.
- Bolland, H.R. Gutierrez. J. y Flechtmann, C.H.W. 1998. *World catalogue of the spider mite family (Acari: Tetranychidae)*. Brill, Leiden; Boston; Köln. 392 pp.
- Bonato, O. 1999. The effect of temperature on life history parameters of *Tetranychus evansi* (Acari: Tetranychidae). *Exp. Appl. Acarol.*, **23** (1): 11-19.
- Carey, J.R. y J.W. Bradley. 1982. Developmental rates, vital schedules, sex ratios and life tables for *Tetranychus urticae*, *T. turkestanii* and *T. pacificus* (Acarina:Tetranychidae) on cotton. *Acarologia*, **23**: 333 -345.
- Castagnoli, M. y Falchini, L. 1993. Suitability of *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae) as prey for *Amblyseius californicus* (McGregor) (Acari Phytoseiidae). *Redia* **76**: 273-279.
- Castagnoli, M. y Simoni, S. 1991. Influenza della temperatura sull'incremento delle popolazioni di *Amblyseius californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae). *Redia*, **74**: 621-640.
- Castagnoli, M., Simoni, S. y Pintucci, M. 1995. Response of a laboratory strain of *Amblyseius californicus* (McGregor) (Acarina Phytoseiidae) to seminatural outdoor conditions. *Redia*, **78**(2): 273-282.
- Cédola, C. 2004. Predación de *N. californicus* McGregor (Acari: Phytoseiidae) y *Feltiella insularis* Felt (Diptera: Cedomyiidae) sobre *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), en tomate. *Bol. San. Veg. Plagas*, **30**: 63-169.
- Conselleria D'Agricultura, Pesca i Alimentació. 2004. Hortalisses. *Butlletí d'Avisos Agrícoles*. <http://www.agricultura.gva.es/publicaciones/revistasint> 17/10/2005.
- Conselleria D'Agricultura, Pesca i Alimentació. 2005. Hortalisses. *Butlletí d'Avisos Agrícoles*. <http://www.agricultura.gva.es/publicaciones/revistasint> 17/10/2005.
- Croft, B.A. y Hoyt, S.C. 1983. *Integrated Management of Insect Pests of Pome and Stone Fruits*. Wiley, New York, 454 pp.

- Croft, B.A., Monetti, L.N. y Pratt, P.D. 1998. Comparative life histories and predation types: Are *Neoseiulus californicus* and *Neoseiulus fallacis* (Acari: Phytoseiidae) similar Type II selective predators of spider mite. *Environ. Entomol.*, **27** (3): 531-538.
- Croft, B.A., Blackwood, J.S. y McMurtry, J.A. 2004. Classifying life-style types of phytoseiid mites: diagnostic traits. *Exp. Appl. Acarol.*, **33**: 247-260.
- Denmark, H. A. y Schicha, E. 1983. Revision of the genus *Phytoseiulus* Evans (Acarina: Phytoseiidae). *Internat. J. Acarol.*, **9** (1): 27-35.
- Diekmann, O., Metz, J.A.J. y Sabelis, M.W. 1988. Mathematical models of predator-prey-plant interactions in a patchy environment. *Exp. Appl. Acarol.*, **5**: 319-342.
- Drukker, B., Jansen, A., Ravensberg y Sabelis, M.W. 1997. Improved control capacity of the mite predator *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) on tomato. *Exp. Appl. Acarol.*, **21**: 507-518.
- Escudero, A. L. (1998). Estructura y dinámica de las comunidades de ácaros del ecosistema hortícola mediterráneo: bases para el empleo de fitoseidos en el control biológico de las arañas rojas. *Tesis doctoral*. Universidad Politécnica de Valencia. 234 pp.
- Escudero, L.A. y Ferragut, F. 1998. Comunidad de ácaros del ecosistema hortícola mediterráneo: Composición y distribución geográfica. *Bol. San. Veg. Plagas*, **24**: 749-762.
- Escudero, L.A. y Ferragut, F. 1999. Abundancia y dinámica estacional de las poblaciones de tetraníquidos y fitoseidos en los cultivos hortícolas valencianos (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae). *Bol. San. Veg. Plagas*, **25**: 347-362.
- Escudero, L.A. y Ferragut, F. 2005. Life-history of predatory mites *Neoseiulus californicus* and *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) on four spider mite species as prey, with special reference to *Tetranychus evansi* (Acari: Tetranychidae). *Biol. Control*, **32**: 378-384.
- Escudero, L.A., Baldó-Gosálvez, M. y Ferragut, F. 2005. Eficacia de los fitoseidos como depredadores de las arañas rojas de cultivos hortícolas *Tetranychus urticae*, *T. turkestanii*, *T. ludeni* y *T. evansi* (Acari: Tetranychidae). *Bol. San. Veg. Plagas*, **31**: 377-383.
- Eveleigh, E.S. y Chant, D.A. 1981. Experimental studies on acarine-prey interactions: the effects of predator-prey interactions: effects of predator age and feeding history on prey consumption and functional response (Acarina: Phytoseiidae). *Can. J. Zool.*, **59**: 1387-1406.
- Ferragut, F. 1986. Evaluación de la eficacia de *Euseius stipulatus* (Athias-Henriot) y *Typhlodromus phialatus* (Athias-Henriot) (Acari: Phytoseiidae) como depredadores del ácaro rojo *Panonychus citri* (McGregor) (Acari:

- Tetranychidae) en los cítricos españoles. *Tesis Doctoral*. Universidad de Valencia. 401 pp.
- Ferragut, F. 2005. Clave para la identificación microscópica de las especies españolas de arañas rojas del género *Tetranychus*. Dpto. Ecosistemas agroforestales. Universidad Politécnica de Valencia.  
[www.seea.es/divulgac/claves/Tetranychus/Tetranychus\\_clave.htm](http://www.seea.es/divulgac/claves/Tetranychus/Tetranychus_clave.htm) 26/7/2006.
- Ferragut, F. y Escudero, A. 1999. *Tetranychus evansi* Baker & Pritchard (Acari: Tetranychidae), una nueva araña roja en los cultivos hortícolas españoles. *Bol. San. Veg. Plagas*, **25**: 157-164.
- Ferragut F. y Escudero L.A. 2002. La araña roja del tomate *Tetranychus evansi* (Acari, Tetranychidae) en España: distribución, biología y control. *Phytoma* **135**: 111-113.
- Ferragut, F. y Santonja, C. 1989. Taxonomía y distribución de los ácaros del género *Tetranychus* Dufour 1832 (Acari: Tetranychidae), en España. *Bol. San. Veg. Plagas*, **15**: 271-281.
- Ferragut, F., González-Zamora, J.E. y García-Marí, F. 1992. Bases para la utilización de los fitoseidos en el control de plagas de cultivos hortícolas. *Phytoma España*, **40**: 60-66.
- Ferreira, M.A. y Carmona, M.M. 1995. Acarofauna do tomateiro em Portugal. *In: Avances en Entomología Ibérica*. Madrid, pp 385-392.
- Friese, D.D. y Gilstrap, F.E. 1982. Influence of prey availability on reproduction and prey consumption of *Phytoseiulus persimilis*, *Amblyseius californicus* and *Metaseiulus occidentalis* (Acarina: phytoseiidae). *Internat. J. Acarol.*, **8**: 85-9.
- García-Marí, F. y González-Zamora, J.E. 1999. Biological control of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) with naturally occurring predators in strawberry plantings in Valencia, Spain. *Exp. Appl. Acarol.*, **23**: 1-9.
- García-Marí, F., González-Zamora, J.E., Orensa, S., Saques, J., Laborda R., Soto, A. y Ribes, A. 1991. Distribución espacial y asociación entre especies de ácaros fitófagos (*Tetranychidae*) y depredadores (*Phytoseiidae*) en hojas de fresón. *Bol. San. Veg. Plagas*, **17**: 401-415.
- García-Marí, F., Laborda, R., Costa-Comelles, J., Ferragut, F. y Marzal, C. 1985. Ácaros fitófagos y depredadores en nuestros cítricos. *Cuadernos de Fitopatología*, (2): 54-63.
- Gerson, U., Smiley, R.L. y Ochoa, R. 2003. *Mites (Acari) for pest control*. Blackwell, Oxford. 539 pp.
- Gilstrap, F.E. 1977. Table-top production of Tetranychid mites (Acarina) and their Phytoseiid natural enemies. *J. Kansas Entomol. Soc.*, **50**:229-233.

- Gilstrap, F.E. y Friese, D.D. 1985. The predatory potential of *Phytoseiulus persimilis*, *Amblyseius californicus* and *Metaseiulus occidentalis* (Acarina: Phytoseiidae). *Intl. J. Acarol.*, Vol. **11** (3): 163-168.
- González-Zamora, J.E., García- Marí, F., Ribes, A., Saqués, J., Masiello, L. y Orenge, S. 1993. Métodos de muestreo binomial y secuencial para *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) y *Amblyseius californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) en fresón. *Bol. San. Veg. Plagas*, **19**: 559-586.
- González-Zamora, J.E., Orenge, S., García-Marí, F. y Laborda R. 1991. Liberación de ácaros depredadores para el control de araña roja en fresón. *Phytoma España*, **32**: 21-27.
- Gotoh, T., Yamaguchi, K. y Mori, K. 2004. Effect of temperature on life history of the predatory mite *Amblyseius (Neoseiulus) californicus* (Acari: Phytoseiidae). *Exp. Appl. Acarol.*, **32**: 15-30.
- Greco, N.M., Liljesthröm, G.G. y Sánchez, N.E. 1999. Spatial distribution and coincidence of *Neoseiulus californicus* and *Tetranychus urticae* (Acari: Phytoseiidae) on strawberry. *Exp. Appl. Acarol.*, **23** (7): 567-580.
- Hall, F.R. y Ferree, D.C. 1975. Influence of two spotted spider mite populations on photosynthesis of apple leaves. *J. Econ. Entomol.*, **68**(4): 517-520.
- Hamamura, T., Shinkaji, N. y Ashihara, W. 1976. The relationship between temperature and developmental period, and oviposition of *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acarina: Phytoseiidae). *Bull. Fruit Tree Res. Stn.*, E **1**: 117-125.
- Helle, W. y Sabelis, M.W. 1985a. *Spider mites their biology, natural enemies and control*. Elsevier, Amsterdam. Vol. **1A**: 405 pp.
- Helle, W. y Sabelis, M.W. 1985b. *Spider mites their biology, natural enemies and control*. Elsevier, Amsterdam. Vol. **1B**: 458 pp.
- Huffaker, C.B., Van de Vrie, M. y McMurtry, J.A. 1969. The ecology of tetranychid mites and their natural control. *Ann. Rev. Entomol.*, **14**:125-174.
- Huffaker, C.B., Van de Vrie, M. y McMurtry, J.A. 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.
- Hussey, N.W. y Huffaker, L.B. 1976. Spider mites. In: Delucchi, V.L. (ed.). *Studies in biological control*. Cambridge University Press, pp 179-228.
- Hussey, N.W. y 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.

- Hussey, N.W. y Scopes, N. 1985. *Biological pest control. The glasshouse experience*. Blandford press, Poole. Dorset, UK. 240 pp.
- Hyams, D.G. 2005. CurveExpert 1.3 <http://curveexpert.webhop.biz/>. 09/06/06.
- lautrou, G., Cook, C.M., Stamou, G. y Lanaras, T. 1995. Chlorophyll fluorescente and leaf chlorophyll content of bean leaves injured by spider mites (Acari: Tetranychidae). *Exp. Appl. Acarol.*, **19**: 581-591.
- Jansen, V.A.A. y Sabelis, M.W. 1992a. Phytoseiid life-histories, local predator-prey dynamics, and strategies for control of tetranychid mites. *Exp. Appl. Acarol.*, **14**: 233-250.
- Jansen, V.A.A. y Sabelis, M.W. 1992b. Prey dispersal and predator persistente. *Exp. Appl. Acarol.*, **14**: 215-231.
- Jeppson, L.R., Keifer, H.H. y Baker, E.W. 1975. *Mites Injurious to Economic Plants*. University of California Press, Berkeley. 614 pp.
- Kazak, C., Cone, W.W. y Wright., L.C. 1995. The vertical distribution of mites and aphids on hops in south-central Washington during the summer of 1993. *J. Entomol. Soc. of British Columbia*, **92**: 91-95.
- Keizer M, y Zuurbier, J. 1999. Red Spider Mite. Namibian Crop Pests Notice 37 <http://www.larsen-twins.dk/37redspid.html> 10/05/2006.
- Knapp, M, Wagener, B., Navajas, M. 2003. Molecular discrimination between the spider mite *Tetranychus evansi* Baker & Pritchard, an important pest of tomatoes in southern Africa and the closely related species *T. urticae* Koch (Acari, Tetranychidae). *African Entomol.*, **11** (2): 300-304.
- Koppert. 2006. Control de plagas – productos. Koppert Biological Systems. [http://www.koppert.nl/cgi-bin/x031.pl?ktrn\\_srcID=92&lang=s](http://www.koppert.nl/cgi-bin/x031.pl?ktrn_srcID=92&lang=s). 04/04/2006).
- Krantz, G.W. 1978. *A manual of Acarology*. 2<sup>a</sup> ed. Oregon State University. Book Stores, Inc. Corvallis. pp 259-261.
- Laing, J.E. 1968. Life history and life table of *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot. *Acarologia*, **10**: 578-88.
- Laing, J.E. 1969. Life history and life table of *Tetranychus urticae* Koch. *Acarologia*, **11**:32-42.
- Laing, J.E., y Huffaker, C.B. 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**:105-26.

- Lenteren, J.C. van, Minks A.K. y Ponti O.M.B. de (eds.). 1992. *Biological Control and Integrated Crop Protection: towards environmentally safer agriculture*. Pudoc, Wageningen: 239 pp.
- Lenteren, J.C. van, y Woets, J. 1988. Biological and integrated pest control in greenhouses. *Ann. Rev. Entomol.*, **33**: 239-269.
- Lilley, R., Campbell, C.A.M. y Ridout, M.S. 1999. Vertical dispersal of the two-spotted mite *Tetranychus urticae*, and the predatory mite *Phytoseiulus persimilis* on dwarf hops. *Agricultural and Forest Entomology*, **1**: 111-117.
- Lotka, A.J. 1924. *Elements of Physical Biology*. Williams & Wilkins. Baltimore, 460 pp.
- Math Works Inc. 1998. MatLab Application Program Interface Guide. Versión 5. [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com) 9/06/2006.
- McMurtry, J. A. 1992. Dynamics and potential impact of 'generalist' phytoseiids in agroecosystems and possibilities for establishment of exotic species. *Exp. Appl. Acarol.*, **14**: 371-382.
- McMurtry, J.A. 1991. Augmentative releases to control mites in agriculture. In: Dusbabek, F. y Burkva, V. (eds). *Modern Acarology*. SPB Academic Publ., Prague. Vol. **1**: pp 151-157.
- McMurtry, J.A. y Croft, B.A. 1997. Life-styles of phytoseiid mites and their roles in biological control. *Annu. Rev. Entomol.* **42**: 291-321.
- McMurtry, J.A., Huffaker, C.B. y Vrie, M. van de. 1970. Ecology of tetranychid mites and their natural enemies: a review. I. Tetranychid enemies: their biological characters and the impact of spray practices. *Hilgardia* **40**: 331-90.
- Mesa, N. C. Braun, A. R. y Belotti, A. C. (1990). Comparison of *Mononychellus progresivus* and *Tetranychus urticae* prey for five species of phytoseiid mites. *Exp. & Appl. Acarol.*, **9**: 159-168.
- meyer, M.K.P.S. 1987. African *Tetranychidae* (Acari:Prostigmata), with reference to the word genera. *Entomol. Dep. Agric. South Africa, Pretoria*, **69**: 175 pp.
- Migeon, A., 2005 – Un nouvel acarien ravageur en France: *Tetranychus evansi* Baker & Pritchard. *Phytoma-La Défense des Végétaux*, **579**: 38-43.
- Migeon, A.; Cros, S. y Navajas, M. 2004. The use of taxonomical and ecological databases combined with the genetic approach for tracking spider mite invasions. *Phytophaga*, **XIV**: 757-765
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 2003a. Anuario de estadística agroalimentaria. [http://www.mapya.es/es/estadistica/pags/anuario/Anu\\_03/indice.asp](http://www.mapya.es/es/estadistica/pags/anuario/Anu_03/indice.asp). 17/10/2005.

- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 2003b. Hechos y cifras sobre agricultura: Superficies sobre producciones agrícolas. Agricultura ecológica. <http://www.mapa.es/es/agricultura/pags/hechoscifras/cifras.htm>. 17/10/2005.
- Ministerio de Medio Ambiente. 2004. *Perfil Ambiental de España 2004*. [http://www.mma.es/portal/secciones/calidad\\_contaminacion/indicadores\\_ambientales/perfil\\_ambiental/index.htm](http://www.mma.es/portal/secciones/calidad_contaminacion/indicadores_ambientales/perfil_ambiental/index.htm) 17/10/2005
- Ministerio de Medio Ambiente. 2005. *Perfil Ambiental de España 2005*. [http://www.mma.es/portal/secciones/calidad\\_contaminacion/indicadores\\_ambientales/perfil\\_ambiental\\_2005/index.htm](http://www.mma.es/portal/secciones/calidad_contaminacion/indicadores_ambientales/perfil_ambiental_2005/index.htm) 23/11/2006.
- Monetti, L.N. y Fernández, N.A. 1995. Seasonal population dynamics of the european red mite (*Panonychus ulmi*) and its predator *Neoseiulus californicus* in a sprayed apple orchard in Argentina (Acari: Tetranychidae. Phytoseiidae). *Acarologia*, **36** (4):327-331.
- Moraes, G.J. y McMurtry, J.A. 1983. Phytoseiid mites (Acarina) of Northeastern Brasil with descriptions of four new species. *Internat. J. Acarol.*, **9** (3): 131-147.
- Moraes, G.J. y McMurtry, J.A. 1985a. Comparison of *Tetranychus evansi* and *T. urticae* (Acari:Tetranychidae) as prey for eight species of phytoseiid mites. *Entomophaga*, **30**(49): 393-397.
- Moraes, G.J. y McMurtry, J.A. 1985b. Chemically mediated arrestment of the predaceous mite *Phytoseiulus persimilis* by extracts of *Tetranychus evansi* and *Tetranychus urticae*. *Exp. Appl. Acarol.*, **1**: 127-138.
- Moraes, G.J. y McMurtry. 1986. Suitability of the spider mite *Tetranychus evansi* as prey for *Phytoseiulus persimilis*. *Entomol. Experm. Et Appl.* **40**: 109-115.
- Moraes G.J. McMurtry J.A. y Baker E.W. 1987. Redescription and distribution of the spider mites *Tetranychus evansi* and *Tetranychus marianae*. *Acarologia* **28** (4), 333-344.
- Moraes, G.J., McMurtry, J.A., Denmark, H.A. y Campos, C.B. 2004. A revised catalog of the mite family Phytoseiidae. *Zootaxa* (online ed.), **434**:1-494.
- Mori, H. y Saito, Y. 1979. Biological control of *Tetranychus urticae* Koch (Acarina: Tetranychidae) populations by three species of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae). *J. Fac. Agr. Hokkaido Univ.*, Vol. **59** (3): 303-311.
- Nachman, G. 1981. Temporal and spatial dynamics of an acarine predator-prey system. *J. Animal Ecology*, **50**: 435-451.
- Nachman, G. 1988. Regional persistence of locally unstable predator/prey populations. *Exp. Appl. Acarol.*, **5**: 293-318.

- Nachman, G. 1991. An acarine predator-prey metapopulation system inhabiting greenhouse cucumbers. *Biol. J. of the Linnaean Society* **42**: 285-303.
- 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.
- Nachman, G. y Zemek, R. 2002b. Interactions in a tritrophic acarine predator-prey metapopulation system IV: effects of host plant condition on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Exp. Appl. Acarol.*, **26**: 43-70.
- Navajas, M. 1998. Host plant associations in spider mite *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae):insights from molecular phylogeography. *Exp. Appl. Acarol.*, **22**: 201-214.
- Nicoli, G. y Galazzi D. 1998. Quality of Cold Stored *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acarina Phytoseiidae). *Bulletin of Insectology*, **52**: 61-73.
- Nihoul, P. 1992. Effect of temperature and relative humidity on successful control of *Tetranychus urticae* Koch by *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acarina: Tetranychidae, Phytoseiidae) in tomato crops under glasshouse conditions. *Med. Fac. Landbwet. Univ. Gent.*, **57**: 949-957.
- Opit, G.P., Margolies, D.C. y Nichols, J.R. 2003. Within plant distribution of two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), on ivy geranium: development of a presence-absence sampling plan. *J. Econ. Entomol.* **96**: 482-488.
- Papaioannou-Souliotis, P. 1979. Effects of the population of *Tetranychus urticae* (Koch) on bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). *Annls Inst. Phytopath.* Benaki, **12**: 138-143.
- Park, Y.L. y Lee, J.H. 2002. Leaf cell and tissue damage of cucumber caused by two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae). *J. Econ. Entomol.* **95**(5): 952-957.
- Pérez-López, C. 2002. *Estadística párcctica con Statgraphics*. Pearson Educación, Madrid. 691 pp.
- Pratt, P.D., Coombs, E.M. y Croft, y .A. 2003. Predation by phytoseiid mites on *Tetranychus lintearius* (Acari: tetranychidae), an established weed biological control agent of gorse (*Ulex europaeus*). *Biological control*, **26**: 40-47.
- Rabbinge, R. 1985. Aspects of damage assessment. *In*: Helle, W. y Sabelis, M.W. 1985. *Spider mites their biology, natural enemies and control*. Elsevier, Amsterdam. Vol. **1A**: pp 261-271.
- Rencken, I.C. y Pringle, K.L. 1998. Developmental biology of *Amblyseius californicus* (McGregor) (Acarina: Phytoseiidae), a predator of tetranychid mites, at three temperatures. *African Entomol.* **6**: 41– 45.

- Rondon, S.L., Price, F.J., Liburd, O.E., Francis, R. y Cantliffe, D.J. 2004. *Neoseiulus californicus* McGregor: a predatory mite specie for controlling two-spotted spider mite in strawberries. University of Florida. IFAS Extension. HS1001. <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/HS/HS24500.pdf>. 10/05/2006.
- Ryoo, M.L. 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). *J. Appl. Entomol.*, **120**: 187-192.
- Sabelis, M.W. 1981. Biological control of two-spotted spider mites using phytoseiid predators. Part. I. Modelling the predator-prey interaction at the individual level. *Agricultural. Research publication no. 910*. Wageningen: Centre for Agricultural Publication and documentation. 242 pp.
- Sabelis, M. W. (1985a). Life History: Capacity for population increase. **In.:** Helle, W. y Sabelis, M. W. (1985). *Spider mites their biology, natural enemies and control*. Vol. **1A**. pp 35-41.
- Sabelis, M. W. (1985b). Development. **In.:** Helle, W. y Sabelis, M. W. (1985). *Spider mites their biology, natural enemies and control*. Vol. **1A**. pp 43 -53.
- Saitô, Y. 1979. Comparative studies on life histories of three species of spider mites (Acarina: Tetranychidae). *Appl. Ent. Zool.* **14**(1): 83-94.
- Sances, F.V., Wyman, J.A. y Ting, I.P. 1979a. Physiological responses to spider mite infestations on strawberries. *Environ. Entomol.* **8**: 711-714.
- Sances, F.V., Wyman, J.A. y Ting, I.P. 1979b. Morphological responses of strawberry leaves to infestations of two-spotted spider mite. *J. Econ. Entomol.* **72**: 710-713.
- Sanderson, J.P. y Zhang, Z.Q. 1995. Dispersion, sampling, and potential for integrated control of two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae) on greenhouse roses. *J. Econ. Entomol.* **88** (2): 343-351.
- Santi F. y Maccagnani B. Influence of the humidity rate on mortality and embryonic development time of two strains of *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acarina Phytoseiidae). *Boll. Ist. Ent. G. Grandi*, **54**: 1-11.
- Sarr, I., Knapp, M., Ogot, C.K.P., Baumgärtner, J. 2002. Impact of predators on *Tetranychus evansi* Baker and Pritchard populations and damage on tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in Kenya. XI Int. Congress Acarology, Merida, Mexico. *Abstract Book*: 271.
- Sato, M.E., Da Silva, M., Gonçalves, L., Souza Filho, M.F. de, y Raga, A. 2002. Toxicidade diferencial de agroquímicos a *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) e *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) em morangueiro. *Neotropical Entomology*, **31** (3): 449-456.

- Schausberger, P. 2003. Cannibalism among phytoseiid mites: a review. *Exp. Appl. Acarol.*, **29**: 173-191.
- Schausberger, P. y Walzer, A. 2001. Combined versus single species release of predaceous mites: predator- predator interactions and pest suppression. *Biological Control* **20**: 269-278.
- Schütte, C., Hulshof, J., Dijkman, H. and Dicke, M. 1995. Change in foraging behaviour of the predatory mite *Phytoseiulus persimilis*: some characteristics of a mite population that does not respond to herbivore-induced synomones. *Proc. Exp. Appl. Entomol.*, NEV, Amsterdam **6**: 133-139.
- Scopes, N.E.A. 1985. Red spider mite and the predator *Phytoseiulus persimilis*. In: Hussey, N.W. y Scopes, N. (eds). *Biological pest control. The glasshouse experience*. Blandford press, Poole. Dorset. pp 43-52.
- Shaw, P.B. 1985. Simulation model of a predator-prey systems comprised of *Phytoseiulus persimilis* and *Tetranychus urticae*. II Model sensitivity to variations in the life history parameters of both species and to variations in the functional response and components of the numerical response. *Res. Popul. Ecol.* **27**: 1-23.
- Sites, R.W. y Cone, W.W. 1985. Vertical dispersión of twospotted spider mites on hops throughout the growing season. *J. Entomol. Soc. of British Columbia*, **82**: 22-25.
- Stenseth, C. 1979. Effect of temperature and humidity on the development of *Phytoseiulus persimilis* (Acarina: Phytoseiidae), and its ability to regulate populations of *Tetranychus urticae* (Acarina: Tetranychidae). *Entomophaga*, **24**:311-317.
- Strong, W.B. y Croft, B.A. 1995. Inoculative release of phytoseiid mites (Acarina: Phytoseiidae) into rapidly expanding canopy of hops for control of *Tetranychus urticae* (Acarina: Tetranychidae). *Environ. Entomol.*, **24** (2): 446-453.
- Strong, W.B., Croft, B.A. y Slone D.H. 1997. Spatial aggregation and refugia of the mites *Tetranychus urticae* and *Neoseiulus fallacis* (Acarina: Tetranychidae, Phytoseiidae) on hops. *Environmental Entomology*, **26**: 859-865.
- Strong, W.B., Slone, D.H. y Croft, B.A. 1999. Hops as a metapopulation landscape for Tetranychid-Phytoseiid interactions: Perspectives of intra- and interplant dispersal. *Exp. Appl. Acarol.*, **23**: 581-597.
- Swirski, E., Amitai, S. y Dorzia, N. 1970. Laboratory studies on the feeding habits, postembryonic survival and oviposition of the predaceous mites *Amblyseius chilensis* Dosse and *Amblyseius hibisci* Chant (Acarina: Phytoseiidae) on various kinds of food substances. *Entomophaga* **15**: 93-106.

- Syngenta. 2006. Bioline. Phytoline p (*Phytoseiulus persimilis*) y Amblyline cal (*N. californicus*): para el control de la araña roja. <http://www.cp-es.syngentaapp1.com/agro/documents/Bioline.pdf>
- Takafuji, A. y Chant, D.A. 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. *Researches on population ecology*, **17**: 255-310.
- Takahashi, A. y Chant, D.A. 1994. Adaptative strategies in the genus *Phytoseiulus* Evans (Acari: Phytoseiidae). II Survivorship and reproduction. *Internat. J. Acarol.*, **20** (2): 87-96.
- Tomczyk, A. y Kropczynska, D. 1882. Feeding effects of *Tetranychus urticae* Koch on the physiology of some plants. *Acarology*, **4**(2): 740-746.
- Tomczyk, A. y Kropczynska, D. 1885. Effects on the host plant. In: Helle, W. y Sabelis, M. W. (eds). *Spider mites, the biology, natural enemies and control*. Elsevier, Amsterdam, Vol. **1A**: pp 317-329.
- Tomczyk, A. Kielkiewicz, M. y van de Vrie, M. 1996. The development of two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch) injury on black currant leaves. *Acta Hort.* **422**: 360-361.
- Tuesta, C.R. 2004. Efecto de los acaricidas sobre la araña roja *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) y sus depredadores *Neoseiulus californicus* McGregor y *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae). *Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Valencia. 158 pp.
- Van de Vrie, M. 1985. Control of Tetranychidae in crops: Greenhouse ornamental. In.: Helle, W. y Sabelis, M. W. (eds). *Spider mites, the biology, natural enemies and control*. Elsevier, Amsterdam, Vol. **1B**: pp 273-283.
- Van de Vrie, M., McMurtry, J.A. y Huffaker, C.B. 1972. Ecology of mites and their natural enemies. A review. III Biology, ecology, pest status, and host plant relations of Tetranychids. *Hilgardia*, **41**: 345-432.
- Van der Blom, J. (2002). La introducción artificial de la plaga auxiliar en cultivos agrícolas. *Bol. San. Veg. Plagas*, **28**: 107-118.
- Van der Geest, L. P. S., Elliot, S. L., Breeuwer, J. A. J. y Beerling, E. A. M. 2000. Diseases of mites. *Exp. Appl. Acarol.*, **24**: 497-560.
- Villanueva, R.T. y Childers, C.C. 2005. Diurnal and spatial patterns of Phytoseiidae in the citrus canopy. *Exp. Appl. Acarol.* **35** (4): 269 – 280.
- Walde, S.J. y Nachman, G. 1999. Dynamics of spatially structured spider mite populations. In.: *Theoretical approaches to biological control*. Hawkins, B.A. y Cornell, H.V. (ed.). Cambridge University Press, pp 163-189.

- Walter, D. y Proctor, H. 2004. *Mites: ecology, evolution and behaviour*. CABI Publishing, Wallingford. 352 pp.
- Walzer, A. y Schausberger, P. 1999a. Cannibalism and interspecific predation in the phytoseiid mites *Phytoseiulus persimilis* and *Neoseiulus californicus*: predation rate and effects on reproduction and juvenile development. *BioControl* **43**: 457-468.
- Walzer, A. y Schausberger, P. 1999b. Predation preferences and discrimination between con- and heterospecific prey by the phytoseiid mites *Phytoseiulus persimilis* and *Neoseiulus californicus*. *Biocontrol* **43**: 469-478.
- Walzer, A., Blümel, S. y Schausberger, P. 2001. Population dynamics of interacting predatory mites, *Phytoseiulus persimilis* and *Neoseiulus californicus*, held on detached bean leaves. *Exp. Appl. Acarol.*, **25**: 731-743.
- Weihrauch, F. (2005). Evaluation of a damage threshold for two-spotted spider mites, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), in hop culture. *Annals of Applied Biology*, **146**: 501-509.
- Western Regional Integrated Pest Management Project. 1984. *Integrated pest management for cotton in the Western Region of the United State*. University of California, Division of Agriculture and natural Resources. Publication **3305**: pp.70-75.
- Wilson, L.T., M.A. Hoy, F. G., Zalom y J.M. Smilanick. 1984. Sampling mites in almonds: I. Within-tree distribution and clumping pattern of mites with comments on predator-prey interactions. *Hilgardia* **52** (7): 1-13.
- Youngman, R.R., Jones, P.V., Welter, S.C. y Barnes, M.M. 1986. Comparison of feeding damage caused by four tetranychid mites species on gas-exchange rates of almond leaves. *Environ. Entomol.* , **15**(1): 190-193.
- Zang, Z.Q. 2003. *Mites of greenhouses: identification, biology and control*. CABI Publishing, Wallingford. 244 pp.
- Zang, Z.Q. y Sanderson, J.P. 1995. Two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae) and *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) on greenhouse roses: spatial distribution and predator efficacy. *J. Econ. Entomol.*, **88**(2): 352-357.
- Zhang, Z.Q., Sanderson J.P. 1997. Patterns, mechanisms and spatial scale of aggregation in generalist and specialist predatory mites (Acari: Phytoseiidae). *Exp. Appl. Acarol.*, **21** (6-7): 393-404.





**ANEXOS**



## A.1. GRÁFICOS PARA DETERMINAR LOS PARÁMETROS NUMÉRICOS

### A.1.1. Parámetros numéricos de los ensayos con *T. urticae*

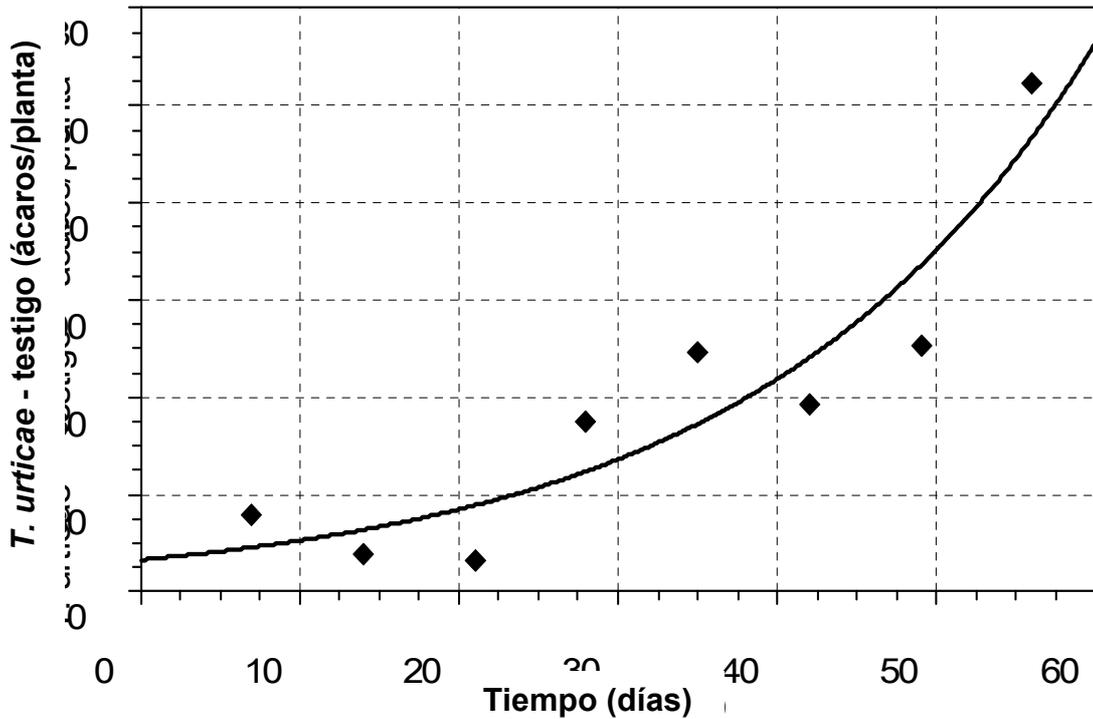


Fig. A.1.1. Determinación de la tasa de crecimiento de la población del fitófago ( $\alpha$ ) por ajuste numérico a una ecuación del tipo  $(y) = a e^{bx}$ , usando datos experimentales de *T. urticae* en ausencia de fitoseidos. Programa informático CurveExpert 1.3, (Hyams, 2005).

#### Resultados:

Exponential Fit:  $y = ae^{(bx)}$

Coefficient Data:

A = a = 9.9046491

$\alpha = b = 0.047387424$

Exponential Fit:  $y = ae^{(bx)}$

Standard Error: 18.8960021

Correlation Coefficient: 0.9230725

Comments:

The fit converged to a tolerance of 1e-006 in 6 iterations. No weighting used.

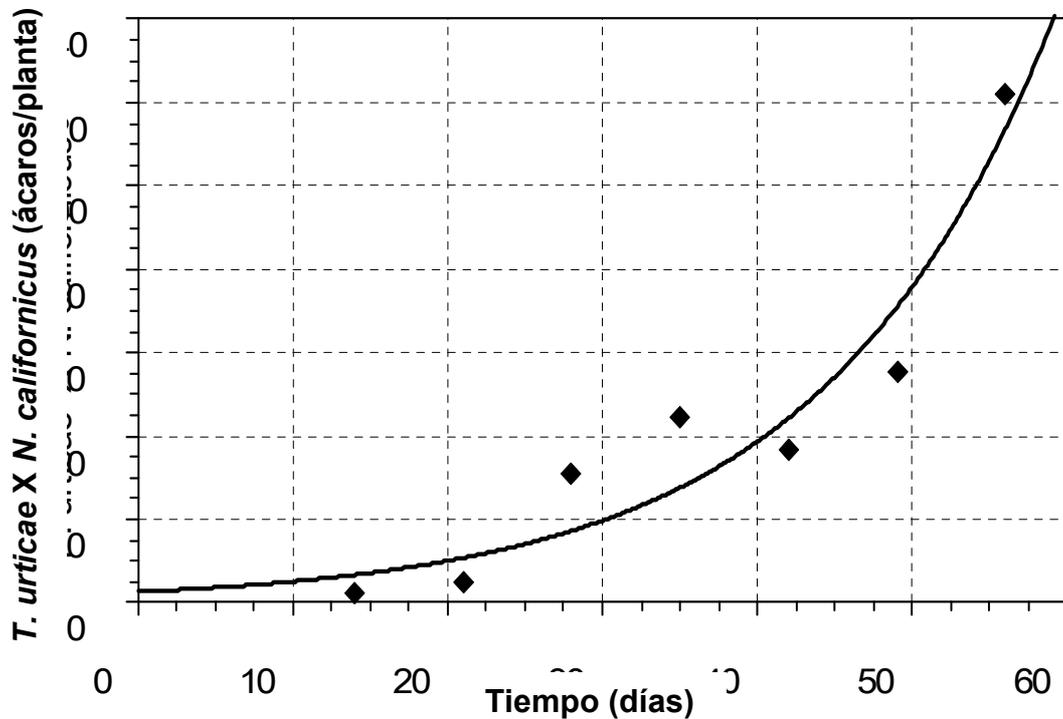


Fig. A.1.2. Determinación de la tasa de consumo del depredador ( $\beta$ ) por ajuste numérico de los datos  $(x, y)$  a una ecuación del tipo  $y = ae^{bx}$ , donde  $y$  es la población del fitófago *T. urticae* consumida por la población del fitoseido *N. californicus*. Programa informático CurveExpert 1.3, (Hyams, 2005).

**Resultados:**

Exponential Fit:  $y=ae^{(bx)}$

Coefficient Data:

B = a = 2.6273566

$\beta = b = 0.067361945$

Exponential Fit:  $y=ae^{(bx)}$

Standard Error: 13.4024367

Correlation Coefficient: 0.9524082

Comments:

The fit converged to a tolerance of 1e-006 in 6 iterations. No weighting used.

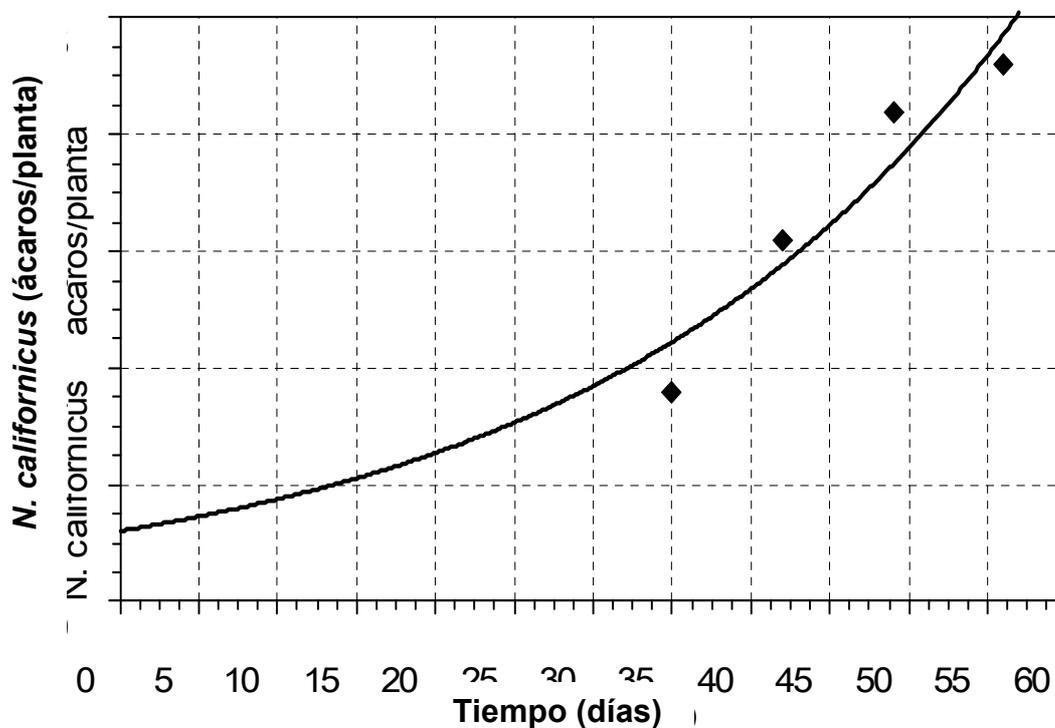


Fig. A.1.3. Determinación de la tasa de crecimiento del depredador *N. californicus* ( $\gamma$ ) por ajuste numérico de los datos  $(t, N)$  a una ecuación de tipo  $N = a e^{\gamma t}$ , en presencia de *T. urticae*. Programa informático CurveExpert 1.3, (Hyams, 2005).

**Resultados:**

Exponential Fit:  $y = a e^{(bx)}$

Coefficient Data:

$C = a = 0.60628559$

$\gamma = b = 0.037206607$

Exponential Fit:  $y = a e^{(bx)}$

Standard Error: 0.4998937

Correlation Coefficient: 0.9456642

Comments:

The fit converged to a tolerance of 1e-006 in 4 iterations. No weighting used.

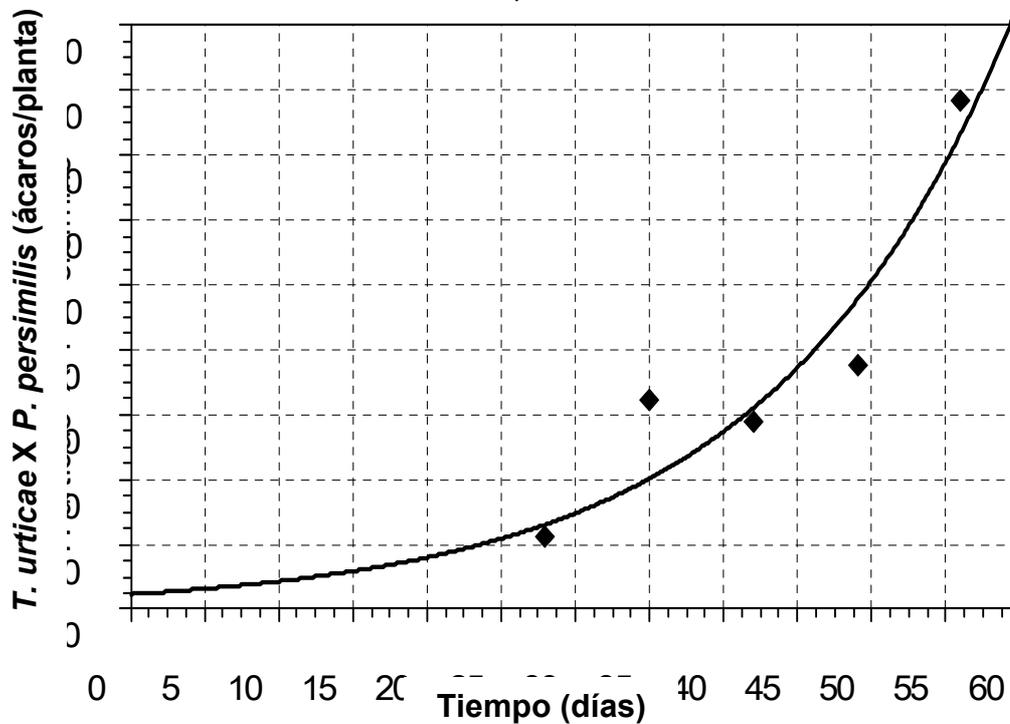


Fig. A.1.4. Determinación de la tasa de consumo del depredador ( $\beta$ ) por ajuste numérico de los datos  $(x, y)$  a una ecuación del tipo  $y = a e^{bx}$ , donde  $y$  es la población del fitófago *T. urticae* consumida por la población del fitoseido *P. persimilis*. Programa informático CurveExpert 1.3, (Hyams, 2005).

**Resultados:**

Exponential Fit:  $y = a e^{bx}$

Coefficient Data:

$B = a = 4.6817008$

$\beta = b = 0.0643603273$

Exponential Fit:  $y = a e^{bx}$

Standard Error: 19.1616329

Correlation Coefficient: 0.9423489

Comments:

The fit converged to a tolerance of 1e-006 in 6 iterations. No weighting used.

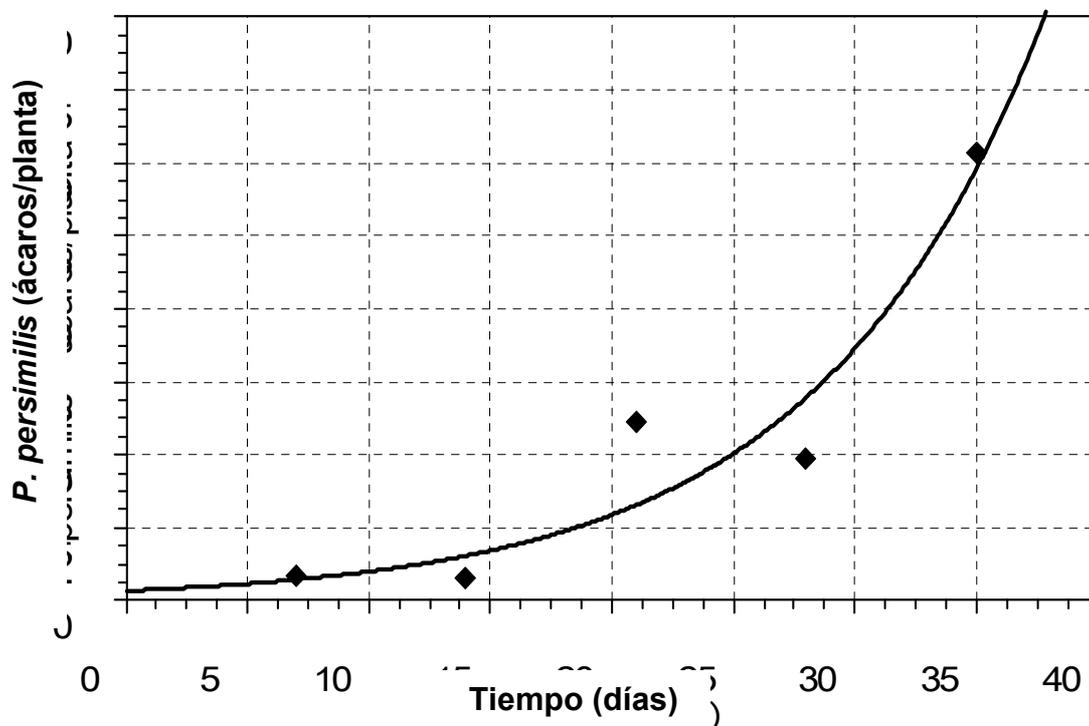


Fig. A.1.5. Determinación de la tasa de crecimiento del depredador *P.persimilis* ( $\gamma$ ) por ajuste numérico de los datos  $y = (x)$  a una ecuación de tipo  $y = ae^{bx}$ , en presencia de *T. urticae*. Programa informático CurveExpert 1.3, (Hyams, 2005).

**Resultados:**

Exponential Fit:  $y=ae^{(bx)}$

Coefficient Data:

C = a = 0.68816058

$\gamma = b = 0.10762344$

Exponential Fit:  $y=ae^{(bx)}$

Standard Error: 4.2230865

Correlation Coefficient: 0.9517227

Comments:

The fit converged to a tolerance of 1e-006 in 4 iterations. No weighting used.

### A.1.2. Parámetros numéricos de los ensayos con *T. turkestanii*

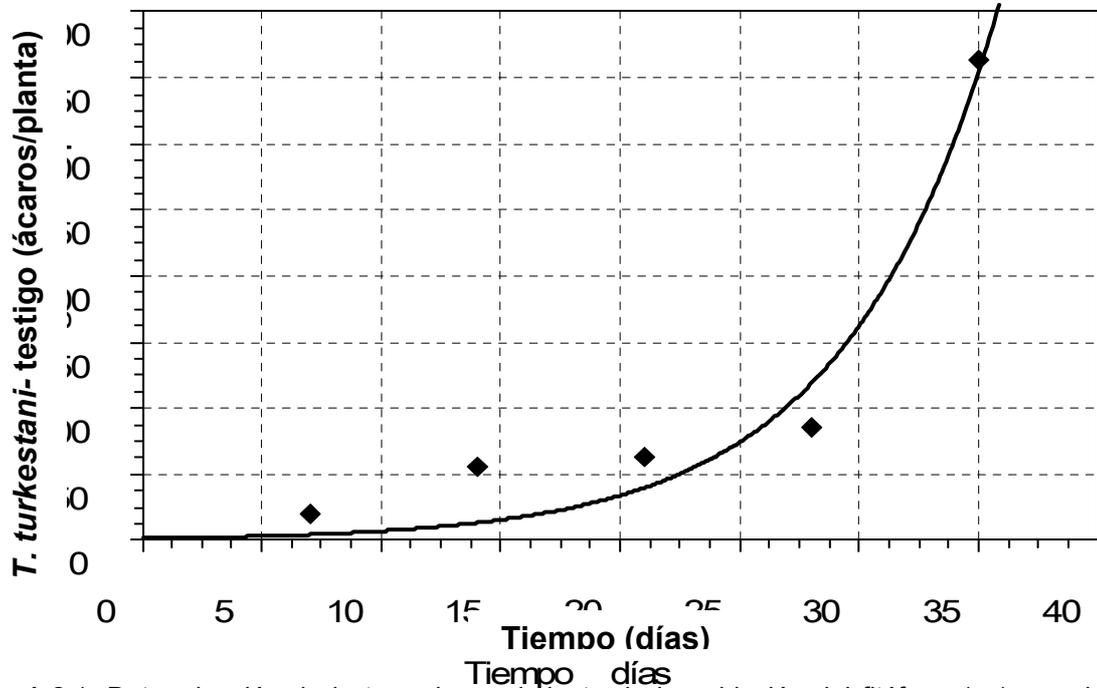


Fig. A.2.1. Determinación de la tasa de crecimiento de la población del fitófago ( $\alpha$ ) por ajuste numérico a una ecuación del tipo  $y = ae^{bx}$ , usando datos experimentales de *T. turkestanii* en ausencia de fitoseidos. Programa informático CurveExpert 1.3, (Hyams, 2005).

#### Resultados:

Exponential Fit:  $y=ae^{(bx)}$

Coefficient Data:

A = a = 1.5123539

$\alpha = b = 0.15608596$

Exponential Fit:  $y=ae^{(bx)}$

Standard Error: 32.8976801

Correlation Coefficient: 0.9741310

Comments:

The fit converged to a tolerance of 1e-006 in 40 iterations. No weighting used.

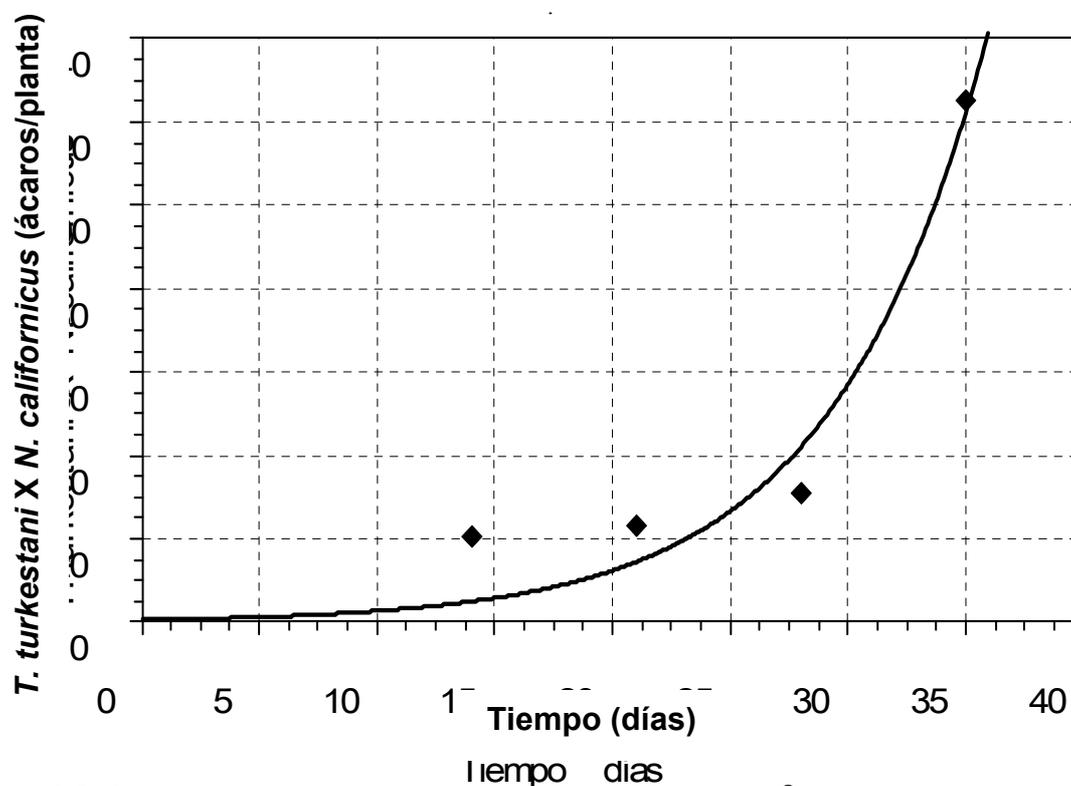


Fig. A.2.2. Determinación de la tasa de consumo del depredador ( $\beta$ ) por ajuste numérico de los datos  $(t, y)$  a una ecuación del tipo  $y = a e^{bx}$ , donde  $y$  es la población del fitófago *T. turkestanii* consumida por la población del fitoseido *N. californicus*. Programa informático CurveExpert 1.3, (Hyams, 2005).

**Resultados:**

Exponential Fit:  $y = a e^{(bx)}$

Coefficient Data:

$B = a = 0.59486217$

$\beta = b = 0.15230868$

Exponential Fit:  $y = a e^{(bx)}$

Standard Error: 15.0641614

Correlation Coefficient: 0.9697089

Comments:

The fit converged to a tolerance of 1e-006 in 34 iterations. No weighting used.

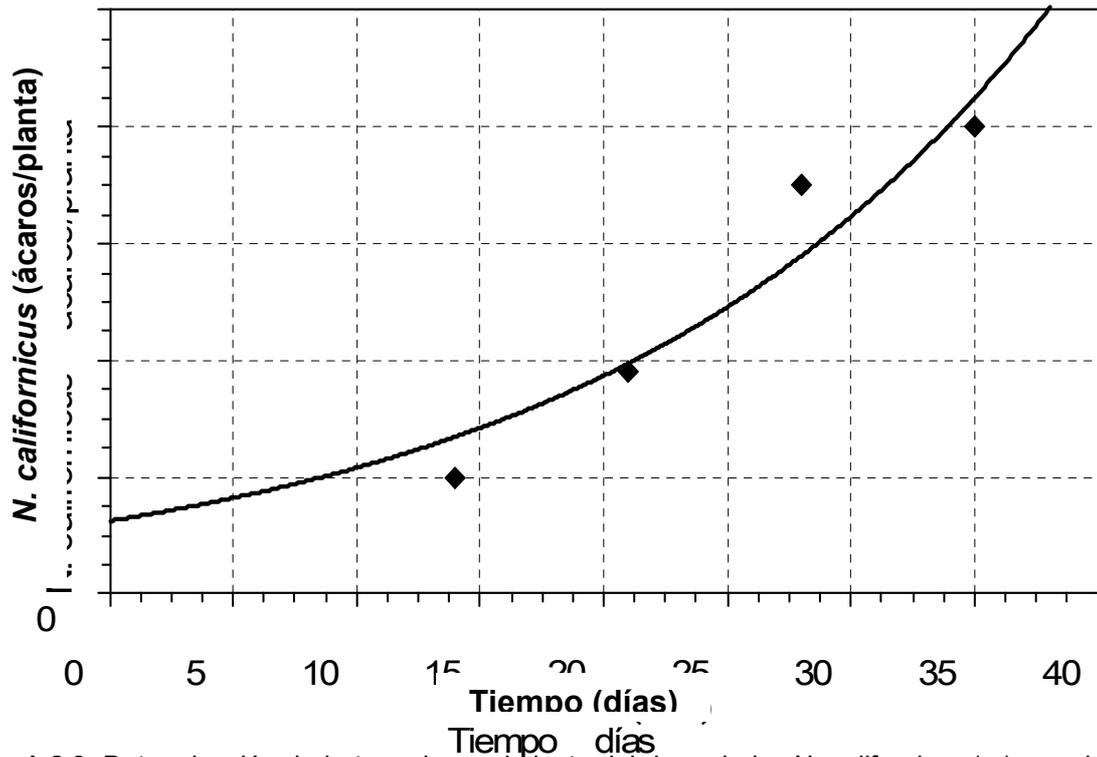


Fig. A.2.3. Determinación de la tasa de crecimiento del depredador *N. californicus* ( $\gamma$ ) por ajuste numérico de los datos = ( ) a una ecuación de tipo  $y = ae^{bx}$ , en presencia de *T. turkestanii*. Programa informático CurveExpert 1.3, (Hyams, 2005).

**Resultados:**

Exponential Fit:  $y=ae^{(bx)}$

Coefficient Data:

C = a = 0.62744004

$\gamma$  = b = 0.054716492

Exponential Fit:  $y=ae^{(bx)}$

Standard Error: 0.5250239

Correlation Coefficient: 0.9514594

Comments:

The fit converged to a tolerance of 1e-006 in 5 iterations. No weighting used.

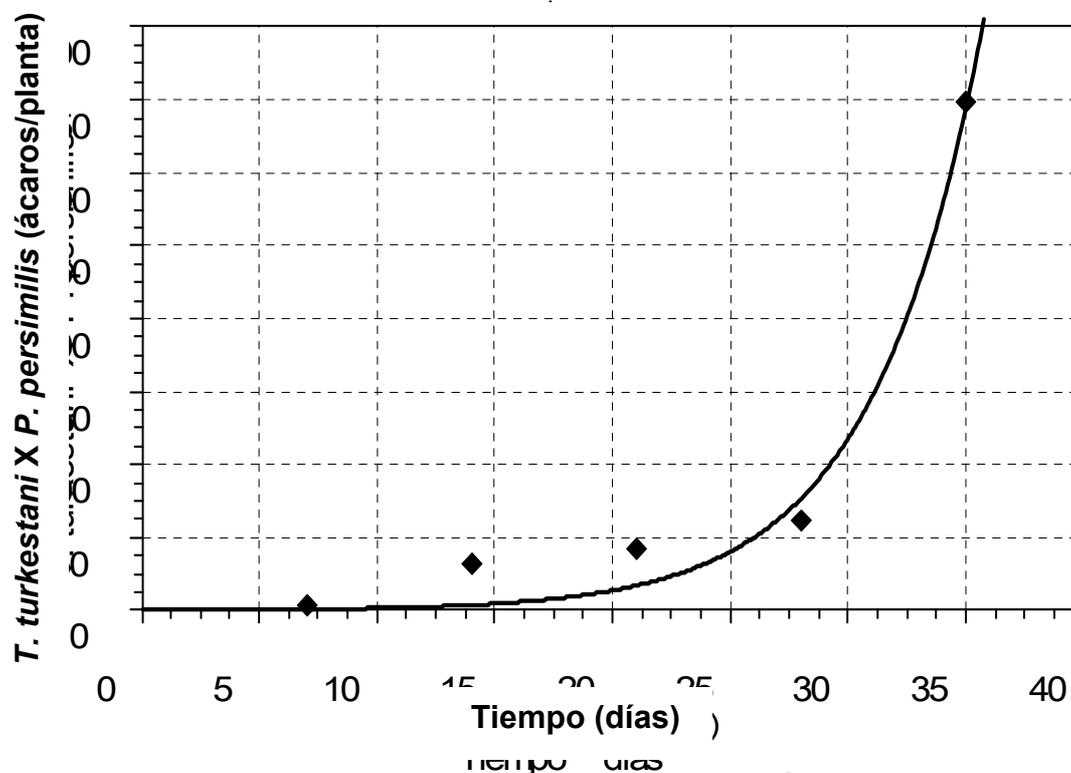


Fig. A.2.4. Determinación de la tasa de consumo del depredador ( $\beta$ ) por ajuste numérico de los datos  $(x, y)$  a una ecuación del tipo  $y = ae^{bx}$ , donde  $y$  es la población del fitófago *T. turkestanii* consumida por la población del fitoseido *P. persimilis*. Programa informático CurveExpert 1.3, (Hyams, 2005).

**Resultados:**

Exponential Fit:  $y=ae^{(bx)}$

Coefficient Data:

B = a = 0.19241098

$\beta = b = 0.2141697$

Exponential Fit:  $y=ae^{(bx)}$

Standard Error: 23.8067149

Correlation Coefficient: 0.9893721

Comments:

The fit converged to a tolerance of 1e-006 in 40 iterations. No weighting used.

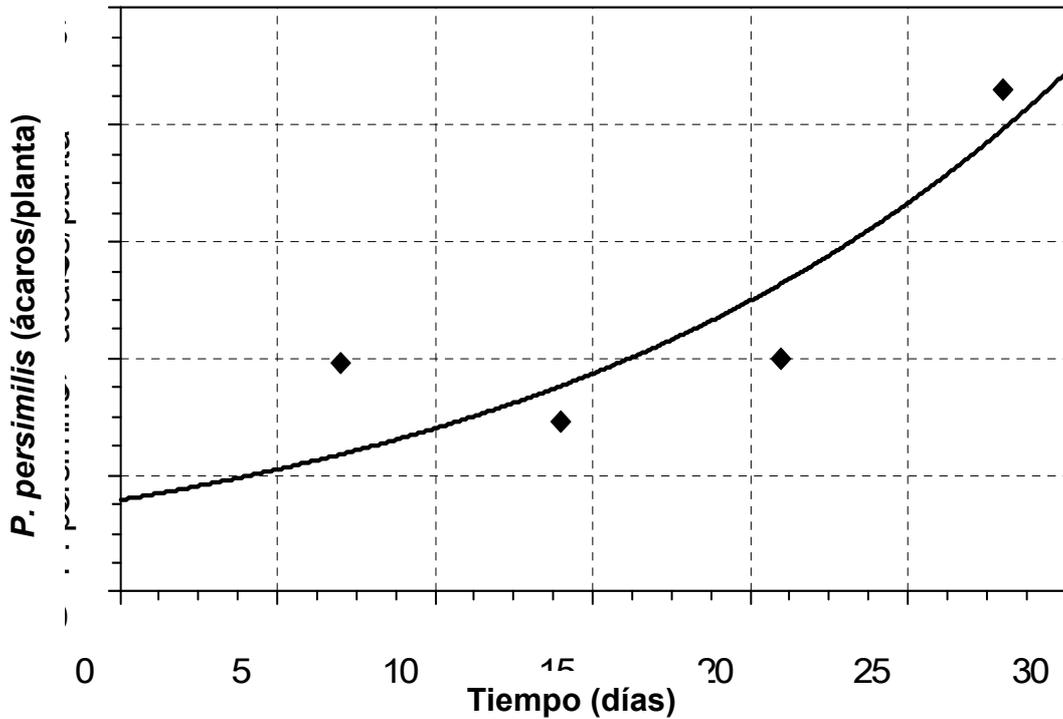


Fig. A.2.5. Determinación de la tasa de crecimiento del depredador *P.persimilis* ( $\gamma$ ) por ajuste numérico de los datos  $y = (x)$  a una ecuación de tipo  $y = ae^{bx}$ , en presencia de *T. turkestanii*. Programa informático CurveExpert 1.3, (Hyams, 2005).

**Resultados:**

Exponential Fit:  $y=ae^{(bx)}$

Coefficient Data:

C = a = 2.3650394

$\gamma = b = 0.054703847$

Exponential Fit:  $y=ae^{(bx)}$

Standard Error: 2.3625798

Correlation Coefficient: 0.8619127

Comments:

The fit converged to a tolerance of 1e-006 in 6 iterations. No weighting used.

## A.2. ALGORITMO DE SELECCIÓN (MATLAB 1.3)

### A.2.1. Ensayo *Tetranychus urticae* en presencia de *N. californicus*

```
clear;
clf reset;
X0=25;
Y0aux=linspace(1,25,25);
alfa=0.0474;
beta=0.0674;
gama=0.0372;
gafa=gama-alfa;
%
j=0;
k=0;
for i=1:25,
aux=(beta*Y0aux(i)+gafa*X0)/(beta*Y0aux(i));
if aux > 0
j=j+1;
TC(j)=1/gafa*log(aux);
Y0(j)=Y0aux(i);
Aj=(Y0(j)*beta+gama*X0-alfa*X0);
Bj=Y0(j)*beta;
Tmax(j)=(log(Aj*alfa)-log(Bj*gama))/gafa;
if Tmax(j) > 0
k=k+1;
Xmax(k)=(Aj/gafa)*exp(alfa*Tmax(j))-(Bj/gafa)*exp(gama*Tmax(j));
TXmax(k)=Tmax(j);
Y0max(k)=Y0(j);
end;
end;
end;
plot(Y0,TC,'k')
xlabel('Y0 - N. californicus (ácaro/planta)')
ylabel('Te de T. urticae (día)')
grid;
pause;
%
subplot(2,1,1);
plot(Y0max,TXmax,'k');
xlabel('Y0 - N. californicus (ácaro/planta)');
ylabel('Tmax - T. urticae (día) ');
grid;
pause;
%
subplot(2,1,2);
semilogy(Y0max,Xmax,'k');
xlabel('Y0 - N. californicus (ácaro/planta)');
ylabel('Pbmax - T. urticae (ácaro/planta)');
grid;
pause;
%
clf reset;
y0=4;
Tcj=(1/gafa)*log((beta*y0+gafa*X0)/(beta*y0));
A4=(y0*beta+gama*X0-alfa*X0);
```

```
B4=y0*beta;
for i=1:Tcj,
    tx4(i)=i;

xp4(i)=(A4/gafa)*exp(alfa*tx4(i))-(B4/gafa)*exp(gama*tx4(i));
end;
subplot(2,2,1);
plot(tx4,xp4,'k');
ylabel('T. urticae (ácaro/planta)');
xlabel('Tiempo (día) (N. californicus Y0 = 4)');
grid;
pause;
%
y0=6;
Tcj=(1/gafa)*log((beta*y0+gafa*X0)/(beta*y0));
A6=(y0*beta+gama*X0-alfa*X0);
B6=y0*beta;
for i=1:Tcj,
    tx6(i)=i;
    xp6(i)=(A6/gafa)*exp(alfa*tx6(i))-(B6/gafa)*exp(gama*tx6(i));
end;
subplot(2,2,2);
plot(tx6,xp6,'k');
ylabel('T. urticae (ácaro/plnata)');
xlabel('Tiempo (día) (N. californicus Y0 = 6)');
grid;
pause;
%
y0=8;
Tcj=(1/gafa)*log((beta*y0+gafa*X0)/(beta*y0));
A8=(y0*beta+gama*X0-alfa*X0);
B8=y0*beta;
for i=1:Tcj,
    tx8(i)=i;
    xp8(i)=(A8/gafa)*exp(alfa*tx8(i))-(B8/gafa)*exp(gama*tx8(i));
end;
subplot(2,2,3);
plot(tx8,xp8,'k');
ylabel('T. urticae (ácaro/planta)');
xlabel('Tiempo (día) (N. californicus Y0 = 8)');
grid;
pause;
%
y0=12;
Tcj=(1/gafa)*log((beta*y0+gafa*X0)/(beta*y0));
A12=(y0*beta+gama*X0-alfa*X0);
B12=y0*beta;
for i=1:Tcj,
    tx12(i)=i;
    xp12(i)=(A12/gafa)*exp(alfa*tx12(i))-(B12/gafa)*exp(gama*tx12(i));
end;
subplot(2,2,4);
plot(tx12,xp12,'k');
ylabel('T. urticae (ácaro/planta)');
xlabel('Tiempo (día) (N. californicus Y0 = 12)');
grid;
pause;
%
clf reset;
a=1.0;
```

```

b=0.0113;
x=linspace(0,400,100);
for i=1:100,
    da(i)=a*(1-exp(-b*x(i)))*100;
end;
subplot(2,1,1);
plot(x,da,'k');
xlabel('T. urticae (ácaro/planta)');
ylabel('Nivel de daño (%)');
grid;
pause;

%
for i=1:k,
    dax(i)=a*(1-exp(-b*Xmax(i)))*100;
end;
subplot(2,1,2);
plot(Y0max,dax,'k');
xlabel('Y0 - N. californicus (ácaro/planta)');
ylabel('Daño de T. urticae em Pbmax (%)');
grid;
pause;

```

### A.2.2. Ensayo *Tetranychus urticae* en presencia de *P. persimilis*

```

clear;
clf reset;
X0=25;
Y0aux=linspace(1,25,25);
alfa=0.0474;
beta=0.0643;
gama=0.1076;
gafa=gama-alfa;
%
j=0;
k=0;
for i=1:25,
    aux=(beta*Y0aux(i)+gafa*X0)/(beta*Y0aux(i));
    if aux > 0
        j=j+1;
        TC(j)=1/gafa*log(aux);
        Y0(j)=Y0aux(i);
        Aj=(Y0(j)*beta+gama*X0-alfa*X0);
        Bj=Y0(j)*beta;
        Tmax(j)=(log(Aj*alfa)-log(Bj*gama))/gafa;
        if Tmax(j) > 0
            k=k+1;
            Xmax(k)=(Aj/gafa)*exp(alfa*Tmax(j))-(Bj/gafa)*exp(gama*Tmax(j));
            TXmax(k)=Tmax(j);
            Y0max(k)=Y0(j);
        end;
    end;
end;
plot(Y0,TC,'k')
xlabel('Y0 - P. persimilis (ácaro/planta)')
ylabel('Te de T. urticae (día)')
grid;
pause;

```

```
%
subplot(2,1,1);
plot(Y0max, TXmax, 'k');
xlabel('Y0 - P. persimilis (ácaro/planta)');
ylabel('Tmax - T. urticae (día) ');
grid;
pause;

%
subplot(2,1,2);
semilogy(Y0max, Xmax, 'k');
xlabel('Y0 - P. persimilis (ácaro/planta)');
ylabel('Pbmax - T. urticae (ácaro/planta)');
grid;
pause;
%
clf reset;
y0=4;
Tcj=(1/gafa)*log((beta*y0+gafa*X0)/(beta*y0));
A4=(y0*beta+gama*X0-alfa*X0);
B4=y0*beta;
for i=1:Tcj,
    tx4(i)=i;
    xp4(i)=(A4/gafa)*exp(alfa*tx4(i))-(B4/gafa)*exp(gama*tx4(i));
end;
subplot(2,2,1);
plot(tx4,xp4,'k');
ylabel('T. urticae (ácaro/planta)');
xlabel('Tiempo (día) (P. persimilis Y0 = 4)');
grid;
pause;
%
y0=6;
Tcj=(1/gafa)*log((beta*y0+gafa*X0)/(beta*y0));
A6=(y0*beta+gama*X0-alfa*X0);
B6=y0*beta;
for i=1:Tcj,
    tx6(i)=i;
    xp6(i)=(A6/gafa)*exp(alfa*tx6(i))-(B6/gafa)*exp(gama*tx6(i));
end;
subplot(2,2,2);
plot(tx6,xp6,'k');
ylabel('T. urticae (ácaro/plnata)');
xlabel('Tiempo (día) (P.persimilis Y0 = 6)');
grid;
pause;
%
y0=8;
Tcj=(1/gafa)*log((beta*y0+gafa*X0)/(beta*y0));
A8=(y0*beta+gama*X0-alfa*X0);
B8=y0*beta;
for i=1:Tcj,
    tx8(i)=i;
    xp8(i)=(A8/gafa)*exp(alfa*tx8(i))-(B8/gafa)*exp(gama*tx8(i));
end;
subplot(2,2,3);
plot(tx8,xp8,'k');
ylabel('T. urticae (ácaro/planta)');
xlabel('Tiempo (día) (P. persimilis Y0 = 8)');
grid;
```

```

pause;
%
y0=12;
Tcj=(1/gafa)*log((beta*y0+gafa*X0)/(beta*y0));
A12=(y0*beta+gama*X0-alfa*X0);
B12=y0*beta;
for i=1:Tcj,
    tx12(i)=i;
    xp12(i)=(A12/gafa)*exp(alfa*tx12(i))-(B12/gafa)*exp(gama*tx12(i));
end;

subplot(2,2,4);
plot(tx12,xp12,'k');
ylabel('T. urticae (ácaro/planta)');
xlabel('Tiempo (día) (P.persimilis Y0 = 12)');
grid;
pause;
%
clf reset;
a=1.0;
b=0.0113;
x=linspace(0,200,100);
for i=1:100,
    da(i)=a*(1-exp(-b*x(i)))*100;
end;
subplot(2,1,1);
plot(x,da,'k');
xlabel('T. urticae (ácaro/planta)');
ylabel('Nivel de daño (%)');
grid;
pause;
%
for i=1:k,
    dax(i)=a*(1-exp(-b*Xmax(i)))*100;
end;
subplot(2,1,2);
plot(Y0max,dax,'k');
xlabel('Y0 - P. persimilis (ácaro/planta)');
ylabel('Daño de T. urticae em Pbmax (%)');
grid;
pause;

```

### A.2.3. Ensayo *Tetranychus turkestanii* en presencia de *N. californicus*

```

clear;
clf reset;
X0=25;
Y0aux=linspace(1,25,25);
alfa=0.1561;
beta=0.1523;
gama=0.0547;
gafa=gama-alfa;
%
j=0;
k=0;
for i=1:25,
    aux=(beta*Y0aux(i)+gafa*X0)/(beta*Y0aux(i));
    if aux > 0

```

```

j=j+1;
TC(j)=1/gafa*log(aux);
Y0(j)=Y0aux(i);
Aj=(Y0(j)*beta+gama*X0-alfa*X0);
Bj=Y0(j)*beta;
Tmax(j)=(log(Aj*alfa)-log(Bj*gama))/gafa;
if Tmax(j) > 0
    k=k+1;
    Xmax(k)=(Aj/gafa)*exp(alfa*Tmax(j))-(Bj/gafa)*exp(gama*Tmax(j));
    TXmax(k)=Tmax(j);
    Y0max(k)=Y0(j);
end;

end;
end;
plot(Y0,TC,'k')
xlabel('Y0 - N. californicus (ácaro/planta)')
ylabel('Te de T. turkestaní(día)')
grid;
pause;
%
subplot(2,1,1);
plot(Y0max,TXmax,'k');
xlabel('Y0 - N. californicus (ácaro/planta)');
ylabel('Tmax - T. turkestaní(día) ');
grid;
pause;
%
subplot(2,1,2);
semilogy(Y0max,Xmax,'k');
xlabel('Y0 - N. californicus (ácaro/planta)');
ylabel('Pbmax - T. turkestaní(ácaro/planta)');
grid;
pause;
%
clf reset;
y0=17;
Tcj=(1/gafa)*log((beta*y0+gafa*X0)/(beta*y0));
A4=(y0*beta+gama*X0-alfa*X0);
B4=y0*beta;
for i=1:Tcj,
    tx4(i)=i;
    xp4(i)=(A4/gafa)*exp(alfa*tx4(i))-(B4/gafa)*exp(gama*tx4(i));
end;
subplot(2,2,1);
plot(tx4,xp4,'k');
ylabel('T. turkestaní(ácaro/planta)');
xlabel('Tiempo (día) (N. californicus Y0 = 17)');
grid;
pause;
%
y0=18;
Tcj=(1/gafa)*log((beta*y0+gafa*X0)/(beta*y0));
A6=(y0*beta+gama*X0-alfa*X0);
B6=y0*beta;
for i=1:Tcj,
    tx6(i)=i;
    xp6(i)=(A6/gafa)*exp(alfa*tx6(i))-(B6/gafa)*exp(gama*tx6(i));
end;
subplot(2,2,2);

```

```

plot(tx6,xp6,'k');
ylabel('T. turkestaní(ácaro/plnata)');
xlabel('Tiempo (día) (N. californicus Y0 = 18)');
grid;
pause;
%
y0=19;
Tcj=(1/gafa)*log((beta*y0+gafa*X0)/(beta*y0));
A8=(y0*beta+gama*X0-alfa*X0);
B8=y0*beta;
for i=1:Tcj,
    tx8(i)=i;
    xp8(i)=(A8/gafa)*exp(alfa*tx8(i))-(B8/gafa)*exp(gama*tx8(i));
end;
subplot(2,2,3);

plot(tx8,xp8,'k');
ylabel('T. turkestaní(ácaro/planta)');
xlabel('Tiempo (día) (N. californicus Y0 = 19)');
grid;
pause;
%
y0=20;
Tcj=(1/gafa)*log((beta*y0+gafa*X0)/(beta*y0));
A12=(y0*beta+gama*X0-alfa*X0);
B12=y0*beta;
for i=1:Tcj,
    tx12(i)=i;
    xp12(i)=(A12/gafa)*exp(alfa*tx12(i))-(B12/gafa)*exp(gama*tx12(i));
end;
subplot(2,2,4);
plot(tx12,xp12,'k');
ylabel('T. turkestaní (ácaro/planta)');
xlabel('Tiempo (día) (N. californicus Y0 = 20)');
grid;
pause;
%
clf reset;
a=0.95;
b=0.0121;
x=linspace(0,500,100);
for i=1:100,
    da(i)=a*(1-exp(-b*x(i)))*100;
end;
subplot(2,1,1);
plot(x,da,'k');
xlabel('T. turkestaní (ácaro/planta)');
ylabel('Nivel de daño (%)');
grid;
pause;
%
for i=1:k,
    dax(i)=a*(1-exp(-b*Xmax(i)))*100;
end;
subplot(2,1,2);
plot(Y0max,dax,'k');
xlabel('Y0 - N. californicus (ácaro/planta)');
ylabel('Daño de T. turkestaní en Pbmax (%)');
grid;
pause;

```

### A.2.4. Ensayo *Tetranychus turkestanii* en presencia de *P. persimilis*

```

clear;
clf reset;
X0=25;
Y0aux=linspace(1,25,25);
alfa=0.1561;
beta=0.2142;
gama=0.1204;
gafa=gama-alfa;
%
j=0;
k=0;
for i=1:25,

aux=(beta*Y0aux(i)+gafa*X0)/(beta*Y0aux(i));
if aux > 0
    j=j+1;
    TC(j)=1/gafa*log(aux);
    Y0(j)=Y0aux(i);
    Aj=(Y0(j)*beta+gama*X0-alfa*X0);
    Bj=Y0(j)*beta;
    Tmax(j)=(log(Aj*alfa)-log(Bj*gama))/gafa;
    if Tmax(j) > 0
        k=k+1;
        Xmax(k)=(Aj/gafa)*exp(alfa*Tmax(j))-(Bj/gafa)*exp(gama*Tmax(j));
        TXmax(k)=Tmax(j);
        Y0max(k)=Y0(j);
    end;
end;
end;
plot(Y0,TC,'k')
xlabel('Y0 - P. persimilis (ácaro/planta)')
ylabel('Te de T. turkestanii(día)')
grid;
pause;
%
subplot(2,1,1);
plot(Y0max,TXmax,'k');
xlabel('Y0 - P. persimilis (ácaro/planta)');
ylabel('Tmax - T. turkestanii (día) ');
grid;
pause;
%
subplot(2,1,2);
semilogy(Y0max,Xmax,'k');
xlabel('Y0 - P. persimilis (ácaro/planta)');
ylabel('Pbmax - T. turkestanii(ácaro/planta)');
grid;
pause;
%
clf reset;
y0=5;
Tcj=(1/gafa)*log((beta*y0+gafa*X0)/(beta*y0));
A4=(y0*beta+gama*X0-alfa*X0);
B4=y0*beta;
for i=1:Tcj,
    tx4(i)=i;

```

```

xp4(i)=(A4/gafa)*exp(alfa*tx4(i))-(B4/gafa)*exp(gama*tx4(i));
end;
subplot(2,2,1);
plot(tx4,xp4,'k');
ylabel('T. turkestaní(ácaro/planta)');
xlabel('Tiempo (día) (P. persimilis Y0 = 5)');
grid;
pause;
%
y0=6;
Tcj=(1/gafa)*log((beta*y0+gafa*X0)/(beta*y0));
A6=(y0*beta+gama*X0-alfa*X0);
B6=y0*beta;
for i=1:Tcj,
    tx6(i)=i;
    xp6(i)=(A6/gafa)*exp(alfa*tx6(i))-(B6/gafa)*exp(gama*tx6(i));
end;
subplot(2,2,2);
plot(tx6,xp6,'k');

ylabel('T. turkestaní(ácaro/plnata)');
xlabel('Tiempo (día) (P.persimilis Y0 = 6)');
grid;
pause;
%
y0=8;
Tcj=(1/gafa)*log((beta*y0+gafa*X0)/(beta*y0));
A8=(y0*beta+gama*X0-alfa*X0);
B8=y0*beta;
for i=1:Tcj,
    tx8(i)=i;
    xp8(i)=(A8/gafa)*exp(alfa*tx8(i))-(B8/gafa)*exp(gama*tx8(i));
end;
subplot(2,2,3);
plot(tx8,xp8,'k');
ylabel('T. turkestaní(ácaro/planta)');
xlabel('Tiempo (día) (P. persimilis Y0 = 8)');
grid;
pause;
%
y0=12;
Tcj=(1/gafa)*log((beta*y0+gafa*X0)/(beta*y0));
A12=(y0*beta+gama*X0-alfa*X0);
B12=y0*beta;
for i=1:Tcj,
    tx12(i)=i;
    xp12(i)=(A12/gafa)*exp(alfa*tx12(i))-(B12/gafa)*exp(gama*tx12(i));
end;
subplot(2,2,4);
plot(tx12,xp12,'k');
ylabel('T. turkestaní(ácaro/planta)');
xlabel('Tiempo (día) (P.persimilis Y0 = 12)');
grid;
pause;
%
clf reset;
a=0.95;
b=0.0121;
x=linspace(0,500,100);
for i=1:100,

```

```
    da(i)=a*(1-exp(-b*x(i)))*100;
end;
subplot(2,1,1);
plot(x,da,'k');
xlabel('T. turkestan (ácaro/planta)');
ylabel('Nivel de daño (%');
grid;
pause;
%
for i=1:k,
    dax(i)=a*(1-exp(-b*Xmax(i)))*100;
end;
subplot(2,1,2);
plot(Y0max,dax,'k');
xlabel('Y0 - P. persimilis (ácaro/planta)');
ylabel('Daño de T. turkestan en Pbmax (%)');
grid;
pause;
```