

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

Dinámica poblacional de *Oligonychus perseae* Tuttle, Baker & Abbatiello (Acari:
Tetranychidae) en *Persea americana* (Mill.) en San Martín de León Cortés,
San José, Costa Rica

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agroalimentarias de la Universidad de Costa
Rica para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en
Fitotecnia

Ana María Solano Guevara

Ciudad Universitaria “Rodrigo Facio”, Costa Rica

2011

Miembros del Tribunal Examinador

Dr. Javier Monge Meza
Presidente del Tribunal

Handwritten signature of Javier Monge Meza in blue ink, written over a horizontal line.

Dr. Hugo Aguilar Piedra
Director de Tesis

Handwritten signature of Hugo Aguilar Piedra in blue ink, written over a horizontal line.

Dr. Julio Arias Reverón
Miembro del Tribunal

Handwritten signature of Julio Arias Reverón in blue ink, written over a horizontal line.

M.Sc. Allan González Herrera
Miembro del Tribunal

Handwritten signature of Allan González Herrera in blue ink, written over a horizontal line.

M.Sc. Eric Mora Newcomer
Miembro del Tribunal

Handwritten signature of Eric Mora Newcomer in blue ink, written over a horizontal line.

Ana María Solano Guevara
Sustentante

Handwritten signature of Ana María Solano Guevara in blue ink, written over a horizontal line.

DEDICATORIA

A mis padres, Otto Solano Rojas y María Cristina Guevara Solano

A mis hermanos, Edison y Gabriela

AGRADECIMIENTOS

A Dios por concederme la vida para iniciar y culminar este trabajo y por haberme dado la fortaleza, la paciencia y el optimismo para seguir adelante aún en los días más nublados.

A mis padres, por su incomparable amor, su entrega, su paciencia y apoyo incondicional, por sus palabras de aliento, sus oraciones y por todos los valores que me han inculcado, porque por ustedes soy la persona que soy; gracias Papi, gracias Mami...que Dios los bendiga! A Edison y a Gabriela, por su cariño y por el apoyo que siempre me han brindado; gracias porque siempre estuvieron ahí cuando más los necesité, que Dios los bendiga!

A mi estimado director de tesis, Dr. Hugo Aguilar, por haberme brindado la oportunidad de realizar este trabajo y por darme las herramientas necesarias para concretar este estudio. Gracias por el tiempo que dedicó en enseñarme las bases de una interesante disciplina como lo es la Acarología y por despertar en mí el espíritu de superación. Gracias por haber creído en mi persona, por colocar su confianza en mí y por el cariño y la paciencia que tuvo durante la realización de este trabajo. Mi respeto, mi agradecimiento y mi cariño!

A los miembros del Tribunal Examinador: M.Sc. Allan González por ser el promotor que impulsó la elaboración de este proyecto y por el apoyo logístico y financiero que recibí durante el estudio; al Dr. Julio Arias por su envidiable paciencia en enseñarme y ayudarme en el análisis estadístico de este trabajo, gracias a usted aprendí un poquito más sobre estadística y sobre dinámica de poblaciones; al M.Sc. Eric Mora por transmitirme sus valiosos conocimientos en el campo de la fruticultura; les agradezco a todos por la revisión de este manuscrito y por las valiosas sugerencias aportadas.

Al Ing. Omar Somarribas, coordinador de la Agrocadena de aguacate en la Zona de Los Santos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) por haberme brindado el apoyo logístico necesario para la realización de este estudio y por compartir sus conocimientos sobre el cultivo de este frutal en la zona.

A la M.Sc. María del Milagro Granados, por su ayuda en la identificación de los hongos encontrados en el material.

A Keylor Villalobos y a Alejandro Vargas por su compañía en las visitas a la finca. A mis compañeros y amigos del Museo de Insectos: Humberto Lezama, Pamela Murillo, Mirna Amador y Alonso Villegas por su amistad, su compañía y su apoyo. A mis amigas Cindy Aguilar y Elsa Naranjo, gracias!! Y a todos los que de alguna manera me ayudaron.

ÍNDICE

Portada.....	i
Hoja de aprobación por los miembros del Tribunal.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Índice.....	v
Índice de figuras.....	vii
Índice de cuadros.....	x
Resumen.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Historia de <i>Oligonychus perseae</i>	4
Ubicación sistemática.....	4
Generalidades de <i>O. perseae</i>	5
Biología de <i>O. perseae</i>	6
Construcción de nidos por <i>O. perseae</i>	8
Síntomatología y daños ocasionados	9
Generalidades sobre el cultivo del aguacate	10
Susceptibilidad del cultivar Hass al ataque de <i>O. perseae</i>	12

Otros ácaros asociados a aguacate	13
Dinámica poblacional de ácaros fitófagos	13
Efecto de los factores bióticos	14
Efecto de los factores abióticos	16
Hospederos alternativos como sitios de migración de <i>O. perseae</i>	18
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	19
Localización	19
Duración del experimento	19
Monitoreo de la dinámica poblacional de <i>O. perseae</i>	19
Muestreos preliminares	19
Muestreos	21
Muestreo de enemigos naturales asociados a la población de <i>O. perseae</i>	24
Estimación del daño foliar ocasionado por <i>O. perseae</i> necesario para inducir la caída de hojas	24
Monitoreo de variables climáticas	26
Análisis estadístico de los datos	26
V. RESULTADOS	29
VI. DISCUSIÓN.....	57
VII. CONCLUSIONES.....	71
VIII. RECOMENDACIONES.....	73
IX. UTILIDAD DEL ESTUDIO	73
X. BIBLIOGRAFÍA.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de vida de <i>Oligonychus perseae</i> (Modificado de Hoddle 2000).....	7
Figura 2. Diferentes estados de desarrollo de <i>Oligonychus perseae</i> dentro de sus nidos cubiertos de tela.....	8
Figura 3. Síntomas ocasionados por <i>Oligonychus perseae</i> en hojas de aguacate. A) superficie adaxial y B) superficie abaxial.....	9
Figura 4. Máquina cepilladora para ácaros empleada en los conteos de <i>O. perseae</i>	20
Figura 5. Mapa de la parcela experimental en San Martín de León Cortés, San José.....	22
Figura 6. Ubicación de las cajas plásticas en los árboles.....	25
Figura 7. Escala de evaluación visual para la estimación del porcentaje de área foliar dañada por <i>Oligonychus perseae</i> (Hoddle 2000).....	28
Figura 8. Variables climáticas y promedio total \pm Error Estándar (ES) de nidos de <i>Oligonychus perseae</i> en follaje procedente del estrato bajo y medio de árboles de aguacate cv. Hass en San Martín de León Cortés. Aplicaciones realizadas: A= acaricida; T+Lc= Thiamethoxam+Lambda-cyhalothrin. Etapa fenológica: CV: crecimiento vegetativo.....	31
Figura 9. Variables climáticas y promedio (\pm ES) de nidos ocupados y vacíos de <i>Oligonychus perseae</i> en follaje del estrato bajo (A) y medio (B) de árboles de aguacate cv. Hass en San Martín de León Cortés. Aplicaciones realizadas: A= acaricida; T+Lc= Thiamethoxam+Lambda-cyhalothrin. Etapa fenológica: CV: crecimiento vegetativo.....	33
Figura 10. Promedio (\pm ES) de cada estadio de <i>Oligonychus perseae</i> en los estratos bajo y medio de árboles de aguacate cv. Hass en San Martín de León Cortés y los parámetros climáticos de la zona. Aplicaciones realizadas: A=acaricida; T+Lc= Thiamethoxam+Lambda-cyhalothrin. Etapas fenológicas: CV: crecimiento vegetativo; F: floración; C: cosecha.....	35

- Figura 11.** Ácaros de la familia Phytoseiidae (A y B) y trips (C) rodeados de micelio de hongo encontrados en follaje de aguacate cv. Hass.....40
- Figura 12.** Especímenes encontrados en el follaje de aguacate atacados por hongos. A) Ácaro perteneciente a la familia Phytoseiidae con hifas de *Cladosporium* sp. en su interior; B) Trips rodeado de hifas y conidios de *Cladosporium* sp.; C) Fitoseido rodeado de hifas y saco de esporas de *Aspergillus* sp. (Vistos a 200X).....41
- Figura 13.** A) Bronceado ocasionado por *Oligonychus yothersi* en hojas de aguacate cv. Hass en San Martín de León Cortés, B) Aedeagus de *O. yothersi* a 400X.....42
- Figura 14.** *Calepitrimerus muesebecki* Keifer en el envés de hojas de aguacate cv. Hass observado a 50X.....43
- Figura 15.** *Tarsonemus* sp. (Tarsonemidae) en aguacate cv. Hass a 200X. A) Macho y B) Hembra.....44
- Figura 16.** Ácaro perteneciente a la familia Tydeidae asociado a aguacate. A) Forma móvil de *Tydeus* sp. a 50X. B) Huevos, formas móviles y mudas de *Tydeus* sp. dentro de un nido construido por *O. perseae* a 50X.....45
- Figura 17.** Huevos y hembra de *Galendromus* sp. junto con cadáveres de *O. perseae* dentro de un nido vistos a 50X.....46
- Figura 18.** *Agistemus* sp. encontrado en follaje de aguacate cv. Hass visto a 50X. A) Macho, B) Macho y ninfa en la axila de la nervadura.....47
- Figura 19.** Abundancia temporal y espacial (en los estratos bajo y medio de los árboles) de ácaros asociados a la plantación de aguacate cv. Hass en San Martín de León Cortés.....48
- Figura 20.** Fluctuación poblacional (promedio \pm ES) de huevos y estadios móviles de *Oligonychus perseae* y de ácaros depredadores en el estrato bajo (A) y medio (B) en árboles de aguacate cv. Hass en San Martín de León Cortés. (Aplicaciones realizadas: A: acaricida, T+Lc: Thiamethoxam+Lambda-cyhalothrin).....49
- Figura 21.** Hoja defoliada de aguacate cv. Hass con lesiones alrededor de las nervaduras y restos de tela producidos por *O. perseae*.....52

- Figura 22.** Hojas pequeñas y de reciente desarrollo atacadas por *O. perseae* encontradas en la plantación de aguacate cv. Hass en San Martín de León Cortés (A: envés; B: haz).....55
- Figura 23.** Daño foliar (promedio \pm ES) ocasionado por la actividad de *O. perseae* en hojas caídas de aguacate recolectadas en la plantación.....56

ÍNDICE DE CUADROS

- Cuadro 1.** Coeficientes de correlación (r) entre los nidos de *O. perseae* con los estadios del ácaro y las condiciones climáticas en San Martín de León Cortés.....36
- Cuadro 2.** Relaciones entre los estadios de *Oligonychus perseae* con la temperatura promedio y la precipitación registradas en San Martín de León Cortés.....38
- Cuadro 3.** Coeficientes de correlación (r) entre los niveles poblacionales de *O. perseae* y los ácaros depredadores presentes en la plantación estudiada.....51
- Cuadro 4.** Análisis de contingencia de la ubicación de las hojas caídas que mostraron lesiones producidas por *O. perseae* en cada muestreo.....53
- Cuadro 5.** Análisis de contingencia de tamaños de hojas defoliadas con presencia o ausencia de daños ocasionados por *O. perseae* en cada muestreo realizado en la plantación.....54

Solano, A.M. 2011. Dinámica poblacional de *Oligonychus perseae* Tuttle, Baker & Abbatiello (Acari: Tetranychidae) en *Persea americana* (Mill.) en San Martín de León Cortés, San José, Costa Rica.

Palabras claves: Acari, Tetranychidae, *Oligonychus perseae*, dinámica poblacional, aguacate.

RESUMEN

Este trabajo fue realizado con el objetivo de estudiar la dinámica poblacional de *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae) durante las estaciones seca y lluviosa en una plantación comercial de aguacate cv. Hass ubicada en San Martín de León Cortés, Costa Rica. Entre febrero y octubre del 2010 se realizaron muestreos cada 15 días en la finca; en cada visita se recolectó follaje de la periferia de los estratos bajo y medio de los árboles; tales estratos fueron establecidos previamente. Del material recolectado se cuantificó la cantidad de individuos por estadio de *O. perseae*, así como el número de nidos ocupados, vacíos y totales construidos por este ácaro. Estos datos fueron correlacionados con los datos climáticos de temperatura, humedad relativa y precipitación registrados en la zona durante el periodo de estudio. El follaje recolectado también se empleó en el muestreo de los posibles enemigos naturales de *O. perseae*, así como de otros ácaros encontrados en asocio con el cultivo; se realizó la respectiva identificación de los especímenes a nivel de género y se registró su correspondiente abundancia temporal y espacial. En cuatro de los muestreos realizados se cuantificó el total de follaje defoliado que mostró lesiones ocasionadas por el ácaro y se estimó su respectivo porcentaje de daño foliar; este material correspondió al follaje que cayó durante 15 días en cajas plásticas, las cuales fueron ubicadas en el suelo, bajo la sombra de los árboles. Los mayores niveles poblacionales de *O. perseae* fueron registrados entre finales de abril e inicios de agosto en el estrato bajo de los árboles, mientras que el mayor promedio de nidos se contabilizó en los meses de junio, julio y setiembre en la misma sección del follaje, donde el número de nidos vacíos prevaleció en los últimos muestreos. Con respecto a las variables climáticas, la temperatura fue la que presentó un mayor grado de asociación con las poblaciones del tetraníquido, mientras que

con la precipitación, se obtuvieron coeficientes de correlación bajos y no significativos con todos los estadios del ácaro. En el material procesado se encontró ácaros pertenecientes a la familia Phytoseiidae como *Galendromus* sp. y *Neoseiulus* sp. y de la familia Stigmaeidae se identificó a *Agistemus* sp., los cuales podrían ser posibles enemigos naturales de *O. perseae*. Se encontraron ácaros con síntomas ocasionados por hongos, los cuales correspondieron a *Cladosporium* sp. y *Aspergillus* sp., sin embargo, su incidencia fue muy baja. Los ácaros que se encontraron en asocio con el cultivo fueron: *Oligonychus yothersi* (McGregor), *Calepitrimerus muesebecki* Keifer, *Tarsonemus* sp., *Tydeus* sp., *Pronematus* sp. y *Typhloseiopsis* sp. Con respecto a la estimación del daño foliar se registró que las hojas defoliadas mostraron un daño ocasionado por *O. perseae* no mayor al 2% presentado tanto en hojas maduras como aquellas de desarrollo reciente.

I. INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es una fruta originaria de América tropical, la cual se cultiva desde México hasta Perú, incluyendo las Antillas (Morera 1983, Bernal y Díaz 2005). En Costa Rica, las plantaciones de este cultivo se ubicaron inicialmente en zonas bajas, con altitudes de 0 a 700 msnm.; sin embargo, las variedades sembradas eran muy susceptibles a la pudrición radical causada por *Phytophthora cinnamomi* (Rands), razón por la cual el cultivo tuvo que desaparecer de esas regiones (Cerdas et al. 2006).

Como consecuencia, en la década de los años 80 se introdujo cultivares adaptados a zonas intermedias y altas. Una de esas variedades que tomó auge fue la Hass, que fomentó la actividad aguacatera en las partes altas del país, sobre todo en la Zona de Los Santos (Cerdas et al. 2006). Hoy día, el cantón de León Cortés es la principal región productora de aguacate en Costa Rica, ya que de las 1.883 hectáreas dedicadas al cultivo, este cantón concentra el 49,8% de área sembrada (SIIM 2011).

Entre las especies plaga que atacan al cultivo está el ácaro *Oligonychus perseae*, el cual, según Tuttle et al. (1976) fue descrito por primera vez en 1975 en material de aguacate confiscado por las autoridades del área de Cuarentena del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) en El Paso, Texas. A partir de 1990, este ácaro se registró en plantaciones aguacateras en California, Estados Unidos; y actualmente, debido a su rápida expansión en la zona, se ha convertido en la principal plaga de follaje de este cultivo (Hoddle 2000).

En Costa Rica, *O. perseae* ataca árboles de aguacate ubicados en zonas superiores a los 1.200 msnm (Ochoa et al. 1991). Su presencia en el país se debió posiblemente a la introducción ilegal de material vegetativo de aguacate contaminado. Según estudios realizados por Kerguelen y Hoddle (2000), Hass es una de las variedades altamente susceptibles al ataque por este ácaro.

Las colonias de *O. perseae* se localizan en el envés de las hojas, a lo largo de las nervaduras. Como resultado de su alimentación, en el haz se forman largas bandas necróticas, las cuales reducen el área fotosintética de la hoja. En árboles severamente

dañados, puede ocasionar defoliación, debilitamiento general de la planta e incidir negativamente en la producción (Aponte y McMurtry 1997b, Téliz y Mora 2007).

Productores y técnicos de la zona de León Cortés conocen muy bien los síntomas que causa este ácaro y el daño que, según los mismos agricultores, ocasiona en la producción debido a la pérdida foliar¹, lo que conlleva a una constante preocupación, más aún por los daños económicos que ha causado en otras regiones productoras de aguacate como California (Kerguelen y Hoddle 2000). A pesar de esto, hasta que no se vislumbren aspectos importantes referentes al comportamiento del ácaro en la zona y no se cuantifique su daño, hay un peligro potencial en las áreas productoras.

En la zona de León Cortés no se realizan estudios sobre la dinámica poblacional del ácaro y los agentes que la pueden afectar desde 1996. Los factores ambientales como la temperatura, la humedad relativa y la lluvia pueden incidir positiva o negativamente en el ciclo biológico de *O. perseae*; por ende, podrían intervenir en la regulación de la densidad poblacional en las áreas de infestación (Gómez 2005).

Este estudio pretende generar información actualizada que pueda emplearse en el control eficaz de *O. perseae* y dar a conocer la acarofauna asociada a las plantaciones de aguacate. Asimismo, informar sobre los posibles enemigos naturales del ácaro residentes en la zona de estudio que podrían estar actuando como controladores biológicos.

¹Somarribas, O. El ácaro *O. perseae* en la Zona de Los Santos (entrevista). San José, CR, APACOOB. Comunicación personal

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Estudiar la dinámica poblacional del ácaro *Oligonychus perseae* durante las estaciones seca y lluviosa en una plantación comercial de aguacate ubicada en San Martín de León Cortés, San José.

2.2 Objetivos específicos

- 1) Relacionar el efecto de los factores climáticos de la zona como la temperatura, la humedad relativa y la precipitación sobre la población del ácaro y su distribución en el árbol.
- 2) Determinar las posibles causas de mortalidad del ácaro (durante las dos estaciones de investigación) y su efecto sobre la población.
- 3) Reconocer posibles enemigos naturales del ácaro, así como otros ácaros presentes en el cultivo.
- 4) Estimar el daño foliar ocasionado por *O. perseae* necesario para inducir la caída de hojas.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

Historia de *Oligonychus perseae*

Oligonychus perseae Tuttle, Baker & Abbatiello es nativo de México. Fue descrito por primera vez de especímenes recolectados en follaje de aguacate confiscado por el Departamento de Cuarentena del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés) en El Paso, Texas en 1975 (Tuttle et al. 1976). Posteriormente, en 1990, este ácaro fue registrado en San Diego, California y rápidamente se diseminó por todas las plantaciones de aguacate del estado. Otras regiones donde se ha informado su presencia en el cultivo es en Israel a partir del 2001 (Congreso Mundial de Aguacate 2007) y en España desde el 2004 (González-Fernández et al. 2008).

En Costa Rica, con base en el registro realizado por Salas (1978) sobre ácaros fitoparásitos y sus hospederos, se informó del hallazgo de este ácaro en los años de 1970 y 1976 en aguacate, sin embargo, inicialmente fue identificado de manera incorrecta como *Oligonychus peruvianus* (McGregor) por Estébanes y Baker (1968). Esta última especie es muy cercana a *O. perseae* y se ha informado como plaga del aguacate en Suramérica (Bolland et al. 1998).

Ubicación sistemática

Con base en Krantz (2009), *O. perseae* se ubica sistemáticamente de la siguiente manera:

Clase: Arachnida

Subclase: Acari

Super Orden: Acariformes

Orden: Trombidiformes

Suborden: Prostigmata

Super cohorte: Eleutherengonides

Cohorte: Raphignathina
Superfamilia: Tetranychoidae
Familia: Tetranychidae
Subfamilia: Tetranychinae

Generalidades de *O. perseae*

La familia Tetranychidae está conformada por ácaros de hábitos fitófagos; esta adaptación se debe a la presencia de estiletes quelicerales, móviles y recurvados cuyos segmentos basales se funden en una estructura retráctil llamada estilóforo. Morfológicamente, las especies que conforman esta familia poseen el complejo palpal-pulgar-uña, así como dos pares de setas dúplex en el tarso de la pata I (Gerson et al. 2003). Generalmente estos ácaros muestran un marcado dimorfismo sexual, siendo la hembra la de mayor tamaño (Ochoa et al. 1991). Los ácaros tetraníquidos se caracterizan por producir tela, la cual es secretada por una glándula unicelular localizada en cada uno de los pedipalpos (Téliz y Mora 2007). El género *Oligonychus* se distingue principalmente por tener empodios, así como uña empodial y la hembra presenta dos pares de setas anales y un par de setas paranales.

Con base en la descripción realizada por Tuttle et al. (1976) y Ochoa et al. (1991), las hembras de *O. perseae* tienen una coloración amarillo-verdosa con manchas oscuras en el histerosoma, aunque algunas presentan esta sección de tonalidad verde oscuro. La forma de su cuerpo es oval y ligeramente alargada. El gnatosoma es corto y ancho; el idiosoma presenta estrías longitudinales propodosomales que se extienden hasta el primer par de setas histerosomales dorsocentrales; por el contrario, las estrías del histerosoma son transversas, excepto por un patrón de “V” invertida entre el tercer par de setas histerosomales dorsocentrales. Además, tiene dos pares de setas dúplex aproximadas en el tarso I. Las ninfas son de color amarillo o verde con dos o más manchas oscuras pequeñas en la región histerosomal (Ochoa et al. 1991).

Los machos son más pequeños que las hembras, muestran una coloración amarillenta uniforme y poseen pequeñas manchas en el histerosoma. El podosoma es ancho mientras que el opistosoma es aguzado donde se ubica un aedeagus dirigido ventralmente, con una curvatura más larga y delgada que la de *O. peruvianus* (Ochoa et al. 1991).

Biología de *O. perseae*

Este ácaro pasa por cinco estadios de desarrollo: huevo, el cual es esférico y de color verde amarillento; la larva, que posee tres pares de patas y es móvil; le siguen dos etapas ninfales (protoninfa y deutoninfa) ambas móviles, con cuatro pares de patas y finalmente el adulto. Entre cada estadio ocurre una fase inactiva conocida como crisálida (Figura 1). Todos los estadios se desarrollan en colonias cubiertas por una tela profusa (comúnmente llamadas nidos) en el envés de las hojas (Hoddle 2000) (Figura 2).

Entre otros factores, la temperatura tiene una importante influencia en la duración del ciclo de vida de estos ácaros. Según Aponte y McMurtry (1997a), el proceso de desarrollo de huevo a adulto ocurre en 35 días a 15 °C, mientras que a 20, 25 y 30 °C el proceso se completa en 16,90; 13,87 y 9,81 días respectivamente y es la hembra la que requiere mayor tiempo en completar su desarrollo. Por lo general, la razón sexual de este ácaro es de 2:1 (2 hembras: 1 macho).

Según Hoddle (1998) una vez que las hembras ovipositan dentro de las colonias, los huevos eclosionan en 7, 6 y 4 días cuando la temperatura corresponde a 20, 25 y 30 °C respectivamente; estos valores se ubican dentro del ámbito informado para la mayoría de los tetraníquidos, el cual es de 3 a 10 días (Salinas y Reséndiz 1995). Se menciona que el promedio de vida del ácaro es de 40 días a 20 °C mientras que a 30 °C ocurre una alta mortalidad de huevos y estados inmaduros, así como una reducción de la longevidad de los adultos, la cual es de tan sólo 15 días (Aponte y McMurtry 1997a).

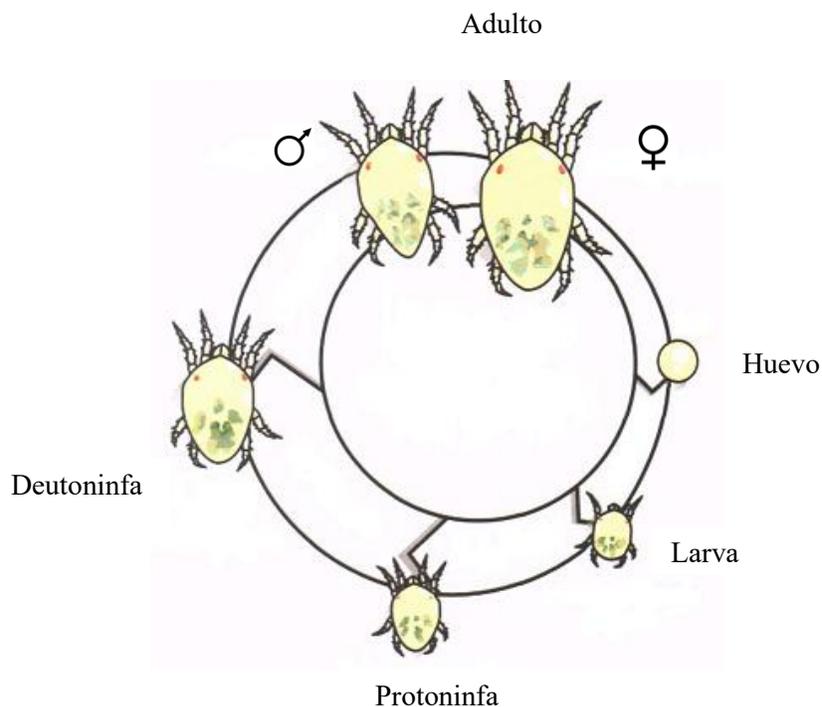


Figura 1. Ciclo de vida de *Oligonychus perseae* (Modificado de Hoddle 2000).

El tipo de reproducción de *O. perseae* es anfígónico; el apareamiento ocurre dentro de los nidos de tela, según Aponte y McMurtry (1997a). Su duración oscila entre 0,8 y 18,9 minutos a 25 °C. Se ha observado que los machos son los primeros en convertirse en adultos dentro de los nidos, por lo que al emerger la primera generación, los machos resguardan a las hembras hermanas desde que son deutoninfas para copular con ellas cuando emerjan como adultas. Generalmente los machos copulan con todas las hembras presentes en el nido antes de abandonarlo (Aponte y McMurtry 1997b, Téliz y Mora 2007). También pueden presentar partenogénesis facultativa arrenotoca, en la que los huevos dan origen a machos viables (Salinas y Reséndiz 1995).

Construcción de nidos por *O. perseae*

La formación de pequeñas colonias cubiertas con tela en el envés de las hojas, así como su comportamiento gregario, son aspectos característicos en este ácaro. Estas estructuras son construidas por las hembras, las cuales presentan un techo de tela densamente forrado y con una o dos aberturas semicirculares usadas como entradas o salidas (Téliz y Mora 2007).

La vida del ácaro transcurre dentro del nido; es en este sitio donde realiza todas sus funciones vitales (alimentación, reproducción, desarrollo), generalmente defeca fuera de éste a menos que haya hacinamiento o una reducción de la humedad dentro del nido. Otro motivo que provoca la salida de los ácaros (principalmente hembras adultas y estadios inmaduros) del nido es la búsqueda de otros nidos o nuevos lugares para construirlos. Es común encontrar “casas” en cuyo interior se encuentran únicamente huevos o inmaduros, ya que, las hembras los construyen, ovipositan y luego los abandonan para iniciar otro nuevo. Hasta dos generaciones pueden desarrollarse en el mismo lugar antes de que las hembras emigren para formar nuevas colonias (Aponte y McMurtry 1997b, Téliz y Mora 2007).

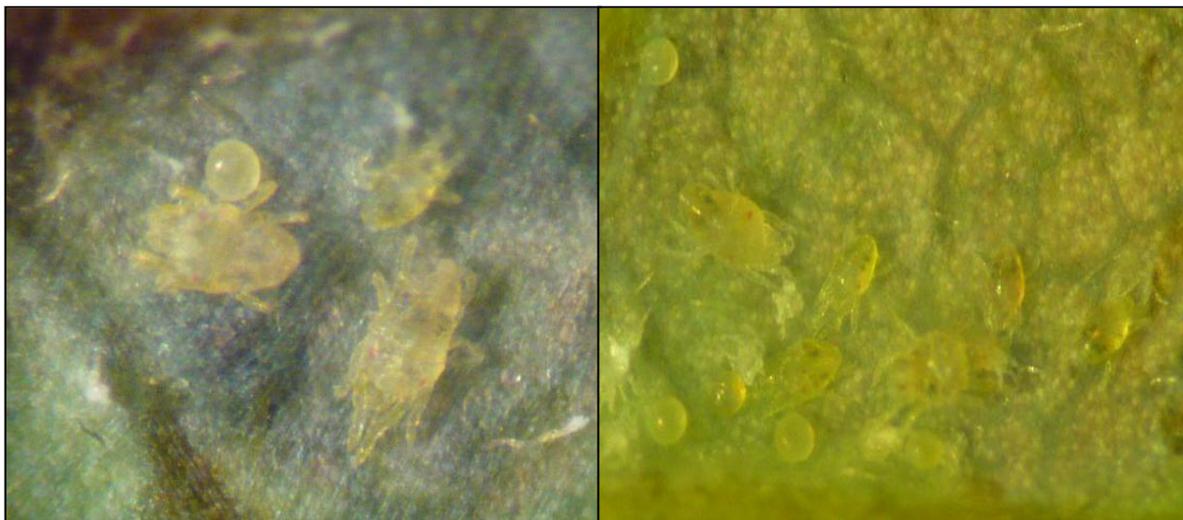


Figura 2. Diferentes estados de desarrollo de *Oligonychus perseae* dentro de sus nidos cubiertos de tela.

La tela que cubre a estos nidos crea un micro-hábitat favorable para el desarrollo de los ácaros, además los convierte en estructuras de protección a los huevos y estados inmaduros contra la deshidratación, los enemigos naturales, clima adverso y medidas de combate (Aponte y McMurtry 1997b).

Sintomatología y daños ocasionados

Producto de la alimentación de las colonias de *O. perseae* a lo largo de las nervaduras en el envés de las hojas, se forman manchas necróticas circulares por el haz (Figura 3) que en muchos casos confluyen entre sí hasta formar bandas que corren a ambos lados de las venas; este daño reduce sustancialmente el área fotosintética de la hoja (Aponte y McMurtry 1997b, Waite y Martínez 2002, University of California 2008). A nivel de tejidos, según Aponte y McMurtry (1997b), el ácaro inicialmente llega a afectar capas muy superficiales de la hoja como las células de la epidermis y del parénquima esponjoso; ya cuando el daño es mayor avanza al mesófilo y a las células del parénquima de empalizada.

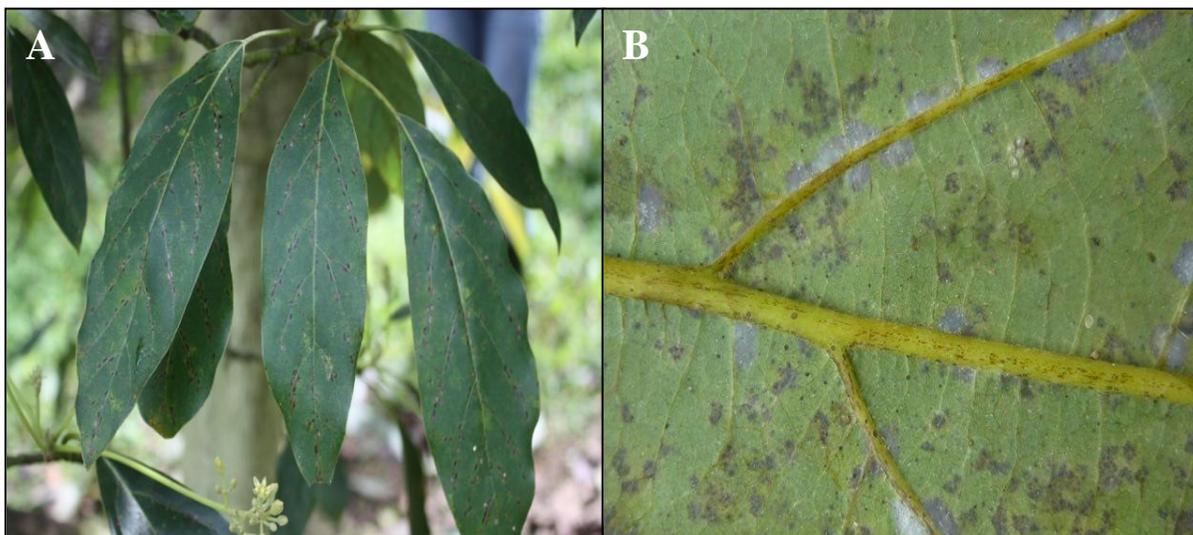


Figura 3. Síntomas ocasionados por *Oligonychus perseae* en hojas de aguacate. A) superficie adaxial y B) superficie abaxial.

Hoddle et al. (1999) informan que una alta densidad de ácaros (500 ácaros por hoja) y subsecuentemente su alimentación, pueden causar la parcial o total defoliación de los árboles. Cuando el tejido necrótico causado por el ácaro excede el 8% de la superficie foliar, hay una alta probabilidad de que ocurra una defoliación acelerada. Lo anterior ocasiona una apertura de la copa de los árboles e incrementa el riesgo de quema de sol de frutos inmaduros así como su caída prematura (Hoddle et al. 2000, Ripa y Larra 2008).

Generalidades sobre el cultivo del aguacate

El aguacate es una planta perenne que pertenece a la familia Lauraceae, es originaria de América Central y México. El árbol es de gran crecimiento vegetativo; con una raíz pivotante y un sistema radical absorbente muy superficial. Sus hojas son pecioladas, simples y alternas (INA 1988). Las flores son pequeñas, trímeras y perfectas las cuales están agrupadas en panículas. La floración en esta planta presenta una protoginia (es decir, en la flor maduran primero los órganos femeninos y luego los masculinos) con una dicogamia diariamente sincronizada (la flor abre en estado femenino, luego cierra para abrir al estado masculino) (Bernal y Díaz 2005, Ripa y Larra 2008). El fruto consiste de una drupa carnosa de forma variable.

El crecimiento del aguacate sigue un patrón en su ciclo estacional que se repite anualmente aunque difiere en su intensidad y en su escala temporal. Presenta tres tipos de crecimiento: el sistema radicular, los brotes vegetativos y los reproductivos, estos últimos comienzan con la floración, seguido por la cuaja, desarrollo y maduración del fruto. Este frutal presenta dos crecimientos vegetativos en una temporada completa, cada brotación es seguida por crecimiento radicular. La primera brotación inicia en la mitad del mes de marzo y se extiende a inicios de junio, mientras la segunda ocurre en agosto y finaliza en noviembre. El crecimiento reproductivo comienza después de un corto periodo de inactividad invernal del árbol, con el desarrollo de la yema floral seguido de la floración y fructificación. En cada brotación ocurre simultáneamente una caída de frutos ya que se da

una competencia por fuentes limitadas de recursos que fueron reducidas durante la floración (Ripa y Larra 2008).

El aguacate se propaga por vía sexual (por semilla) o asexual (por injerto), siendo la última técnica la más recomendable para mantener las características de una determinada variedad (INA, 1988). Los cultivares propagados por injerto comienzan a producir a partir del segundo año, entrando en plena producción hacia el tercer o cuarto año.

En materia nutricional, el aguacate tiene un alto contenido de fibra, sodio y es libre de colesterol. Tiene un alto contenido de grasas saludables monoinsaturadas y poliinsaturadas (como los ácidos grasos omega 3), vitaminas A, C, D, E, K y vitaminas del complejo B, así como potasio (SIIM 2011).

El aguacate se produce a nivel mundial, donde Estados Unidos, México, Chile, España, Israel, Sudáfrica, Australia y Nueva Zelanda son las principales regiones productoras (Lemus et al. 2010). En Costa Rica hay cinco regiones productoras de aguacate, las cuales comprenden las provincias de San José (los cantones de León Cortés, Dota y Turrazú con 49,8%; 17,4% y 10,5% respectivamente del área total sembrada (SIIM 2011); Desamparados, Aserri, Acosta y Goicoechea); Cartago (La Unión, Turrialba y Jiménez); Alajuela (Naranjo, Alfaro Ruiz y Grecia); Heredia (San Rafael) y Puntarenas (Coto Brus) (Arias 1999).

El principal cultivar en el mercado nacional es Hass, el cual se originó en la ciudad de La Habra Heights, California por Rudolph G. Hass por una semilla establecida a inicios de 1920 (Téliz y Mora 2007, Bernal y Díaz, 2005). Esta variedad pertenece a la raza guatemalteca y su fruto es piriforme, de cáscara gruesa, algo rugosa y de color verde que al madurar se torna oscura, tiene pulpa cremosa, con un contenido de aceite de 23,7% (grasas insaturadas) (Álvarez 1975, Lemus et al. 2010).

La variedad Hass se desarrolla adecuadamente en zonas entre 1.000 y 2.000 msnm (incluso hasta 2.500 msnm). Las temperaturas más favorables oscilan entre 16-18 °C, con baja humedad relativa y con precipitaciones por debajo de los 1.500 mm anuales. Los suelos aptos para el cultivo deben ser de textura liviana, profundos, muy bien drenados y con un pH neutro o ligeramente ácido (5,5 a 7) (Bernal y Díaz 2005, Cerdas et al. 2006).

Según el tipo de floración, esta variedad corresponde al tipo A, pues sus flores abren en la mañana como femeninas, luego cierran y abren como flores masculinas en la tarde del día siguiente. Generalmente la polinización ocurre por el traslape de flores de ambos sexos presentes en los árboles (Bernal y Díaz 2005).

En Costa Rica, las plantaciones de aguacate se pueden encontrar en asocio con otros cultivos, principalmente café, como sucede en la zona de Los Santos. Esto ha convertido al aguacate en una excelente alternativa económica para los productores de la zona, al abarcar nuevos nichos de mercado y así diversificar la actividad agrícola².

Sin embargo, la producción de aguacate nacional es insuficiente para abastecer la demanda doméstica, por lo que el faltante es cubierto por importaciones provenientes principalmente de México y Nicaragua (9.718 tm importadas en el 2010); no obstante, en ese mismo año se exportó un total de 27.647 kg con valor FOB de US\$ 47.922, siendo Panamá el país al que se le envió mayor producto para un total de 13.185 kg, con un valor FOB de US\$ 20.295, seguido de Nicaragua y Colombia (SIIM, 2011).

Susceptibilidad del cultivar Hass al ataque de *O. perseae*

Ensayos realizados anteriormente han declarado una alta susceptibilidad de la variedad Hass al ataque de *O. perseae*. Según Hoddle (2000) y Kerguelen y Hoddle (2000), Hass presentó el mayor porcentaje de área promedio de hojas dañadas por el ácaro, el cual correspondió a 38% en comparación con otros cultivares como Fuerte, Lamb Hass, Reed, Esther, Pinkerton y Gwen que mostraron valores de 13, 17, 17, 30, 30 y 37% respectivamente. Según Hoddle y Kerguelen (1999) la aparente susceptibilidad del cultivar Hass se debe principalmente a los cambios estacionales en la calidad nutricional de las hojas así como a su morfología, además, el estado nutricional del árbol durante el año y la edad del mismo pueden tener influencia directa.

²Somarribas, O. 2009. El cultivo de aguacate en la Zona de Los Santos (entrevista). San José, CR, APACOOOP. Comunicación personal.

Otros ácaros asociados a aguacate

Entre los ácaros fitófagos presentes en las plantaciones de aguacate están *Oligonychus yothersi* (McGregor) y *O. punicae* (Hirst), ambos pertenecientes a la familia Tetranychidae (Salas 1978 y Ochoa et al. 1991). Estos arácnidos se alimentan en el haz de las hojas, las cuales adquieren un color bronceado principalmente a los lados de las venas central y secundarias, así como en las depresiones de la lámina foliar (Ochoa et al. 1991). Según León (2003), infestaciones altas de *O. yothersi* pueden causar la defoliación parcial del árbol. A nivel de vivero, el ácaro *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) de la familia Tarsonemidae puede afectar el crecimiento de los brotes (Waite y Martínez 2002).

Dinámica poblacional de ácaros fitófagos

La dinámica de poblaciones es el estudio de los cambios que sufren las comunidades biológicas así como los factores y mecanismos que los regulan (Ripa y Larra 2008). La natalidad, la mortalidad y la migración son los factores que establecen el tamaño de cualquier población y son los causantes de que ocurran cambios importantes en la misma. El tamaño poblacional es el resultado de un equilibrio entre dos factores opuestos: el primero es el potencial biótico, el cual podría aumentar la población, suponiendo que haya condiciones ideales que permiten un índice máximo de natalidad y uno mínimo de mortalidad y el segundo, es el límite impuesto por el ambiente o también llamado resistencia ambiental que integra: la disponibilidad de alimento y espacio, la competencia con otros organismos y ciertas interacciones de las especies como la depredación (Elkinton 2007).

Diversos factores bióticos y abióticos no sólo modifican el tamaño sino también la estructura y distribución de una población de individuos como los ácaros. Entre estos factores se encuentran los dependientes de la densidad poblacional como son los enemigos naturales (insectos, ácaros depredadores y microorganismos patógenos) y como principal regulador abiótico está el clima, cuyo efecto es independiente de la densidad.

Efecto de los factores bióticos

La mayor parte del control biológico de *O. perseae* en plantaciones de aguacate es realizado por ácaros depredadores pertenecientes a la familia Phytoseiidae. Esta familia se caracteriza por agrupar especies depredadoras de ácaros tetraníquidos principalmente, así como de insectos pequeños y nematodos. Asimismo, se alimentan de hongos, polen y exudados extraflorales (Gerson et al. 2003).

Muchas especies de ácaros fitoseidos pueden afectar negativamente la abundancia poblacional de *O. perseae*. Estudios realizados por Hoddle et al. (1999) y Kerguelen y Hoddle (1999) demostraron que *Galendromus helveolus* (Chant) y *Neoseiulus californicus* (McGregor) son las especies con mayor eficiencia en reducir las poblaciones de este ácaro en plantaciones de aguacate en California.

El elevado control realizado por *G. helveolus* y *N. californicus* reside en su capacidad para entrar a los nidos de *O. perseae* y alimentarse. Ensayos realizados por Hoddle et al. (1999) demostraron el nivel de control que realizan estos depredadores al liberarlos solos o combinados después de 25% y antes del 75% de que las hojas de aguacate muestreadas estuvieran infestadas con *O. perseae*. Según los resultados obtenidos en el ensayo, *N. californicus* controla mejor la plaga cuando se encuentra en bajas densidades.

Con base en los resultados obtenidos por Cáceres y Childers (1991), *G. helveolus* es un depredador especialista de ácaros tetraníquidos cuya fuente de alimento la constituyen los huevos y estados inmaduros de la presa. Esta preferencia de alimento se evidenció en este estudio pues las protoninfas y deutoninfas prefirieron alimentarse de huevos y protoninfas de *Eotetranychus sexmaculatus* (Riley) cuando el resto de los estadios estaban disponibles, mientras que los adultos del fitoseido mostraron una mayor preferencia por los estadios ninfales; este comportamiento también se observó al alimentarse de *Panonychus citri* (McGregor), *Eutetranychus banksi* (McGregor) y *Tetranychus urticae* Koch.

Entre *G. helveolus* y *N. californicus*, el primero es más eficiente en invadir los nidos de *O. perseae*, ya que su pequeño tamaño le permite entrar por las aberturas del nido y la morfología setal de su cuerpo le facilita entrar y salir de la cobertura de tela por su larga

seta dorsal. Según Takano-Lee y Hoddle (2002b), *Galendromus* se caracteriza por tener una baja movilidad y su tendencia es a consumir preferiblemente huevos de *O. perseae*, asimismo, tiene una gran habilidad para rasgar las paredes de los nidos e invadirlos.

Montserrat et al. (2008) concluyó que las hembras de *N. californicus* son capaces de invadir los nidos del ácaro rasgando las paredes densamente superpuestas. Este ácaro es de mayor tamaño, lo que le dificulta entrar por las aberturas del nido, entonces rompen las paredes usando su primer par de patas para crear aberturas más grandes y así poder penetrar.

Ensayos realizados por Hoddle et al. (2000) evaluaron la cantidad y frecuencia óptima de liberaciones de *N. californicus* en plantaciones comerciales de aguacate atacadas por *O. perseae*. Los resultados mostraron que con una sola liberación de 2000 *N. californicus* o bien, 2 liberaciones de 1000 ácaros cada una, se obtuvo un control similar al obtenido por los aceites agrícolas (productos empleados comúnmente para su combate).

Otro ácaro depredador que se ha encontrado naturalmente en hojas de aguacate infestadas con *O. perseae* es *Euseius hibisci* (Chant). Según Hoddle et al. (1999), *E. hibisci* es un depredador generalista, donde el polen es parte fundamental en su dieta. No se considera un depredador efectivo contra *O. perseae* pues su gran tamaño le impide penetrar en los nidos, así como sus setas dorsales no son las adecuadas para un buen desplazamiento dentro de los mismos. Según un estudio realizado por González-Fernández et al. (2009) en España, la especie más abundante en las plantaciones de aguacate durante la primavera, con más del 80% de los individuos es *Euseius stipulatus* Athias-Henriot. Su presencia se correlacionó con una evolución en la abundancia de polen en la atmósfera; al ser una especie omnívora, el polen se convirtió en una fuente alternativa de alimento cuando hubo escasez de *O. perseae*, lo que posiblemente ayudó a mantener las poblaciones del fitoseido. Con base en este mismo estudio, el tipo de polen interfiere en la tasa de oviposición de *E. stipulatus*, ya que, la más alta correspondió al polen de aguacate ($1,91 \pm 0,09$ huevos.día⁻¹), mientras que con el polen de olivo y de maíz se obtuvo tasas de $1,36 \pm 0,14$ y $1,15 \pm 0,19$ huevos.día⁻¹, respectivamente. En ausencia de polen, no hubo puesta de huevos.

También se han registrado insectos depredadores que podrían reducir las poblaciones de *O. perseae* en las plantaciones. Entre las especies conocidas están *Hemerobius* sp. (Neuroptera: Hemerobiidae), *Chrysopa* sp. y *Chrysoperla* spp. (Neuroptera: Chrysopidae), *Stethorus picipes* Casey (Coleoptera: Coccinellidae), *Holobus oviformis* (Casey) (Coleoptera: Staphylinidae), *Scolothrips sexmaculatus* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) (Ripa y Larra 2008, University of California 2008).

Los microorganismos patogénicos pueden regular naturalmente las poblaciones de ácaros fitófagos e incluso, reducirlas significativamente. Ciertas especies de bacterias, hongos, protozoarios, nematodos y virus se han encontrado afectando ácaros, por lo que se consideran como potenciales candidatos para el control biológico de estos arácnidos (Poinar y Poinar 1998, Van Der Geest et al. 2000). Los hongos son el grupo del que se tienen mayores registros de especies con acción acaropatógena, principalmente géneros pertenecientes al orden Entomophthorales como *Entomophthora* spp. y *Neozygites* sp. Otro género del que se tiene informes de su acción patogénica en ácaros es *Hirsutella*; este hongo produce importantes niveles de mortalidad sobre poblaciones de tetraníquidos, tenuipálpidos y principalmente eriófidos (Zoebisch et al. 1992, Poinar y Poinar 1998, Van Der Geest et al. 2000).

Efecto de los factores abióticos

El clima es determinante en la abundancia poblacional de los ácaros. Según Darrouy (2000), la temperatura influye directamente en la actividad diaria de los ácaros y en su tasa de reproducción. Doreste (1988) informa que los tetraníquidos son favorecidos por tiempo seco y caliente, mientras que altas humedades suprimen el aumento poblacional y favorecen la muerte de los ácaros durante las mudas.

Una alta humedad relativa también ejerce un efecto negativo sobre la tasa de alimentación de los ácaros. Según un estudio realizado por Masís y Aguilar (1990), la tasa de alimentación del ácaro *Tetranychus urticae* Koch disminuyó en condiciones de alta

humedad, pero se fomentó en valores bajos debido a un mayor peligro de deshidratación del ácaro.

Según Gerson y Aronowitz (1981), en ambientes de baja humedad relativa hay una mayor producción de tela por los ácaros tetraníquidos tales como *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval). Hazan et al. (1974) registraron que a bajas humedades relativas, los ácaros producen mayor cantidad de tela y por ende, mayor número de nidos, debido a un aumento de la actividad metabólica y un alto riesgo de que las ninfas y los huevos sufran deshidratación.

Según Darrouy (2000), la lluvia es otro factor supresor de las poblaciones de ácaros tetraníquidos, pues en ausencia de ésta, las poblaciones crecen considerablemente, mientras en los meses de mayor precipitación ocurre una disminución abrupta. Según Masís y Aguilar (1990) los niveles poblacionales de *T. urticae* en tres variedades de fresa fueron afectados negativamente por el aumento de las lluvias, mientras al disminuir las precipitaciones, se observó un aumento en la población. Las condiciones de alta humedad propician la aparición de enfermedades y de una alta incidencia de patógenos como hongos acaro-patógenos, los cuales podrían contribuir a la reducción de estos arácnidos.

El último estudio realizado en la zona de León Cortés (entre 1993 y 1996) (Congreso Nacional Agronómico 1999), permitió registrar los picos poblacionales del ácaro dependiendo de las condiciones ambientales; de esta manera la población se redujo cuando las precipitaciones fueron altas, mientras en época seca, se dieron los mayores picos de población. Las condiciones ambientales también influyeron en la distribución vertical de los ácaros en el árbol, pues en los meses calurosos, estos arácnidos se ubicaron mayoritariamente en el estrato medio, mientras en los meses más lluviosos, los conteos fueron mayores en el estrato bajo.

Hospederos alternativos como sitios de migración de *O. perseae*

La sobrepoblación y el deterioro de las hojas son las causas principales de que los ácaros se dispersen y colonicen otros árboles y plantaciones. Generalmente, las hembras jóvenes y las deutoninfas son los estados migratorios, las cuales a través del viento, la maquinaria y la ropa de las personas se diseminan a otros sitios.

Plantas ornamentales, arvenses y frutales están dentro de los posibles hospedantes alternativos del ácaro *O. perseae*. Estas plantas pueden actuar como sitios de refugio durante periodos de defoliación y luego contribuir a la reinfestación de las plantaciones de aguacate. Dentro de los frutales se han registrado: albaricoque, melocotón, ciruela, nectarina, cítricos; así como *Asclepias fascicularis* Decne., *Sonchus* L. sp., *Chenopodium album* L., *Camphora officinalis* Steud., *Rosa* L. spp., *Bixa orellana* L., *Salix* L. spp., *Acacia senegal* (L.) Willd., *Malva* L. spp. y *Bambusa* Schreb. spp. (Hoddle 1998, University of California 2008).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El estudio de campo se realizó en una plantación comercial de aguacate ubicada a 9°43'56" latitud Norte, 84°00'36" longitud Oeste y a una altura de 1.830 msnm en San Martín de León Cortés. La plantación se localizó en un lote de 1,8 has sembrado con 346 árboles de la variedad Hass de 5-6 años de edad. Todos los árboles del lote recibieron el mismo manejo cultural. El procesamiento de las muestras se realizó en el Laboratorio de Acarología, Museo de Insectos, Escuela de Agronomía, Universidad de Costa Rica.

Duración del experimento

El ensayo se llevó a cabo entre febrero y octubre de 2010. Los muestreos se realizaron cada 15 días hasta completar el periodo de evaluaciones, el cual abarcó 36 semanas.

Monitoreo de la dinámica poblacional de *O. perseae*

Muestreos preliminares:

Antes de iniciar el estudio, se realizaron muestreos en la finca con el objetivo de definir los tamaños de muestra requeridos para conocer la dinámica poblacional de *O. perseae*. Las variables que se establecieron para evaluar fueron: número total de nidos por hoja, número de nidos ocupados y desocupados por hoja y la cantidad de individuos por estadio del ácaro.

En cada una de las visitas, el muestreo consistió en la selección aleatoria de 10 árboles que mostraran síntomas ocasionados por *O. perseae*; en cada uno de ellos, se estableció dos estratos: el bajo, el cual consistió en el follaje ubicado aproximadamente a 1,50 m de la superficie del suelo y el estrato medio que se localizó entre 1,50 y 1,80 m. De cada árbol se recolectaron 15 hojas por estrato, las cuales provenían de la sección terminal de las ramas; de cada una de las hojas se contabilizó el número de nidos ocupados y

desocupados que presentaba; el total de nidos se obtuvo de la suma de los anteriores. Para el conteo de los estadios del ácaro se emplearon 10 hojas terminales por estrato provenientes de seis árboles; con la ayuda de la máquina cepilladora para ácaros diseñada por Henderson y McBurnie (1943) (Figura 4), se obtuvo la cantidad de cada estadio por submuestra de cinco hojas. El material recolectado se procesó y los datos obtenidos fueron analizados con el programa estadístico JMP v 7.0.1 (SAS Institute, 2007)³.

El tamaño de las muestras se estableció con los resultados del análisis estadístico y por el tiempo invertido en el procesamiento del material tanto en campo como en el laboratorio.

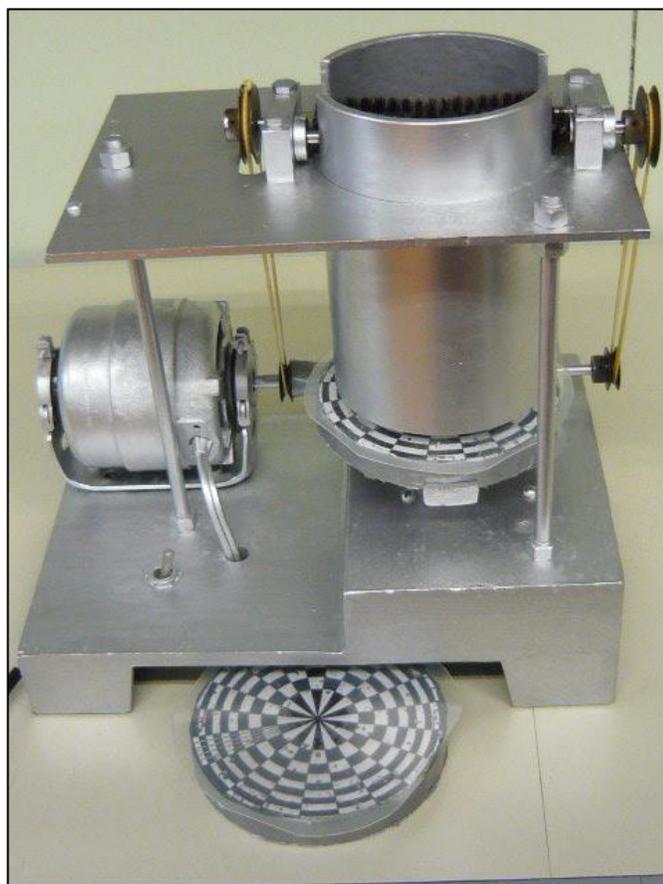


Figura 4. Máquina cepilladora para ácaros empleada en los conteos de *O. perseae*.

³Arias, J. 2010. Análisis estadístico de los datos. San José, Costa Rica. UCR. Comunicación personal.

Con los datos recopilados, se calculó un modelo de regresión lineal del total de nidos por estrato; las medias fueron comparadas mediante un análisis de varianza y se estimó el número de hojas por muestrear en cada estrato. La cantidad de árboles requeridos para los muestreos se calculó mediante la fórmula (Southwood y Henderson (2000)):

$$n_p = \frac{\left(\frac{s_w^2}{n_s} \right) + s_b^2}{(\bar{x} + E)^2}$$

Donde:

n_p = número de árboles.

s_w^2 = varianza dentro de árboles.

s_b^2 = varianza entre árboles.

n_s = número de árboles muestreados.

\bar{x} = promedio de las muestras preliminares.

E = error estándar predeterminado (el valor tomado fue de 0,10).

Con los datos obtenidos con la máquina cepilladora para ácaros se calculó, con un 10% de precisión, el número óptimo de hojas para estimar todos los estadios del ácaro.

Muestreos:

Tratando de abarcar la mayor área posible de la plantación, se siguió una ruta por medio de la cual se seleccionaron 10 árboles diferentes por fecha de muestreo (Figura 5). En cada árbol se establecieron los dos estratos, siguiendo la metodología realizada en los muestreos preliminares. Del follaje ubicado en la periferia de cada estrato se cuantificó, a nivel de campo, la cantidad total de nidos de *O. perseae* presentes en cada hoja. De cada uno de los diez árboles se revisó una muestra de 23 y 34 hojas para el estrato bajo y medio respectivamente; cada muestra correspondió con 10% de precisión de muestreo.

De cada uno de los estratos, se recolectaron 25 hojas ubicadas en la periferia de la circunferencia del árbol. Estas hojas se colocaron dentro de bolsas plásticas de 35 x 24 cm

previamente identificadas por árbol y estrato. El material se almacenó en una hielera y se trasladó al Museo de Insectos de la Universidad de Costa Rica.

En la figura 5, se presenta el mapa de la parcela en que se realizaron los muestreos así como la ruta seguida para la recolección del material en cada fecha de muestreo.

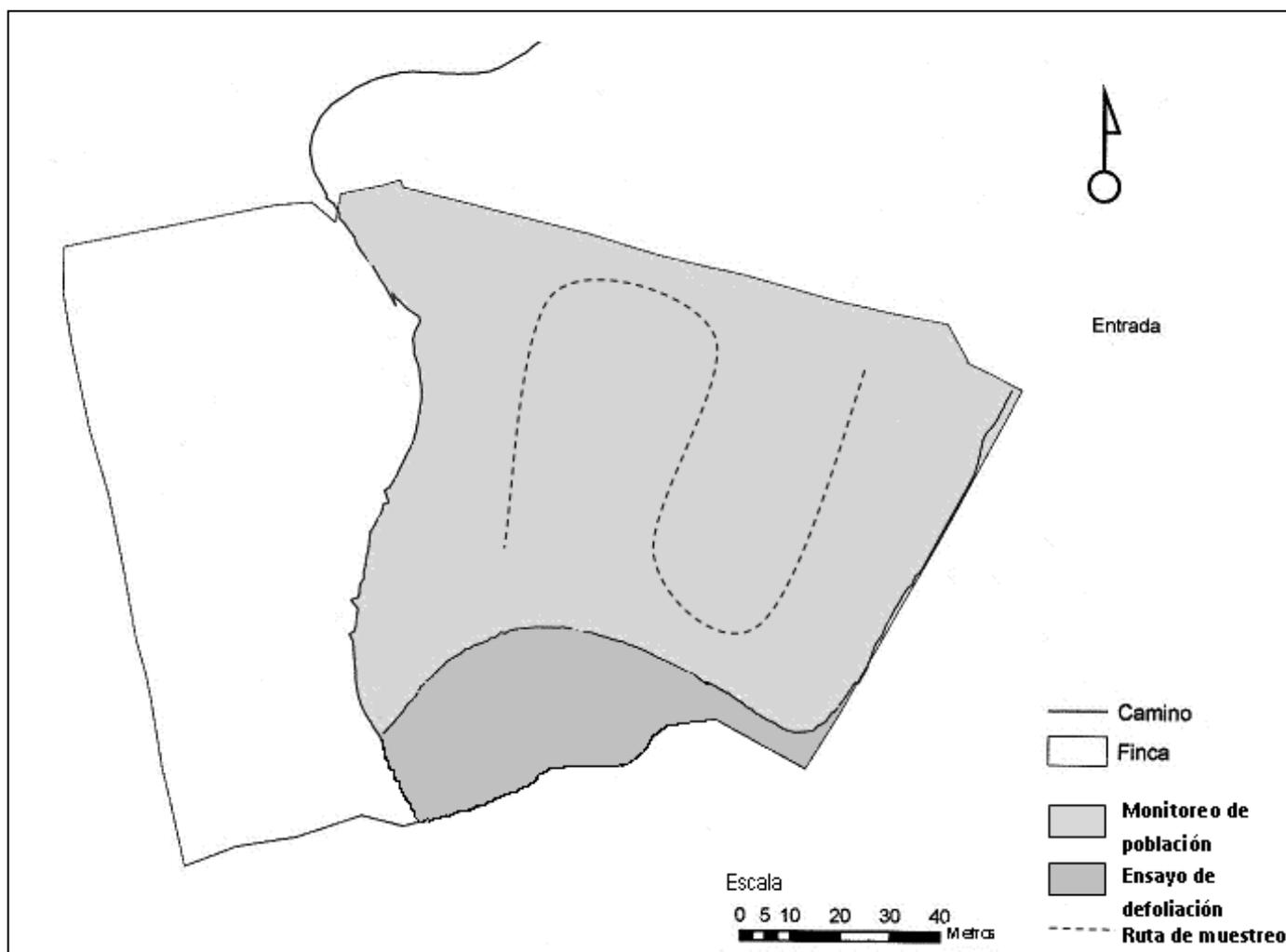


Figura 5. Mapa de la parcela experimental en San Martín de León Cortés, San José.

Una vez en el Museo, las muestras se mantuvieron en refrigeración a una temperatura de 4 a 5 °C para el posterior conteo de nidos ocupados y desocupados. Asimismo, esta muestra se utilizó para estimar con una precisión de 10% todos los estadios en que se encontraba la población del ácaro.

Las hojas de aguacate se observaron con la ayuda de un estereoscopio (Nikon SMZ645) y de cada una se contabilizó el número de nidos ocupados y vacíos y se registró el estado fenológico de éstas (las hojas nuevas eran tiernas y de color rojizo o verde claro, mientras las hojas maduras o viejas eran de color verde oscuro y con láminas muy endurecidas). Además, se anotó los ácaros afectados por hongos.

Para verificar la identificación de *O. perseae*, se realizó inicialmente el montaje microscópico tanto de hembras como de machos. Los ácaros se montaron en portaobjetos con solución Hoyer (Krantz 2009), luego se les colocó un cubreobjetos circular; las láminas se colocaron en una estufa (40-45 °C) por al menos tres días para su completa clarificación. Posteriormente se selló el material con barniz para pisos, poliuretano brillante ACE 1968924[®] y se procedió a identificar los especímenes con el uso de microscopios marca Meiji Techno modelo MX5310H y Olympus modelo B 51, ambos con contraste de fases y con la descripción taxonómica disponible en Tuttle et al. (1976) y Ochoa et al. (1991).

Para el proceso de conteo de huevos, larvas, ninfas y adultos del ácaro en cada estrato del árbol, el material recolectado se dividió en cinco submuestras de cinco hojas cada una. El conteo se realizó con ayuda del estereoscopio. Cuando las hojas presentaron más de 20 nidos ocupados, cada una de ellas se pasó tres veces a través de la máquina cepilladora para ácaros de acuerdo a la metodología utilizada por Macmillan (2005). Esta máquina “barrió” y recolectó los huevos y las formas móviles en un disco giratorio dividido en 20 secciones. Para cada submuestra, al plato se le aplicó un adhesivo (fijador sólido de cabello marca Glostora) a su superficie.

Con ayuda del estereoscopio, se contabilizó los estadios del ácaro en el disco completo al ser la población menor de 25 individuos por submuestra; cuando la cantidad fue mayor, se contó los estadios presentes en cinco secciones del disco de acuerdo con Henderson y McBurnie (1943); luego, se calculó el promedio de la población encontrada en

esas secciones y se multiplicó por 20 para obtener la cantidad total por estadio. Los valores obtenidos por estadio de cada submuestra se registraron y se estimó la densidad promedio por fecha de muestreo.

Muestreo de enemigos naturales asociados a la población de *O. perseae*

Las hojas recolectadas para contabilizar la población de *O. perseae* se emplearon en el muestreo de posibles enemigos naturales del ácaro. En el caso de ácaros, los adultos se montaron siguiendo el protocolo explicado anteriormente para *O. perseae*; los especímenes se observaron en un microscopio con contraste de fases.

Los ácaros fueron identificados hasta las categorías de familia y género con el uso de las claves taxonómicas de Denmark et al. (1999), Chant y McMurtry (2007) y el material suministrado por el Acarology Summer Program de la Universidad Estatal de Ohio realizado en el 2009. También se empleó el material montado de la colección de referencia de ácaros del Laboratorio de Acarología. Se registró el número promedio de individuos de cada familia por estrato, para cada fecha de muestreo.

Los ácaros afectados por hongos se montaron en placas con medio Hoyer y se llevaron para su identificación al Laboratorio de Fitopatología del Centro de Investigaciones en Protección de Cultivos (CIPROC), Escuela de Agronomía de la Universidad de Costa Rica.

Los especímenes fueron depositados en la colección de Ácaros de Importancia Agrícola del Laboratorio de Acarología, Museo de Insectos, Universidad de Costa Rica.

Estimación del daño foliar ocasionado por *O. perseae* necesario para inducir la caída de hojas

El material requerido para esta sección fue recolectado en el primer muestreo de cada uno de los meses de marzo, mayo, julio y octubre. Se seleccionaron cinco árboles que

se encontraban en condiciones edáficas y nutricionales muy semejantes y a los cuales no se les aplicó ningún producto agroquímico durante el estudio. En el suelo, ocho cajas plásticas rectangulares de 1.500 cm² fueron colocadas bajo la sombra de cada árbol (Figura 6); de éstas, cuatro se situaron cerca del tronco y el resto en la periferia de la copa. Estos recipientes recolectaron las hojas que cayeron durante 15 días; trascurrido ese tiempo, el material se guardó en bolsas plásticas y se trasladó al Museo de Insectos para su análisis.

Del total de hojas recolectadas, se contabilizó el material que no mostró daños por el ácaro y el que sí lo presentaba; para esto se consideró la ubicación en el árbol y el tamaño de la hoja. Con respecto al tamaño se establecieron dos categorías: “Pequeñas”: hojas con una longitud menor o igual a 7 cm, y “Grandes”: con una longitud mayor a 7 cm. De cada una de las hojas dañadas por *O. perseae* se registró el número de manchas necróticas sobre el haz y luego, se determinó el porcentaje de daño foliar.



Figura 6. Ubicación de las cajas plásticas en los árboles.

Monitoreo de variables climáticas

Durante las semanas de evaluación, los valores de temperatura (promedio, máxima y mínima), humedad relativa y precipitación se obtuvieron de la estación meteorológica marca Davis, Modelo Vantage Pro 2 ubicada en las oficinas de APACOOOP R.L. en Santa Cruz de León Cortes, a 9°43'53" latitud Norte y 84°01'26" longitud Oeste y a 1.650 msnm. Esta estación fue la más cercana al área experimental, cuya distancia entre ambos sitios fue de 1,5 Km en línea recta con rumbo 87° (Este).

Análisis estadístico de los datos

Para conocer el patrón de distribución del ácaro en cada uno de los estratos del árbol, se calculó el índice de dispersión el cual correspondió al cociente del promedio y la varianza de la población del ácaro.

Además de graficar la cantidad de nidos y las curvas poblacionales de los estadios de desarrollo del ácaro y su relación con los parámetros climáticos (temperatura, humedad relativa y precipitación), se efectuó un análisis de correlación así como regresiones mediante el programa estadístico JMP v 8.0.1 (SAS Institute 2008) para determinar la asociación entre las principales variables del clima y las poblaciones de *O. perseae*, así como el número de nidos encontrados en cada fecha de muestreo. Este mismo análisis se realizó para determinar la asociación espacial entre los depredadores con la población del tetraníquido.

Del material defoliado se realizó una estimación del porcentaje de daño foliar ocasionado por el ácaro mediante la ecuación:

$$Y = 1,04 * 10^{-3} x$$

Donde:

Y= porcentaje de área foliar dañada.

x= número de nidos o manchas necróticas producidas por el ácaro.

Dicha ecuación se creó mediante una regresión lineal con base en la escala porcentual de evaluación visual del daño ocasionado por *O. perseae* en el follaje de aguacate, la cual fue elaborada por Hoddle (2000) (Figura 7). Asimismo, se llevó a cabo un análisis de regresión y tablas de contingencia sobre las variables de tamaño y ubicación del material defoliado en cada muestreo; los resultados fueron obtenidos con el mismo programa estadístico.

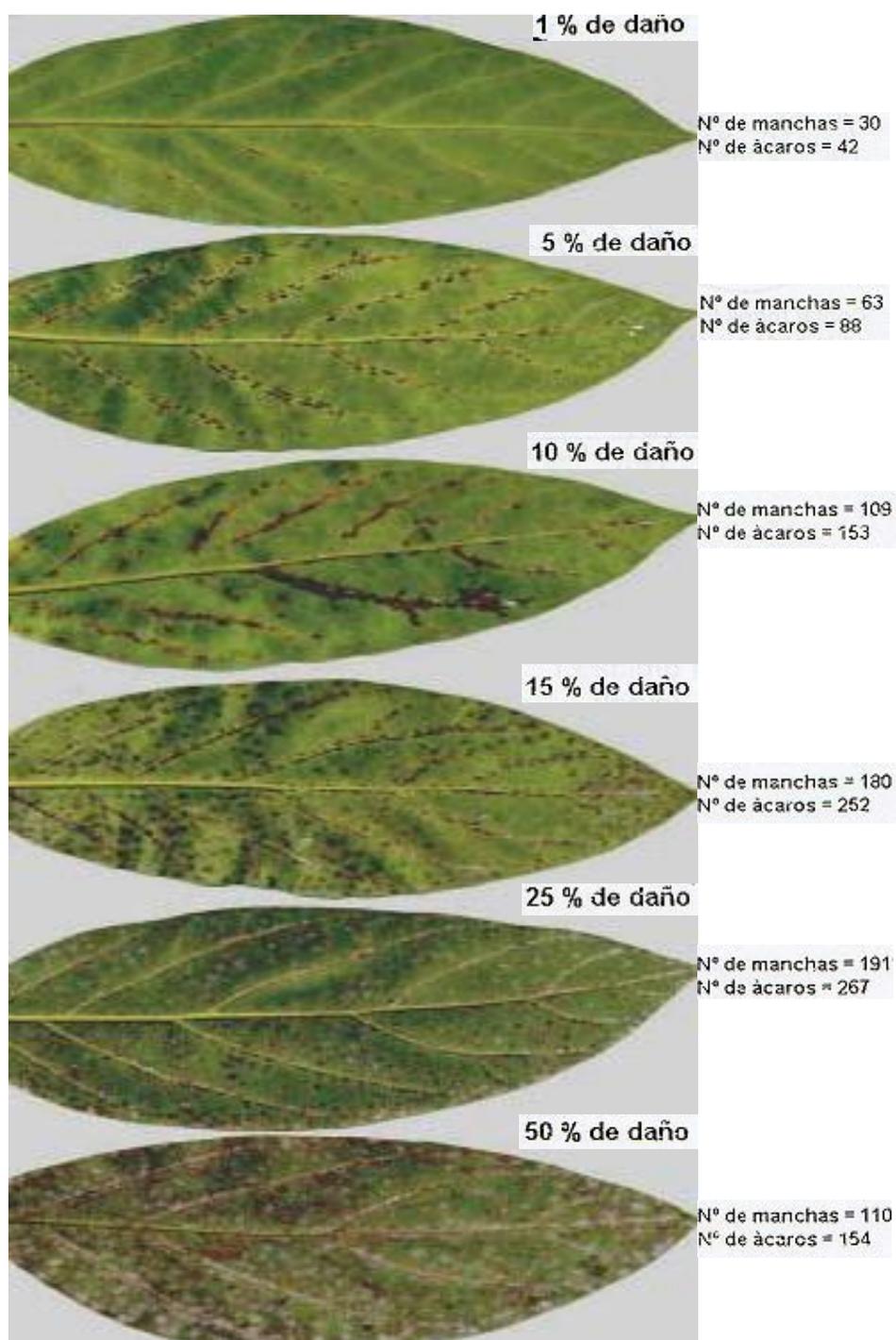


Figura 7. Escala de evaluación visual para la estimación del porcentaje de área foliar dañada por *Oligonychus perseae* (Hoddle 2000).

V. RESULTADOS

Con base en los datos analizados, el promedio general de nidos varió entre los estratos del árbol. Un promedio de $30 \pm 0,577$ nidos fueron contabilizados en el estrato bajo, mientras que en el estrato medio se cuantificaron $19,4 \pm 0,342$ nidos. El tamaño de muestra empleado para estimar el número total de nidos tuvo una precisión de 5% con un ámbito de 20 a 1% en ambos estratos; por lo tanto, esta muestra tuvo una mayor precisión en comparación a la calculada con los muestreos preliminares.

La población de *O. perseae* se observó ampliamente distribuida por toda la plantación e igual en ambos estratos de los árboles durante el periodo de muestreos, ya que la mayoría de los árboles mostraron en su follaje los daños ocasionados por este ácaro. No obstante, el índice de dispersión del ácaro fue superior a 1, lo que indica que las poblaciones de este tetrániquido presentan una distribución espacial agregada, lo cual queda demostrado con su modo de vivir en colonias.

Con los datos proporcionados por la estación meteorológica, se estableció el intervalo (constituido por los valores mínimo y máximo registrados) en que osciló cada una de las variables climáticas durante el periodo de estudio. De esta manera, la temperatura promedio en la zona fluctuó entre $16,7\text{ °C}$ y $19,3\text{ °C}$; la temperatura máxima estuvo entre los valores de $20,4\text{ °C}$ y $24,2\text{ °C}$, mientras la mínima entre $14,9\text{ °C}$ y $16,8\text{ °C}$. La humedad relativa varió entre 76,4% y 89,4% y los valores de precipitación acumulada estuvieron entre 1,4 mm y 379,2 mm.

Efecto de los factores climáticos sobre la población de *O. perseae*

El número promedio de nidos construidos por *O. perseae* contabilizados en el follaje proveniente de los estratos bajo y medio de árboles de aguacate cv. Hass, así como los valores registrados de temperatura (promedio, máxima y mínima), humedad relativa y precipitación acumulada (entre un muestreo y el siguiente) en la zona durante el tiempo de muestreo. El mayor promedio de nidos se contabilizó en el estrato bajo de los árboles; la

razón de nidos entre el estrato bajo y medio fue de 2:1 en más del 50% de los muestreos realizados (Figura 8).

El menor promedio de nidos de *O. perseae* fue contabilizado en el follaje de ambos estratos entre los meses de marzo y abril; durante este periodo la temperatura fue ligeramente mayor a 18 °C, la humedad relativa fue menor del 80% y la precipitación acumulada no alcanzó los 60 mm. Además, en estos meses ocurrió una importante caída natural de hojas, así como un nuevo flujo de crecimiento vegetativo en los árboles.

A partir del 11 de mayo se registró un aumento variable en el número de nidos encontrados en el follaje de ambos estratos. El mayor número de nidos se registró el 20 de julio ($61 \pm 2,668$ nidos.hoja⁻¹), seguido por el 22 de junio ($57,4 \pm 2,805$ nidos.hoja⁻¹) y el 14 de setiembre ($50,3 \pm 3,142$ nidos.hoja⁻¹) en el estrato bajo; mientras que en el estrato medio, el mayor valor se registró el 20 de julio correspondiente a $41 \pm 1,480$ nidos.hoja⁻¹. A partir del 25 de mayo hasta el último muestreo, se cuantificó valores superiores a los 10 nidos por hoja en los dos estratos; durante este periodo la temperatura promedio en la zona fue inferior a 18 °C, la humedad relativa fue mayor de 84% y el volumen de lluvia, en la mayoría de los casos, superó los 100 mm, estableciéndose un régimen de lluvias con volúmenes variables (Figura 8). Con base en la figura 8, la cantidad de nidos incrementó conforme aumentó la precipitación; únicamente en el muestreo correspondiente al 6 de octubre ocurrió una disminución en su número, lo cual coincidió con el mayor valor de precipitación acumulada durante el periodo de estudio (379 mm) y con una humedad relativa de casi el 90%.

Durante el estudio, el propietario de la finca aplicó dos productos agroquímicos cuyas fechas de aplicación fueron marcadas con una flecha en la figura. La primera aplicación (realizada entre el 24 y 28 de mayo) consistió de un producto acaricida contra *O. perseae* sin embargo, no se logró conocer el ingrediente activo del producto aplicado pues esta información no fue brindada por el productor; la segunda aplicación (realizada el 31 de agosto) consistió del insecticida Engeo[®] 24,7 SC (Piretroide) cuyos ingredientes activos son thiamethoxam+lambdacyhalothrin. Después de 15 días de la aplicación del acaricida, el número de nidos se redujo ligeramente en el estrato medio, pero no causó ningún efecto en

el estrato bajo; por otro lado, con la aplicación del insecticida, la cantidad de nidos aumentó en ambos estratos transcurridos 15 días de su aplicación (Figura 8).

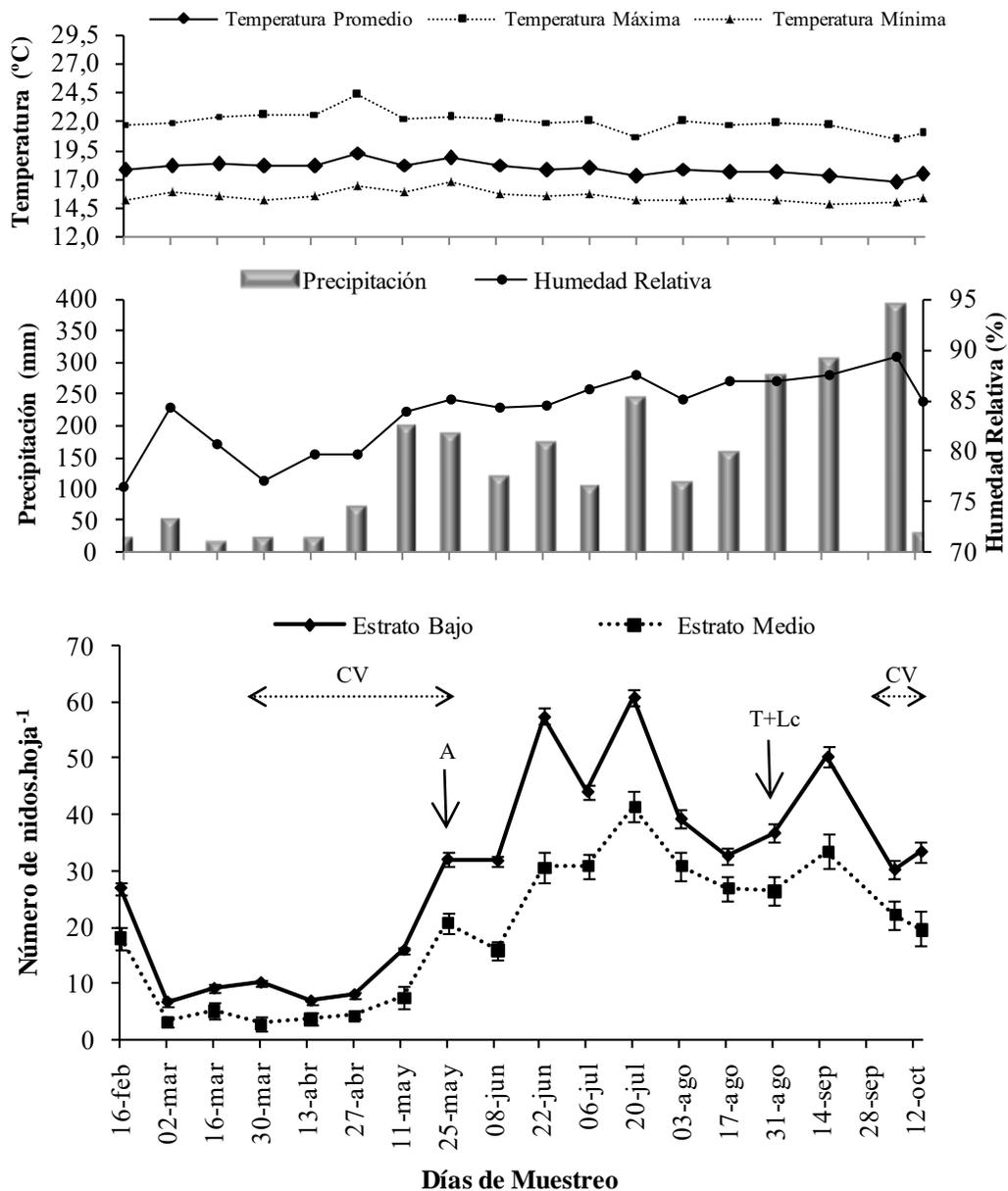


Figura 8. Variables climáticas y promedio total \pm Error Estándar (ES) de nidos de *Oligonychus perseae* en follaje procedente del estrato bajo y medio de árboles de aguacate cv. Hass en San Martín de León Cortés. Aplicaciones realizadas: A= acaricida; T+Lc= Thiamethoxam+Lambda-cyhalothrin. Etapa fenológica: CV: crecimiento vegetativo.

En la figura 9 se presenta el número de nidos ocupados y vacíos por *O. perseae* en el follaje proveniente de los estratos bajo y medio de árboles de aguacate cv. Hass muestreados, así como la interacción de las condiciones climáticas registradas en la zona y sus periodos de brotación vegetativa.

A partir del 22 de junio hasta el último muestreo se registró que del total de nidos contabilizados en las muestras, una alta proporción consistió de estructuras deshabitadas por el ácaro; esto se evidenció en mayor medida en el estrato bajo de los árboles. La proporción de nidos ocupados:desocupados fue de 6:10 en ambos estratos durante el periodo de estudio. Por otro lado, en esta misma fecha se contabilizó el máximo de nidos ocupados por el tetraníquido cuyos valores correspondieron con $22 \pm 1,083$ nidos y $13 \pm 0,812$ nidos para el estrato bajo y medio respectivamente; posteriormente los nidos ocupados fueron disminuyendo gradualmente mientras los vacíos aumentaron (Figura 9).

Al iniciar el primer flujo de crecimiento vegetativo en los árboles, las hojas mostraron cantidades muy similares de nidos ocupados y vacíos; pero al finalizar esta etapa, el número de nidos deshabitados aumentó. En el segundo periodo de crecimiento, las hojas presentaron únicamente nidos vacíos.

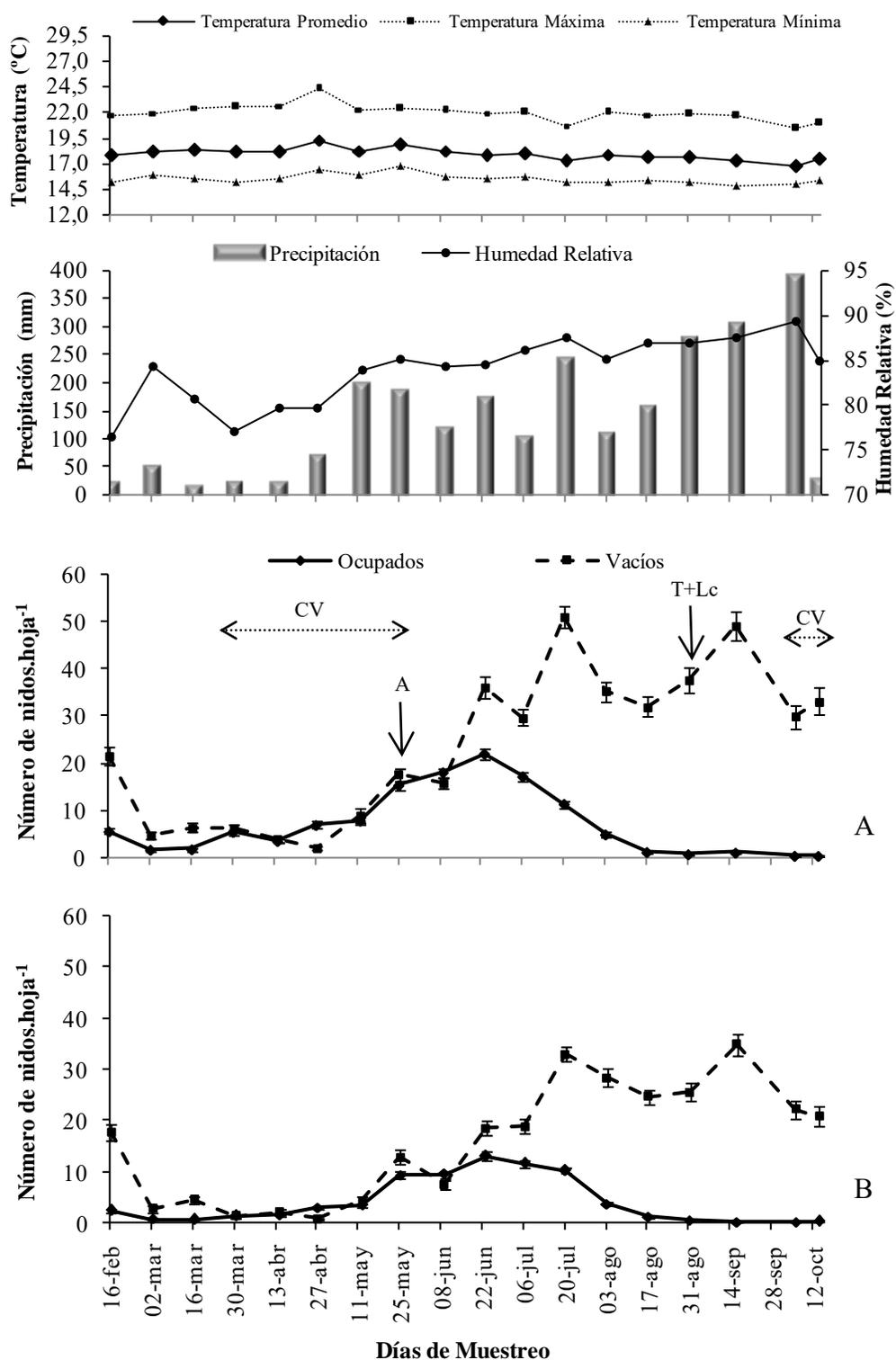


Figura 9. Variables climáticas y promedio (\pm ES) de nidos ocupados y vacíos de *Oligonychus perseae* en follaje del estrato bajo (A) y medio (B) de árboles de aguacate cv. Hass en San Martín de León Cortés. Aplicaciones realizadas: A= acaricida; T+Lc= Thiamethoxam+Lambda-cyhalothrin. Etapa fenológica: CV: crecimiento vegetativo.

La figura 10 muestra los cambios en la densidad de los diferentes estadios de *O. perseae* encontrados dentro de los nidos del follaje ubicado en los estratos bajo y medio de los árboles. Durante el estudio, la mayor densidad poblacional del ácaro se ubicó en la porción baja; esta distribución se presentó en todas las etapas de desarrollo del tetránquido.

Con base en los resultados obtenidos, la etapa de huevo fue la que se encontró en mayor densidad en comparación con el resto de los estadios del ácaro. Las hembras comenzaron a ovipositar en la mitad de marzo y el número de huevos fue incrementándose hasta que se registró, el 9 de junio, el promedio más alto correspondiente a $228 \pm 22,652$ huevos por submuestra en el estrato bajo y $146 \pm 15,905$ huevos por submuestra en la porción media, lo cual corresponde a $46 \text{ huevos.hoja}^{-1}$ en el estrato bajo y $29 \text{ huevos.hoja}^{-1}$ en el sector medio. Durante este periodo se llegó a contabilizar hasta 50 huevos por hoja en muchas de las muestras y en algunas ocasiones hasta 18 huevos por nido. Luego de registrarse ese pico de densidad, la cantidad de huevos decreció paulatinamente hasta la mitad de agosto (Figura 10).

Entre las formas móviles del ácaro, el estadio de ninfa fue el que mostró una alta densidad poblacional en ambos estratos. Los mayores picos poblacionales fueron registrados el 6 de julio ($66 \pm 4,232 \text{ ninfas.submuestra}^{-1}$) y el 25 de mayo ($61 \pm 6,628 \text{ ninfas.submuestra}^{-1}$) en el estrato bajo, mientras que un promedio de $51,2 \pm 4,413$ ninfas por submuestra se contabilizó sólo a inicios de julio en el estrato medio.

Del resto de estadios móviles, individuos en etapa larval fueron encontrados en mayor cantidad que adultos. La población de adultos de este tetránquido consistió en su mayoría de hembras, las cuales fueron las causantes de la elevada oviposición. El mayor nivel poblacional de formas móviles en ambos estratos se registró entre finales de abril e inicios de agosto.

Con respecto al efecto de los productos aplicados sobre la población del ácaro, en la figura 10 se observa una ligera reducción de las formas móviles en ambos estratos después de 15 días de la aplicación del acaricida. Únicamente la población de larvas tuvo un leve aumento en el estrato bajo.

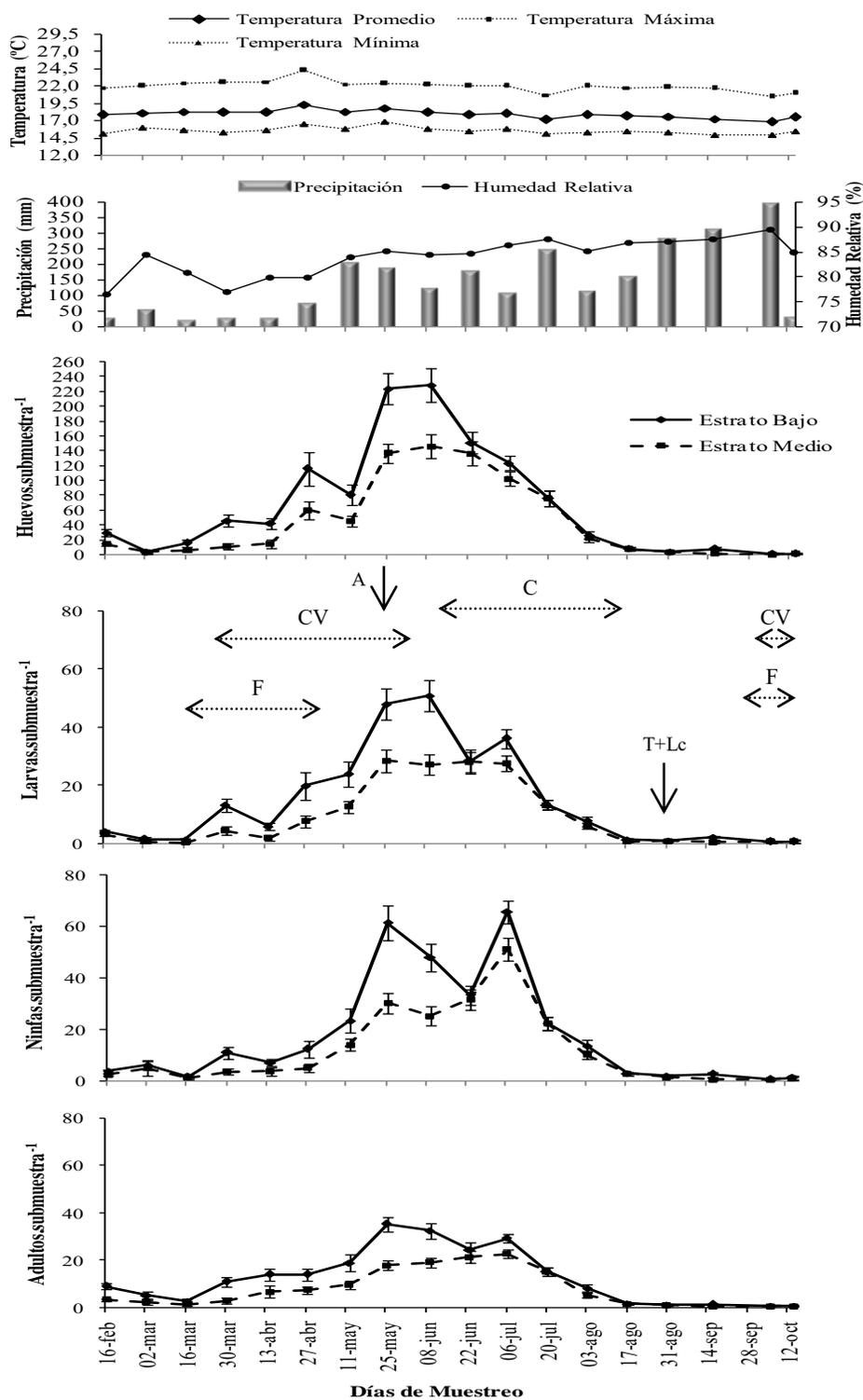


Figura 10. Promedio (\pm ES) de cada estadio de *Oligonychus perseae* en los estratos bajo y medio de árboles de aguacate cv. Hass en San Martín de León Cortés y los parámetros climáticos de la zona. Aplicaciones realizadas: A=acaricida; T+Lc= Thiamethoxam+Lambda-cyhalothrin. Etapas fenológicas: CV: crecimiento vegetativo; F: floración; C: cosecha.

En los últimos cinco muestreos, la población del ácaro se redujo drásticamente; durante este periodo, el material procesado mostró únicamente nidos vacíos (Figura 9), algunos tenían en su interior exuvias del ácaro (en hojas maduras), mientras que otros parecían haber sido construidos recientemente (en hojas nuevas). De los pocos especímenes encontrados en las muestras, la mayoría correspondió a estadios ninfales, sin embargo los valores sólo alcanzaron los $2,8 \pm 0,604$ individuos por submuestra en ambos estratos. Durante estos muestreos se registraron las mayores precipitaciones (140-380 mm), humedades relativas altas (85-89%) y temperaturas por debajo de los 18 °C. Además, se sumó una importante caída natural de hojas, así como el inicio del segundo flujo de crecimiento vegetativo y el establecimiento de la segunda floración del año en la mayoría de los árboles.

El cuadro 1 muestra el grado de asociación existente entre la cantidad de nidos (totales, ocupados y vacíos) de *O. perseae* con los niveles poblacionales de cada estadio del ácaro y las condiciones climáticas.

Cuadro 1. Coeficientes de correlación (r) entre los nidos de *O. perseae* con los estadios del ácaro y las condiciones climáticas en San Martín de León Cortés.

Variable	Huevos	Larvas	Ninfas	Adultos	T prom	HR	Precipitación
Total	0,235	0,268	0,376*	0,277	-0,572*	0,704*	0,633*
Ocupados	0,908*	0,916*	0,903*	0,947*	0,244	0,099	0,032
Vacíos	-0,059	-0,021	0,095	-0,013	-0,698*	0,691*	0,642*

T prom: Temperatura promedio; HR: Humedad Relativa

*Valor significativo ($P < 0,05$)

Con base en el cuadro 1, al correlacionar la cantidad total de nidos con los estadios del ácaro se observó, con excepción de las ninfas, una asociación baja y no significativa. Resultados semejantes fueron obtenidos al relacionar el número de nidos vacíos con la población, encontrándose en todos los casos, valores muy bajos y no significativos. Una correlación positiva, muy fuerte (ya que los coeficiente de correlación fueron muy cercanos a 1) y altamente significativa fue encontrada entre el número de nidos ocupados y la

cantidad de estadios del tetraníquido; siendo esta variable con respecto a las demás estudiadas, la que puede indicar la existencia de poblaciones de *O. perseae*.

Durante el periodo de estudio, la humedad relativa y la precipitación se asociaron de forma positiva y significativa con la cantidad total de nidos; resultados semejantes fueron obtenidos al asociar los nidos vacíos con las mismas variables climáticas. En el caso de la temperatura promedio, ésta mostró una relación negativa y significativa con los nidos totales ($r = -0,572$) y con los nidos vacíos ($r = -0,698$); por lo tanto, conforme la temperatura promedio aumentó el número de nidos se redujo y viceversa. El grado de asociación entre los nidos ocupados y las variables climáticas fue bajo y no significativo, siendo la precipitación la que menos se relacionó ($r = 0,032$), seguido de la humedad relativa ($r = 0,099$).

En el cuadro 2 se presentan los coeficientes de correlación, determinación y regresión entre los estadios del ácaro con la temperatura promedio y la precipitación registradas en la zona. Estos datos se obtuvieron sin considerar los estratos, ya que la diferencia entre estos no fue significativa. Al existir una relación directa entre la precipitación y la humedad relativa, el efecto de la primera variable sobre la población de *O. perseae* sería un estimado del que tuvo la humedad relativa sobre el tetraníquido.

Una correlación baja y altamente significativa se obtuvo entre la cantidad de huevos con la temperatura promedio ($r = 0,448$). El coeficiente de determinación ($r^2 = 0,200$) explica que aproximadamente el 20% de la variación en la cantidad de formas no móviles se debió a las variaciones en la temperatura promedio. El coeficiente de regresión ($b_{yx} = 3800,63$) sugiere que por cada aumento de 1 °C en la temperatura, el número de huevos crecería en 3.801 unidades por cada 5 hojas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Relaciones entre los estadios de *Oligonychus perseae* con la temperatura promedio y la precipitación registradas en San Martín de León Cortés

Variable	Coeficientes			
	Correlación (r)	Determinación (r^2)	Regresión	Intercepto
T prom v/s				
Huevo	0,448*	0,200	3800,63*	-67141,45
Larva	0,396*	0,157	725,79*	-12780,19
Ninfa	0,273 NS	0,074	654,69*	-11389,5
Adulto	0,377*	0,142	450,16*	-7772,99
Precipitación v/s				
Huevo	0,015 NS	0,0002	22,06*	-67141,45
Larva	0,014 NS	0,0002	4,63*	-12780,19
Ninfa	0,033 NS	0,0011	5,52*	-11389,5
Adulto	-0,037 NS	0,0013	2,75*	-7772,99

*Valor significativo ($P < 0,05$). NS: No significativo. T prom: Temperatura promedio.

Al asociar la temperatura promedio con la densidad poblacional de los distintos estadios móviles del ácaro, se obtuvo una correlación baja y significativa con las larvas ($r=0,396$) y los adultos ($r=0,377$); mientras que con las ninfas, el grado de asociación fue igualmente bajo como en los otros casos, pero no significativo ($r=0,273$). De acuerdo a los coeficientes de determinación, la variación poblacional explicada por los cambios en la temperatura promedio fue de 15,7% en larvas, 7,4% en ninfas y un 14,2% en adultos. Los coeficientes de regresión sugieren que, por cada unidad, el incremento en la temperatura promedio causaría un aumento en la población de larvas en 726, de ninfas en 655 y de adultos en 450 individuos por cada 5 hojas (Cuadro 2).

El grado de asociación entre la precipitación con cada uno de los estadios del ácaro fue muy bajo y no significativo, sólo se registró una relación negativa con los adultos ($r=-0,037$). Los coeficientes de determinación indicaron que sólo el 0,1% de la variación en la población de ninfas y adultos se atribuyó a los cambios en el patrón de lluvias, mientras que la densidad de huevos y larvas no fue afectada. De acuerdo a los coeficientes de regresión obtenidos, el aumento por unidad en la precipitación ocasionaría un incremento en la

cantidad de huevos correspondiente a 22 por submuestra mientras que el número de larvas, ninfas y adultos sería de 4,6; 5,5 y 2,7 respectivamente por submuestra (Cuadro 2).

Los coeficientes de regresión mencionados anteriormente, mostraron el efecto individual de cada variable climática sobre la población del ácaro; no obstante, la interacción entre la temperatura promedio con la precipitación provocaría un aumento de 21,2 huevos, 5 larvas, 7 ninfas y 3,3 adultos por cada cinco hojas; estos resultados son muy semejantes a los obtenidos con la precipitación.

Posibles causas de mortalidad de *O. perseae*

Durante el estudio, se tomó registro de los ácaros que mostraron signos relacionados con la presencia de hongos. El material encontrado se identificó con el objetivo de conocer si estos agentes fúngicos tenían propiedades acaropatógenas y por lo tanto, ser considerados como potenciales causantes de mortalidad.

Del material revisado, no se encontraron individuos de *O. perseae* con evidencias de haber sido atacados por hongos. Ocasionalmente lo que se observó fueron ácaros de la familia Phytoseiidae así como insectos del orden Thysanoptera (trips) rodeados de micelio de hongo (Figura 11). Estos individuos se encontraron dispersos en la lámina foliar, ya que, en el interior de los nidos del tetraníquido no se registraron casos. La presencia de estos arácnidos e insectos afectados por hongos se dio durante los meses lluviosos; sin embargo, su incidencia fue extremadamente baja, pues el número promedio de ácaros afectados no superó a un individuo en todo el follaje procesado.

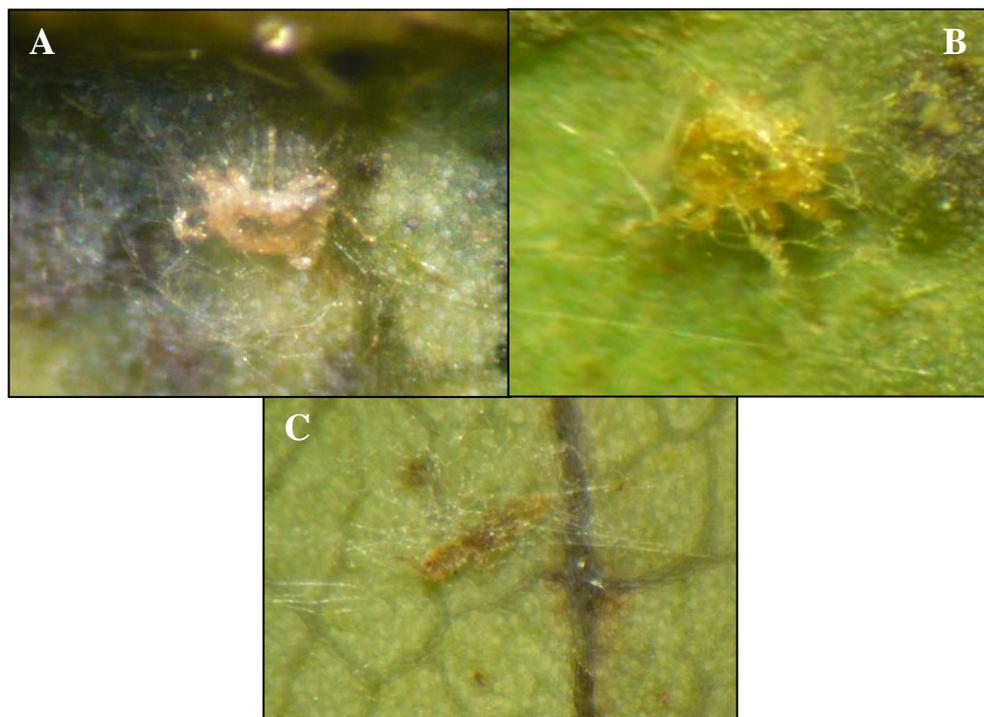


Figura 11. Ácaros de la familia Phytoseiidae (A y B) y trips (C) rodeados de micelio de hongo encontrados en follaje de aguacate cv. Hass.

Cladosporium sp. y *Aspergillus* sp. fueron los hongos identificados en los pocos especímenes sintomáticos. En la figura 12 se observa tanto el gnatosoma como el idiosoma de un fitoseido colonizado internamente por hifas de *Cladosporium* sp. además, se encontró un trips rodeado de micelio y conidios de este hongo. El otro fitoseido (Figura 12C) muestra las hifas y un conidióforo de *Aspergillus* sp.



Figura 12. Especímenes encontrados en el follaje de aguacate atacados por hongos. A) Ácaro perteneciente a la familia Phytoseiidae con hifas de *Cladosporium* sp. en su interior; B) Trips rodeado de hifas y conidios de *Cladosporium* sp.; C) Fitoseido rodeado de hifas y saco de esporas de *Aspergillus* sp. (Vistos a 200X).

Posibles ácaros depredadores de *O. perseae* y otros ácaros asociados en la plantación estudiada.

Durante la revisión del material recolectado, se encontró ácaros pertenecientes a las familias Tetranychidae, Eriophyidae, Phytoseiidae, Stigmaeidae, Tydeidae y Tarsonemidae. Algunos de los miembros de estas familias son depredadoras de los distintos estadios de *O. perseae*.

Un ácaro perteneciente a la familia Tetranychidae encontrado en el follaje de aguacate fue *Oligonychus yothersi* (McGregor). Este ácaro es fitófago y se encontró tanto en el estrato bajo como en la sección media de los árboles muestreados. Su presencia fue diagnosticada al observar en el haz de las hojas un bronceado alrededor de las nervaduras y la presencia de las colonias del ácaro, como se observa en la figura 13A. Su identificación fue a nivel microscópico al observar el aedeagus de esta especie (Figura 13B), el cual coincide con el característico de la especie. El daño de este ácaro se presentó sólo en hojas maduras.



Figura 13. A) Bronceado ocasionado por *Oligonychus yothersi* en hojas de aguacate cv. Hass en San Martín de León Cortés, B) Aedeagus de *O. yothersi* a 400X.

Otro ácaro que se observó en asocio con el aguacate fue *Calepitrimerus muesebecki* Keifer perteneciente a la familia Eriophyidae. Este eriófido expuesto (vagante) fue observado en el envés de las hojas, a lo largo de la lámina foliar. Durante la mayor parte del periodo de muestreo, este ácaro se observó en altas poblaciones. No se observaron síntomas visibles de posibles daños ocasionados por este arácnido. En la figura 14 se observan adultos de *C. muesebecki*. Este eriófido se observó por primera vez entre setiembre y octubre del 2009 cuando se realizaron observaciones preliminares en la finca.



Figura 14. *Calepitrimerus muesebecki* Keifer en el envés de hojas de aguacate cv. Hass observado a 50X.

En el material recolectado se halló otro ácaro del género *Tarsonemus* sp., el cual pertenece a la familia Tarsonemidae. La mayoría de las veces se encontró dentro de los nidos abandonados de *O. perseae* y en sitios donde había presencia de micelio de hongo; en varias ocasiones, este ácaro se observó alimentándose de micelio (Figura 15).

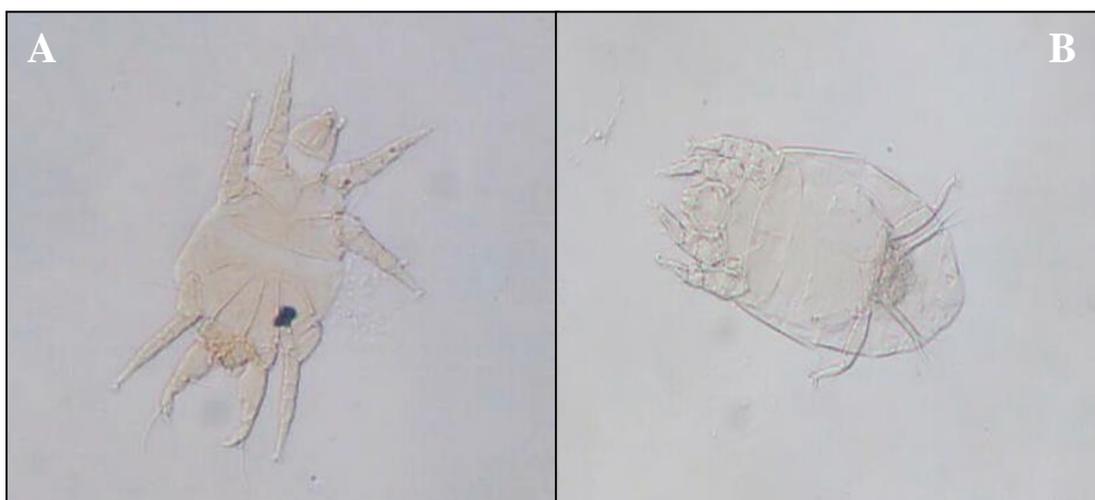


Figura 15. *Tarsonemus* sp. (Tarsonemidae) en aguacate cv. Hass a 200X. A) Macho y B) Hembra.

Dentro de la familia Tydeidae, se identificaron ácaros cuyo género fue muy semejante a *Tydeus* sp.; estos arácnidos fueron encontrados dentro de los nidos deshabitados de *O. perseae* como se observa en la figura 16B. Estos nidos sirvieron de refugio y sitio de reproducción para este tideido pues, en la mayoría de los casos se observaron huevos, mudas y diferentes estadios del ácaro dentro de las estructuras. Otros ácaros encontrados en asocio con el material fueron especímenes pertenecientes a la familia Iolinidae. Estos ácaros, de tamaño muy pequeño, se ubicaron en el envés de las hojas, cerca de las venas principales así como en la lámina foliar. Se realizaron varios montajes de estos arácnidos, pero fue muy poco el material que quedó en las condiciones requeridas para su correcta identificación. La identificación más cercana fue *Pronematus* sp., sin embargo, esto no logró ser corroborado debido a la escasez de material.

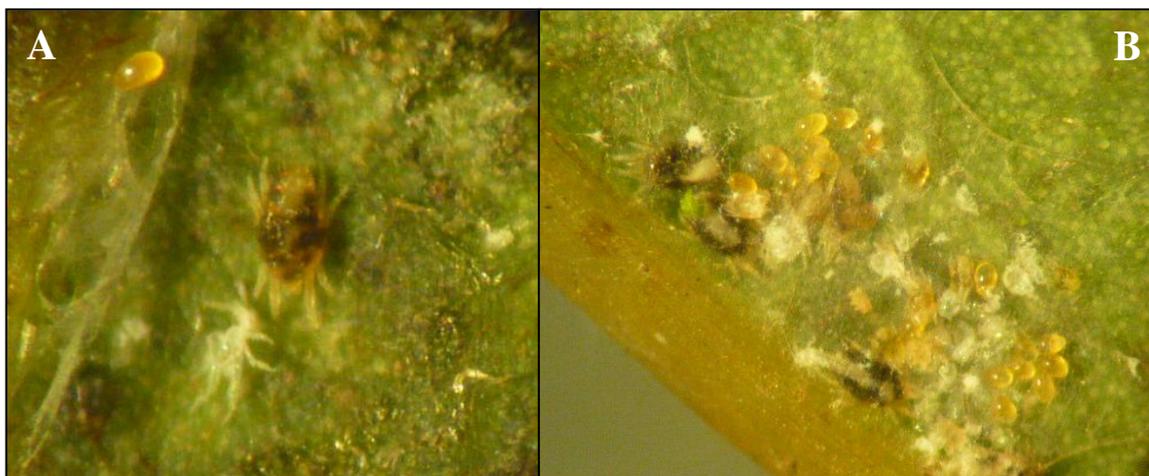


Figura 16. Ácaro perteneciente a la familia Tydeidae asociado a aguacate. A) Forma móvil de *Tydeus* sp. a 50X. B) Huevos, formas móviles y mudas de *Tydeus* sp. dentro de un nido construido por *O. perseae* a 50X.

La familia Phytoseiidae fue la que presentó la mayor diversidad y fue la mejor representada en comparación con las otras familias. Tres especies fueron encontradas en asocio con el cultivo: *Galendromus* sp. (tribu Metaseiulini) y *Typhloseiopsis* sp. (tribu Typhloseiopsini) ambos pertenecientes a la subfamilia Typhlodrominae, mientras que de la subfamilia Amblyseiinae se identificó a *Neoseiulus* sp. (tribu Neoseiulini). La identificación de estos ácaros depredadores se basó principalmente en la nomenclatura setal de las placas dorsal y ventrales de machos y hembras encontrados en el material. *Galendromus* sp. fue el que se encontró en mayor abundancia en comparación con el resto de los fitoseidos.

Galendromus sp. se ubicó principalmente dentro de los nidos de *O. perseae* aunque en pocas ocasiones se observó en las axilas de las nervaduras principales. Sus huevos, así como las formas móviles, fueron encontrados en nidos vacíos y en aquellos poblados por el tetraníquido. *Neoseiulus* sp. se ubicó en los mismos sitios, pero no así *Typhloseiopsis* sp., pues se observó disperso en la lámina foliar.

En muchas ocasiones, en nidos donde se establecieron los fitoseidos se encontró cadáveres de *O. perseae* (Figura 17). Sin embargo, no se pudo conocer con certeza si estos

tetraníquidos fueron depredados por el fitoseido o fueron otros motivos los que les causaron la muerte.



Figura 17. Huevos y hembra de *Galendromus* sp. junto con cadáveres de *O. perseae* dentro de un nido vistos a 50X.

El representante de la familia Stigmaeidae asociado al cultivo fue identificado como *Agistemus* sp. Este ácaro de hábito depredador se encontró en el envés de las hojas, principalmente en las axilas de las venas principales como se observa en la figura 18B; también se observó dentro de los nidos vacíos de *O. perseae*, o en los que únicamente contenían huevos. Tanto machos como hembras fueron recolectados del material, lo cual facilitó su identificación.

En la figura 19 se presenta la fluctuación poblacional de los ácaros encontrados en asocio con el cultivo durante el periodo de muestreos. Se sumó el número de ácaros pertenecientes a las familias Iolinidae y Tydeidae y se obtuvo un total de individuos, ya que ambos taxones están incluidos dentro de la superfamilia Tydeoidea (André y Fain, 2000).

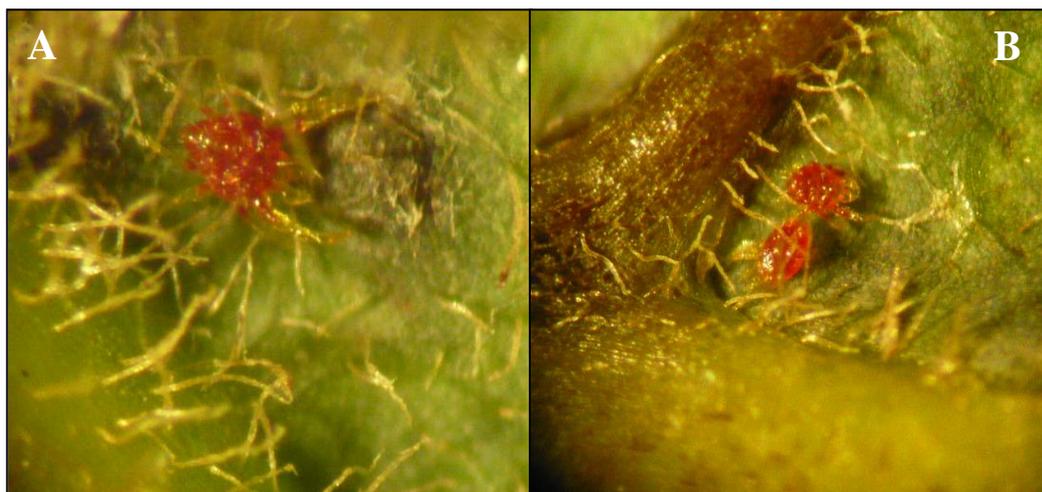


Figura 18. *Agistemus* sp. encontrado en follaje de aguacate cv. Hass visto a 50X. A) Macho, B) Macho y ninfa en la axila de la nervadura.

Según los resultados, la densidad poblacional del ácaro fitófago fue mayor en comparación con los otros ácaros. El comportamiento poblacional de *O. yothersi* fue muy similar en ambos estratos. Su permanencia en la plantación se concentró entre inicios del mes de febrero y el 20 de julio; en la primera mitad de mayo se registró el pico más alto de densidad ($5,5 \pm 1,821$ ácaros.submuestra⁻¹ en el estrato bajo y $6,4 \pm 2,121$ ácaros por submuestra en el estrato medio), luego de esa fecha, la población se redujo al irse estableciendo la estación lluviosa en la zona.

La población del tarsonémido (*Tarsonemus* sp.) se distribuyó mayormente en la sección baja de los árboles, cuyos picos poblacionales fueron registrados el 27 de abril y el 20 de julio; su presencia en la plantación fue más evidente entre marzo y agosto. Por último, los representantes de la superfamilia Tydeoidea tuvieron una distribución muy similar en el árbol y fueron encontrados en cantidades muy variables entre finales de marzo e inicios de octubre, concentrándose principalmente entre el 30 de marzo hasta el 22 de junio.

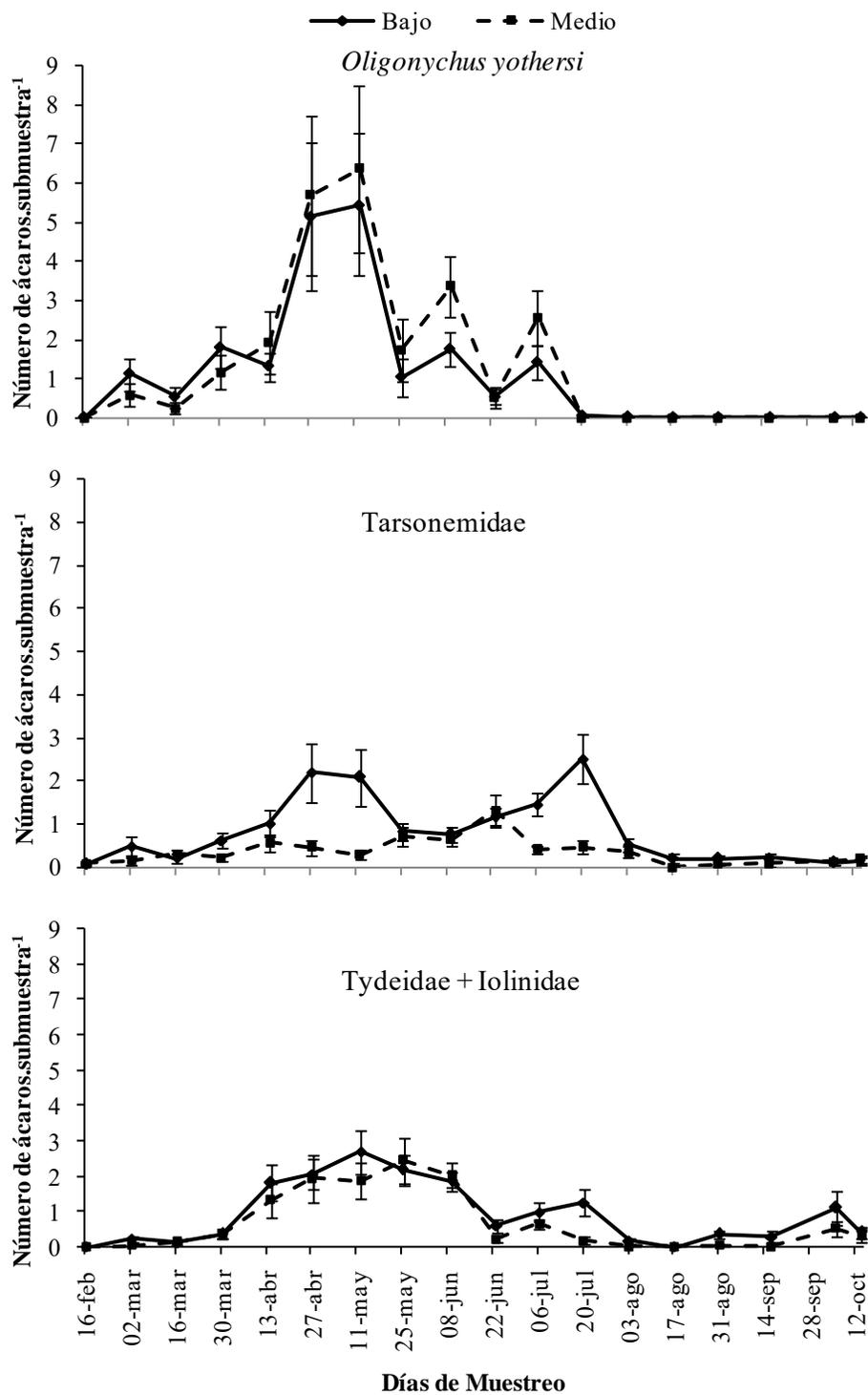


Figura 19. Abundancia temporal y espacial (en los estratos bajo y medio de los árboles) de ácaros asociados a la plantación de aguacate cv. Hass en San Martín de León Cortés.

Insectos como trips (Thysanoptera) y crisópidos (Neuroptera: Chrysopidae) fueron encontrados en el follaje recolectado. De los primeros, tanto los estadios inmaduros como los adultos fueron observados, principalmente, durante las etapas de floración de los árboles; mientras que de los segundos, se encontraron huevos, pero en muy poca cantidad y adultos de manera muy ocasional.

En la figura 20 se muestra la fluctuación de los estadios de *O. perseae*, así como de los ácaros depredadores pertenecientes a las familias Phytoseiidae y Stigmaeidae encontrados en la plantación. El comportamiento poblacional que muestra los fitoseidos incluye el total de adultos e inmaduros de todas las especies identificadas, considerándose a *Galendromus* sp. como la especie dominante.

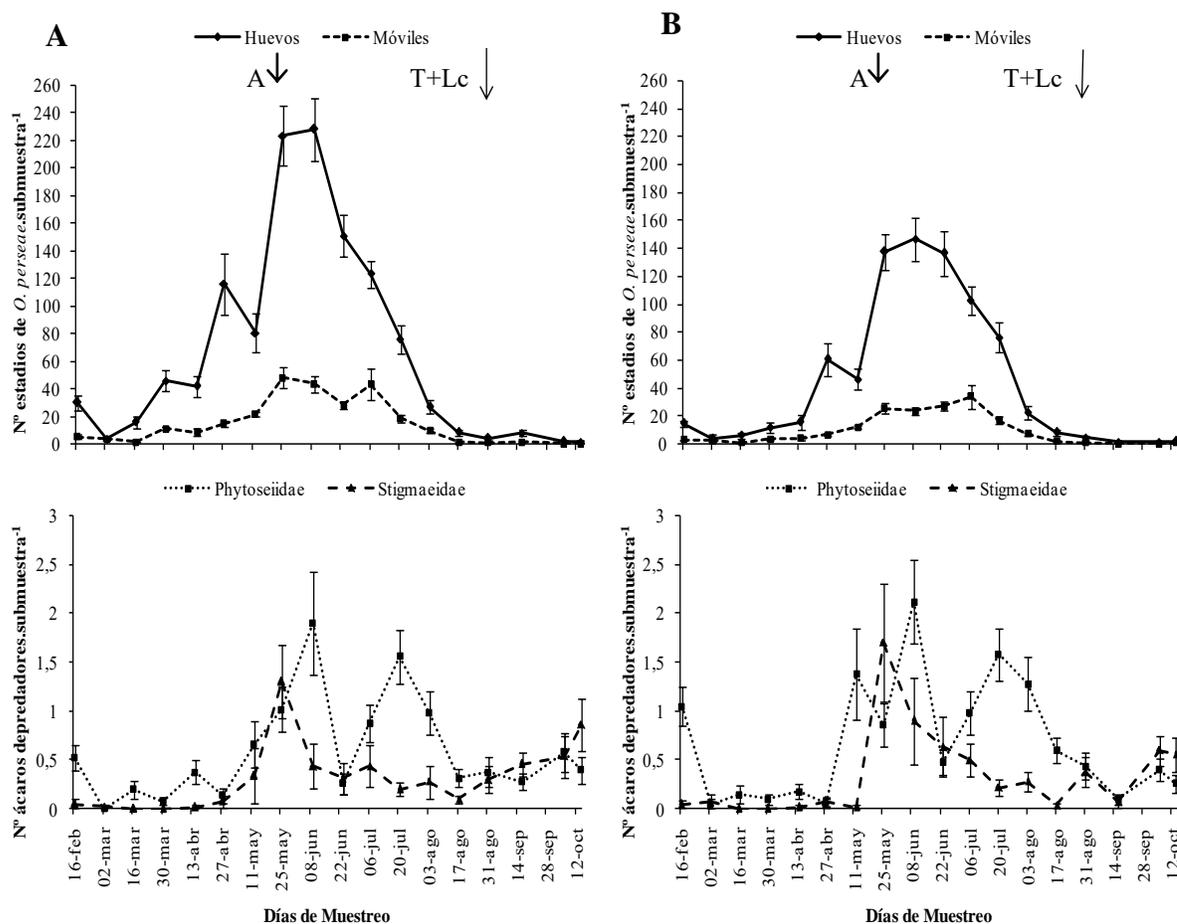


Figura 20. Fluctuación poblacional (promedio \pm ES) de huevos y estadios móviles de *Oligonychus perseae* y de ácaros depredadores en el estrato bajo (A) y medio (B) en árboles de aguacate cv. Hass en San Martín de León Cortés. (Aplicaciones realizadas: A: acaricida, T+Lc: Thiamethoxam+Lambda-cyhalothrin).

En la figura 20 se observa como *Agistemus* sp. (Stigmaeidae) fue registrado a partir de la segunda semana de mayo, ya que estuvo ausente en los primeros muestreos; su pico de densidad ocurrió el 25 de mayo y persistió en muy bajas cantidades durante el resto del periodo de muestreo. Los fitoseidos permanecieron a lo largo del tiempo aunque en número variable; el 8 de junio y el 20 de julio fueron las fechas en que se encontraron en mayor cantidad.

Considerando las fluctuaciones poblacionales del ácaro-presa y de los depredadores en el estrato bajo, se muestra como el punto de máxima densidad de fitoseidos ($1,9 \pm 0,530$ ácaros) coincidió con el máximo poblacional de huevos y formas móviles de *O. perseae* (Figura 20A). Cuando la cantidad de huevos así como de inmaduros y adultos del tetraníquido fue decreciendo, ocurrió el segundo punto de máxima población de estos depredadores. La población del estigmeido alcanzó el valor más alto ($1,3 \pm 0,377$ ácaros.submuestra⁻¹) en el muestreo realizado el 25 de mayo; esto aconteció en forma paralela con una alta disponibilidad de huevos de *O. perseae* para ser consumidos y con una cifra elevada de formas móviles. Posteriormente, la oviposición por parte de las hembras del tetraníquido se redujo, pero aún así, *Agistemus* sp. se mantuvo en baja densidad en la plantación (Figura 20A).

Hubo tres fechas en que fueron registradas las mayores poblaciones de fitoseidos en el estrato medio de los árboles. En el muestreo realizado en los primeros días de mayo se contabilizó $1,4 \pm 0,471$ fitoseidos por submuestra, lo cual concordó con una reducción importante de huevos de *O. perseae*. El 8 de junio se observó el mayor número de fitoseidos ($2,1 \pm 0,421$ ácaros.submuestra⁻¹), así como la mayor densidad de huevos de *O. perseae* y el último mayor registro ocurrió el 20 de julio ($1,6 \pm 0,265$ ácaros.submuestra⁻¹) cuando la cantidad de huevos y móviles del tetraníquido decrecía (Figura 20B). Al igual que en el estrato bajo, *Agistemus* sp. alcanzó su máxima abundancia cuando la cantidad de huevos fue alta, luego su población fue decreciendo al mismo tiempo que se reducía el número de huevos del tetraníquido.

La presencia de ambos ácaros depredadores se mantuvo en los últimos muestreos, aún cuando la presa potencial ya no estaba presente. Con respecto al efecto de los productos

agroquímicos aplicados, se observó una reducción en la población del estigmeido después de dos semanas de la aplicación del acaricida, mientras los fitoseidos mostraron aparentemente mayor resistencia. Al parecer, el insecticida no afectó de manera negativa las poblaciones de ambos depredadores en el estrato bajo; mientras que en el estrato medio, sí causó la disminución drástica de ambos arácnidos (Figura 20).

El grado de asociación entre la población de ácaros depredadores y su respuesta ante los cambios en la densidad poblacional de *O. perseae* se presenta en el cuadro 3.

Cuadro 3. Coeficientes de correlación (r) entre los niveles poblacionales de *O. perseae* y los ácaros depredadores presentes en la plantación estudiada.

Variable	Phytoseiidae	Stigmaeidae
Huevos	0,532*	0,515*
Formas móviles	0,538*	0,485*
Huevos-Bajo	0,588*	0,433 NS
Móviles-Bajo	0,618*	0,463*
Huevos-Medio	0,558*	0,682*
Móviles-Medio	0,552*	0,600*

*Valor significativo ($P < 0,05$). NS: No significativo.

Al correlacionar las cantidades de huevos y móviles del tetraníquido con la abundancia de los ácaros depredadores, se mostró una relación positiva y significativa en todos los casos. En los dos estratos del árbol se presentó una asociación positiva y significativa entre los estadios del tetraníquido con la población de fitoseidos; resultados semejantes fueron obtenidos con el estigmeido; sin embargo, el grado de asociación con los huevos de *O. perseae* contabilizados en el estrato bajo resultó ser no significativo. La correlación del estigmeido con la población del tetraníquido resultó ser más alta y significativa en el estrato medio (Cuadro 3).

Estimación del daño foliar ocasionado por *O. perseae*

En todos los muestreos realizados, la mayor proporción del follaje que se recolectó de las canastas estaba completamente seco. Sin embargo, aún en esa condición, en ambas superficies de las hojas se logró observar, a lo largo de las nervaduras, las lesiones ocasionadas por las colonias de *O. perseae*. En el envés de algunas hojas aún se observaba la tela que cubría los nidos del ácaro, como se muestra en la figura 21.



Figura 21. Hoja defoliada de aguacate cv. Hass con lesiones alrededor de las nervaduras y restos de tela producidos por *O. perseae*.

Las hojas que mostraban los daños ocasionados por el ácaro fueron contabilizadas y de cada una se registró el total de lesiones presentes; asimismo se realizó el recuento de las hojas que no mostraban las lesiones. No se encontraron ácaros debido al estado del material.

En el cuadro 4 se presenta la cantidad total de follaje defoliado así como los porcentajes correspondientes al número de hojas con presencia y ausencia de lesiones

ocasionadas por *O. perseae* provenientes de la parte interna y periférica de la copa de los árboles.

Cuadro 4. Análisis de contingencia de la ubicación de las hojas caídas que mostraron lesiones producidas por *O. perseae* en cada muestreo.

Fecha	Total Hojas	Dentro (%)		Periferia (%)		Prob. X^2
		Con nidos	Sin nidos	Con nidos	Sin nidos	
02-mar	356	18,54	37,92	11,8	31,74	0,243
12-may	749	20,29	33,91	13,48	32,31	0,021*
06-jul	360	39,72	27,78	20	12,5	0,626
06-oct	580	34,42	24,96	23,24	17,38	0,854

*Valor significativo. Prob.= Probabilidad de chi-cuadrado.

En los muestreos efectuados en mayo y octubre se registró la mayor caída de hojas, así como la ocurrencia de flujos de crecimiento vegetativo en forma simultánea. En el cuadro 4 se muestra que la mayor proporción de hojas defoliadas fue registrada en la parte interna de los árboles; esta tendencia se repitió en todos los muestreos, aunque fue más acentuada en las dos últimas fechas: 67,5% (equivalente a 243 hojas contabilizadas el 6 de julio) y el 59,4% (correspondiente a 345 hojas recolectadas el 6 de octubre).

Asimismo, en las últimas fechas se registró una mayor cantidad de hojas con daños ocasionados por el ácaro, tanto dentro como fuera de la copa de los árboles. El 6 de julio se registró un 39,7% de hojas internas atacadas por *O. perseae* y un 20% contabilizadas de la periferia; mientras que en el último muestreo, el porcentaje de hojas internas correspondió a 34,4% y en la parte externa, fue de un 23,2% (Cuadro 4). Por el contrario, en los muestreos del 2 de marzo y del 12 de mayo se contabilizó, en ambas ubicaciones, una mayor cantidad de hojas sin lesiones.

Al considerar en forma paralela la ubicación y el porcentaje de hojas con daños, se observa que en la parte interna de los árboles fue donde se encontró los mayores porcentajes de hojas atacadas por el ácaro en todos los muestreos. Sin embargo, estadísticamente, no se encontró diferencias significativas entre la ubicación de las hojas

defoliadas con la presencia o ausencia de lesiones de acuerdo a la prueba del chi-cuadrado de Pearson en los muestreos del 2 de marzo ($P=0,243$); 6 de julio ($P=0,626$) y 6 de octubre ($P=0,854$), lo que explica que estas variables no son dependientes. Sólo los resultados del 12 de mayo mostraron significancia estadística ($P=0,021$), por lo tanto, en este caso existe una relación entre la ubicación de la hoja y el ataque o no del ácaro; de esta manera, una hoja puede ser atacada por el ácaro dependiendo de la ubicación que tenga en el árbol.

Cuadro 5. Análisis de contingencia de tamaños de hojas defoliadas con presencia o ausencia de daños ocasionados por *O. perseae* en cada muestreo realizado en la plantación.

Fecha	Pequeñas (%)		Grandes (%)		Prob. X^2
	Con nidos	Sin nidos	Con nidos	Sin nidos	
02-mar	8,43	21,35	21,91	48,31	0,586
12-may	9,61	20,56	24,17	45,66	0,465
06-jul	25,56	19,17	34,17	21,11	0,369
06-oct	12,05	11,19	45,61	31,15	0,119

Prob.= Probabilidad de chi-cuadrado.

En el cuadro 5 se muestran los porcentajes correspondientes al tamaño de hojas caídas que presentaron o no daños provocados por *O. perseae*. Las hojas fueron clasificadas en dos categorías según su longitud: pequeñas (≤ 7 cm) y grandes (> 7 cm).

Según las cifras presentadas en el cuadro 5, ocurrió un mayor desprendimiento de hojas con longitudes superiores a los 7 cm en todos los muestreos, ya que, independientemente de que mostraran daños o no, éstas representaron entre el 70% y el 77% del total de hojas. Sólo para el muestreo del 6 de julio, esta categoría correspondió al 55,3% del total.

En todos los muestreos, se observó que las hojas grandes fueron las que se contabilizaron en mayor magnitud con lesiones provocadas por el ácaro, con esto se podría considerar que *O. perseae* ataca de forma preferencial follaje de mayor desarrollo; no obstante, a nivel estadístico no se encontraron diferencias significativas entre el tamaño y la presencia o ausencia de lesiones de acuerdo a la prueba del chi-cuadrado de Pearson en todos los muestreos. De esta manera, no existe relación entre la longitud de la hoja y el

ataque o no del ácaro; es decir, el ácaro ataca cualquier hoja, independientemente de su tamaño. Esto también se observó en el campo, pues hojas muy pequeñas y con un menor grado de desarrollo ya mostraban colonias del ácaro en el envés y manchas necróticas por el haz, como se observa en la figura 22.

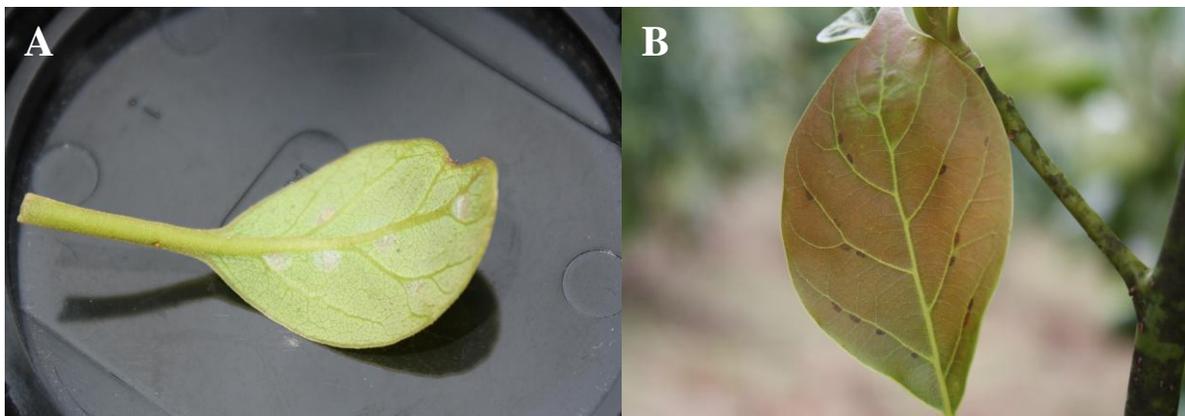


Figura 22. Hojas pequeñas y de reciente desarrollo atacadas por *O. perseae* encontradas en la plantación de aguacate cv. Hass en San Martín de León Cortés (A: envés; B: haz).

El porcentaje de daño foliar ocasionado por el ácaro se estimó con base en la cantidad de lesiones que presentaron las hojas. Sin considerar el tamaño y la ubicación en el árbol, las hojas mostraron en promedio $1,7 \pm 0,075\%$ de daño en su superficie. En la figura 23 se muestra el promedio del porcentaje estimado de daño foliar correspondiente al material recolectado en cada muestreo. Según la información obtenida, el valor máximo de superficie dañada correspondió a un $2,03 \pm 0,194\%$. El material de los muestreos realizados el 12 de mayo y el 6 de julio fue el que presentó el mayor daño foliar correspondiente a 2%, mientras que el menor registro fue el 2 de marzo con un daño de $1,3 \pm 0,191\%$.

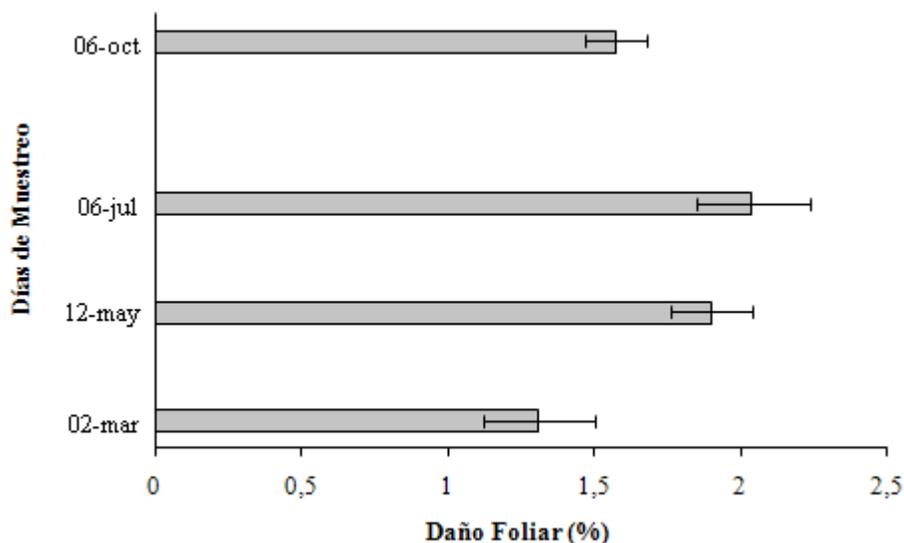


Figura 23. Daño foliar (promedio \pm ES) ocasionado por la actividad de *O. perseae* en hojas caídas de aguacate recolectadas en la plantación.

Otro aspecto que resultó de la estimación del daño fue que del total de hojas defoliadas, sólo 26 mostraron en el haz un daño superior al 8% ($P=0,028$); mientras que las hojas restantes (885 unidades) presentaron un menor porcentaje y con una alta probabilidad de frecuencia ($P=0,971$).

Según la ubicación en los árboles, la mayor caída de hojas se registró en la parte interna (correspondiente a 561 hojas), las cuales mostraron en promedio un daño foliar correspondiente a $1,8 \pm 0,099\%$. Del total, 544 hojas registraron un valor menor a 8% de su superficie con lesiones causadas por *O. perseae*, cuya probabilidad de frecuencia fue muy alta ($P=0,969$). Con respecto a las hojas provenientes de la periferia de la copa, 350 cayeron con un daño estimado de $1,7 \pm 0,112\%$ en su superficie, de las cuales sólo 9 hojas fueron contabilizadas con más de 8% de daño, siendo su probabilidad de frecuencia muy baja ($P=0,026$).

VI. DISCUSIÓN

Durante el periodo de estudio, el comportamiento poblacional de *O. perseae* se vio afectado, de manera directa o indirecta, por el efecto aditivo de factores tanto climáticos como bióticos. De las variables climáticas evaluadas, la temperatura fue la que mostró una mayor influencia en la población de este tetraníquido, la cual podría ser la responsable de importantes explosiones demográficas (Cuadro 2). Con base en los resultados presentados (Figura 10), una cantidad elevada de huevos fue contabilizada dentro de los nidos durante los meses secos, en los que la temperatura promedio superó los 18 °C; según Hoddle (1998), cada hembra de *O. perseae* oviposita aproximadamente 18, 37 y 46 huevos, cuando la temperatura alcanza los 15, 20 y 25 °C respectivamente; mientras que a temperaturas mayores, ocurre una elevada mortalidad de este estadio.

Con base en las temperaturas máxima y media registradas en la zona de San Martín, es muy probable que el periodo de huevo a adulto llegó a completarse entre 14 y 17 días aproximadamente; pues según lo informado por Aponte y McMurtry (1997a), el ciclo se completa en esos lapsos cuando los valores de temperatura corresponden a 25 y 20 °C respectivamente. No obstante, la duración del ciclo de este ácaro no se puede considerar definitiva para esta zona, pues aunque las temperaturas bajas pueden prevalecer debido a la altura, los fenómenos climáticos del Niño o de la Niña pueden incidir sobre las condiciones climáticas y por consiguiente, afectar las poblaciones del ácaro. De acuerdo con investigadores del cultivo en la zona⁴, el año en que se realizó este estudio se presentó, particularmente, la influencia de ambos fenómenos; así que las variaciones climatológicas registradas antes y después del mes de junio (momento en que finalizó la influencia del Niño e iniciaron los efectos de la Niña; según Chinchilla et al. (2010)), probablemente incidieron en el comportamiento poblacional que mostró la plaga.

⁴Somarribas, O. 2011. El clima en la zona de Los Santos durante el estudio (entrevista). San José, CR, APACOOOP. Comunicación personal.

De acuerdo a los resultados presentados en la figura 10, se observó una descenso considerable de los niveles poblacionales cuando fueron registrados los valores más altos de humedad relativa y de precipitación entre agosto e inicios de octubre; esto coincide con los resultados obtenidos por Masís y Aguilar (1990) quienes informaron de una reducción en la población de *T. urticae* con el aumento de las lluvias, así como de la existencia de una asociación inversa entre este factor y el crecimiento poblacional de este tetraníquido. Asimismo, estos autores y Khan et al. (2011) informaron de la reducción de este arácnido cuando los registros de humedad relativa fueron elevados; según especulaciones, bajo estas condiciones podría disminuir la tasa de alimentación del ácaro y por ende, la actividad fisiológica baja, lo cual repercute en su potencial reproductivo.

Contradictoriamente, el comportamiento que se muestra en la figura 10 no fue revelado a nivel estadístico, ya que, no se obtuvo una correlación alta y significativa entre la población de *O. perseae* con la precipitación (Cuadro 2). De esta manera, lo que muchos autores afirman sobre el efecto regulador que tiene la lluvia sobre las poblaciones de ácaros tetraníquidos no fue tan evidente con *O. perseae*; por lo tanto, la influencia de otros factores podría haber causado su reducción poblacional, ya que, la temperatura y la precipitación sólo son los agentes causales del 20% y el 0,1% respectivamente, de la variación que presentó la población del ácaro en este estudio (Cuadro 2).

En materia metodológica, la baja frecuencia en los muestreos y/o la duración del estudio podría no haber sido la suficiente para revelar el efecto total del clima sobre los niveles poblacionales. Otra posible razón es la característica que tiene este ácaro de cubrir sus colonias con tela, la cual podría actuar como una barrera de protección ante las condiciones climáticas externas. Según Aponte y McMurtry (1997b), este tetraníquido cubre inicialmente, los nidos con una sola capa de tela; sin embargo, cuando prevalecen elevadas temperaturas ambientales así como sobrepoblación, este ácaro superpone de dos a tres capas de tela más densa y compacta sobre la primera. Según estos autores, el espesor de la tela es mayor en ambientes externos que en condiciones controladas. Esto coincide con Hazan et al. (1974), quienes informaron sobre una excesiva producción de tela por parte de los ácaros tetraníquidos cuando se registran altas temperaturas y bajas humedades relativas.

El aumento en el espesor de la cubierta del nido podría además de proteger a las formas móviles y huevos de la desecación, crear un microhábitat favorable que resguarde a los ácaros de las condiciones externas de temperatura, humedad relativa y lluvia (Aponte y McMurtry, 1997b).

La ubicación de los nidos en las hojas y la impermeabilidad que presenta la tela también podrían explicar el hecho de que la lluvia no influyó en forma directa y negativa sobre el comportamiento poblacional que presentó *O. perseae*. En el caso de otros ácaros tetraníquidos como *O. yothersi* y *O. punicae* (Hirst), estos se ubican en la superficie adaxial de las hojas (Ochoa et al. 1991) lo cual hace que estén más expuestos al golpe de la lluvia; por el contrario, *O. perseae*, al permanecer dentro de los nidos, la tela le brinda protección, lo que reduce la mortalidad por esta causa.

Las condiciones ambientales pueden incidir en el número de nidos construidos por *O. perseae*. Con base en los resultados presentados en el cuadro 1, existe una relación inversa entre la temperatura y el total de nidos, sin embargo, según lo informado por Aponte y McMurtry (1997b), cada hembra construye en promedio 12,17 nidos (con un ámbito entre 1-27 nidos) a 20 °C, mientras que si la temperatura se reduce a 15 °C, la cantidad de nidos también se reduce a 6,17 nidos (entre 1 y 12 nidos). Para protegerse de la lluvia y de las altas humedades relativas que podrían ocasionarle una elevada mortalidad, los ácaros se ven obligados a construir un mayor número de nidos, quizás por eso la cantidad aumentó al iniciarse la estación lluviosa (Figura 8); esto se confirmó estadísticamente (Cuadro 1).

Un elevado número de nidos de *O. perseae* en el follaje podría indicar la presencia de altas densidades poblacionales; sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos (Cuadro 1) no se encontró una asociación directa y significativa, esto quizás se debió a que no todos los nidos se encontraron habitados por el ácaro. En este estudio, se contabilizó una importante cantidad de nidos en las hojas muestreadas (Figura 8) sin embargo, la mayoría consistió de nidos deshabitados (Figura 9) mientras que la proporción de ocupados fue muy baja. Esto concuerda con lo expuesto por Aponte y McMurtry (1997b) y por Téliz y Mora (2007) en que posiblemente las hembras adultas y estadios inmaduros salen de los nidos en

busca de nuevos sitios para construirlos, o estos actuaron únicamente como sitios de oviposición. En muchos de los nidos vacíos se observó restos de exuvias del ácaro, ya que el proceso de muda también acontece en el interior de estos. Los resultados presentados en el cuadro 1 sugieren que la humedad relativa y la precipitación registradas durante el periodo de estudio influyeron de manera significativa en la cantidad de nidos deshabitados, por eso, al registrarse un aumento de las lluvias, su número creció (Figura 9).

Otra razón que podría explicar la cantidad de nidos despoblados es por una alta migración del ácaro hacia otros sitios, posiblemente por condiciones no apropiadas para su desarrollo o bien, por una sobrepoblación en el nido, la que ocasiona competencia espacial y obliga a la búsqueda de nuevos sitios de alimentación. Según Aponte y McMurtry (1997b), en altas infestaciones, las colonias del ácaro pueden encontrarse en ramas verdes, en hojas nuevas y en frutos pequeños.

Los mecanismos de dispersión juegan un papel importante en la colonización de ácaros. *O. perseae* puede establecerse en los árboles de una plantación o bien, en otros hospederos alternativos mediante mecanismos activos (caminando) y pasivos, con el viento como el principal agente de dispersión, seguido por el equipo empleado en la plantación y la ropa de las personas. En la finca en que se realizó el estudio, se identificó la vegetación acompañante y no se encontró ningún hospedero alternativo mencionado en la literatura que podría albergar al ácaro. Las tres arvenses con mayor índice de frecuencia de cobertura (IFC) encontradas en la plantación fueron: *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn (helecho macho), *Digitaria abyssinica* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf (arrocillo) y *Melinis minutiflora* P. Beauv. (calinguero)⁵.

La condición de la hoja hospedera, su valor nutricional, así como la disponibilidad de alimento, también influyen en la dinámica poblacional de los ácaros fitófagos. Las características cualitativas y cuantitativas del hospedero y principalmente la composición bioquímica de la savia varía dependiendo de la edad y del estado fisiológico de la planta así

⁵Rojas, K. 2010. Inventario de arvenses acompañantes en la finca en San Martín de León Cortés (entrevista). Heredia, CR, UNA. Comunicación personal.

como de las condiciones climáticas, esto último debe ser considerado pues las condiciones de alimentación influyen en el potencial reproductivo de la especie (Zhovenruchuk 2006).

Según Lahav citado por León (2003), la composición química de la savia de las hojas de aguacate cambia a lo largo del tiempo, sobre todo en el contenido de nitrógeno; el carácter fluctuante de este elemento en la planta puede provocar trastornos en el organismo del ácaro, ya que una abundancia de aminoácidos ocasiona una excesiva presión osmótica en la hemolinfa de los ácaros tetraníquidos, lo cual afecta su sobrevivencia y su crecimiento poblacional (Hoddle y Kerguelen 1999). Según lo registrado por Hoddle y Kerguelen (1999), la mayor concentración de aminoácidos en el cultivar Hass se registró en mayo y descendió hasta llegar a los valores más bajos en agosto; al relacionar estos resultados con el comportamiento que mostró la población de *O. perseae* en la plantación estudiada (Figura 10) se encontró cierto grado de coincidencia entre el periodo de mayor población del ácaro y el intervalo en que posiblemente el contenido de aminoácidos se reduce en este cultivar (junio a agosto), lo cual podría sugerir algún grado de asociación entre estas variables.

En un estudio realizado en condiciones de laboratorio por Hoddle y Kerguelen (1999) se registró un incremento significativo en la población de *O. perseae*, así como una alta fecundidad y longevidad de las hembras cuando fueron alimentadas con follaje de aguacate Hass recolectado en mayo y julio; no obstante, los datos fueron superiores con el material de julio. Con el follaje cosechado en los meses de abril y mayo, los niveles poblacionales no fueron tan elevados. Lo anterior podría indicar que la calidad intrínseca de las hojas de aguacate presenta oscilaciones a lo largo del tiempo, ya que, el follaje recolectado en el mes de julio fue el que favoreció la sobrevivencia y la reproducción del ácaro, lo que causó explosiones demográficas. Al relacionar los resultados presentados en la figura 10 con el estudio realizado por estos autores, se observa como la población fue decreciendo en el mes de julio y así continuó hasta el último muestreo, por lo tanto, se puede considerar que fueron otras razones las que propiciaron la reducción de su población.

Durante la estación seca se cuantificó pocos individuos de *O. perseae* en el follaje (Figura 10); las condiciones de temperatura y la baja humedad relativa prevalecientes en la

zona podrían haber fomentado incrementos poblacionales importantes en ese periodo, sin embargo, la intervención de otros factores provocó que la población se mantuviera en esos niveles. Quizás la calidad nutricional de la planta durante este periodo y la caída de hojas viejas ocasionada por el flujo de crecimiento vegetativo registrado entre finales de marzo e inicios de mayo podrían ser dos posibles explicaciones. El patrón que presentó *O. perseae* durante este periodo podría coincidir con lo descrito por Skovgård et al. (1993) sobre el tetraníquido *Mononychellus tanajoa* (Bondar) en yuca, pues su población se redujo durante la estación seca debido a la disminución en la calidad de la planta; ya que, el efecto combinado de la sequía y las lesiones de alimentación suprimió la producción de nuevas hojas y aceleró el desprendimiento de follaje viejo.

Como se mencionó anteriormente, la disponibilidad del alimento con la calidad requerida por los ácaros juega un papel importante en su dinámica poblacional, asimismo, sus preferencias por el tipo de alimento deben ser consideradas pues difieren entre especies. En un estudio realizado por Darrouy (2000), se mencionó que el descenso en la población de *O. yothersi* se debió posiblemente a una autorregulación (competencia intraespecífica) por la falta de hojas maduras para alimentarse y reproducirse, ya que durante ese periodo ocurrió simultáneamente la caída de hojas viejas y el inicio de nuevos brotes vegetativos en aguacate. Además, muchas de las hojas presentaron un alto porcentaje de área bronceada (producto de una excesiva alimentación), lo cual restringió la fuente de alimento y por último, el follaje no reunía los requisitos para ser colonizado, ya que este tetraníquido no se dispersa a tejido nuevo hasta que éste se endurezca y adquiera un color verde intenso. Para el caso de *O. perseae*, el tipo de follaje no constituye una limitante para su desarrollo, pues éste se alimenta tanto de hojas nuevas como maduras (Cuadro 5 y Figura 22); sin embargo, altos porcentajes de área foliar dañada sí podrían influir en su crecimiento poblacional, pues esto significa escasez de alimento.

De acuerdo a la distribución vertical que presentó *O. perseae* en los árboles, el estrato bajo fue donde se contabilizó la mayor cantidad de nidos y de estadios del ácaro en comparación con el estrato medio (Figura 8 y Figura 10), aún en meses donde se registró volúmenes importantes de lluvia; esto difiere con lo expuesto en el Congreso Nacional

Agronómico y de Recursos Naturales (1999), pues aunque estadísticamente no se encontró diferencias significativas con la ubicación dentro del árbol, los recuentos fueron más elevados en el estrato medio durante los meses calurosos, mientras que en los meses donde se registró una menor temperatura, el tetrániquido se ubicó en el estrato bajo.

La presencia de ácaros depredadores de la familia Phytoseiidae y Stigmaeidae en la plantación podría ser otra razón por la cual *O. perseae* registró fluctuaciones en sus niveles poblacionales. Aunque no se determinó la identificación de los fitoseidos hasta nivel de especie, los géneros encontrados podrían coincidir con las especies más eficientes para el control de este tetrániquido, pues según los hallazgos registrados por Denmark et al. (1999) las especies *Galendromus helveolus* y *G. annectens* (De León), así como diferentes especies de *Neoseiulus* están presentes en el país.

Según los resultados presentados en la figura 20, la población de fitoseidos se incrementó cuando las densidades poblacionales de *O. perseae* fueron elevadas, asimismo, entre los ácaros depredadores y la presa se encontró una alta y significativa coincidencia en su distribución espacial (Cuadro 3), lo que permite inferir que la población encontrada de ácaros depredadores es dependiente de la densidad del tetrániquido y además, tienen un alto grado de especificidad con su fuente de alimento, por lo que se pueden considerar como especialistas. Según Elkinton (2007), los depredadores especialistas típicamente exhiben una respuesta numérica a los cambios en densidad de su presa porque dependen sólo de esa fuente de alimento, a la vez su desarrollo estacional está ligado fuertemente con el de su presa; en cambio los generalistas pueden mostrar poca o ninguna respuesta numérica por su dependencia a una gama más amplia de fuentes alimentarias.

Un detalle importante es el hecho de que aunque la población de *O. perseae* se redujo casi por completo en los últimos cinco muestreos, la población de fitoseidos y de estigmeidos se mantuvo presente aunque en menor densidad (Figura 20); lo que podría sugerir que estos ácaros se alimentaron de otras fuentes alternativas. Según un estudio realizado por González-Fernández et al. (2009), la población de fitoseidos se mantuvo presente en la plantación, aún cuando los niveles poblacionales de *O. perseae* fueron muy bajos, debido a una alta abundancia de polen en la atmósfera. En la plantación estudiada, el

polen que había disponible como posible fuente de alimento para estos ácaros fue suministrado por el cultivo, pues a inicios de octubre ocurrió el segundo ciclo de floración del aguacate, así como el proporcionado por arvenses de la familia Asteraceae presentes en la finca como *Ageratum conyzoides* L., *Hyphochoeris radicata* L. y *Dahlia imperialis* Roetzl ex Ortgies. También, otros ácaros asociados al cultivo como los tiqueidos pudieron convertirse en otra fuente de alimento para los fitoseidos; James et al. (2002) consideraron que estos ácaros fueron una posible fuente alimentaria para *Galendromus occidentalis* Nesbitt en viñedos localizados al sur del estado de Washington.

Las condiciones climáticas también afectan la población de los depredadores, por lo que es muy probable que el consumo de presas ejercido por estos ácaros disminuyó en los últimos muestreos, debido a los altos valores de humedad relativa registrados. Según González et al. (1985), un incremento en la humedad relativa disminuye la población de los ácaros depredadores, ya que estos prefieren humedades relativas que oscilen entre 40 y 60%. De acuerdo a lo presentado en el International Congress of Acarology (2010), los cambios climáticos pueden afectar las poblaciones de depredadores en áreas donde se practica el combate biológico, ya que en España se asoció los registros obtenidos de la dinámica poblacional de *O. perseae* con los datos climatológicos entre 2006-2008 y se encontró una interrupción en la actividad realizada por estos arácnidos en las plantaciones de aguacate, lo cual indicó que las difíciles condiciones ambientales que se presentaron durante el verano en esa zona posiblemente fueron las causantes de ese cambio.

Entre las poblaciones del tetraníquido y de los depredadores se presentó un comportamiento oscilatorio a lo largo del periodo de estudio (Figura 20), esto correspondió a una dependencia retrasada de la densidad o bien, por ciclos desfasados entre ambas poblaciones. Según Elkinton (2007), esta fluctuación es común en los sistemas de población. Es por esto que en muchos de los muestreos realizados en la finca se presentó simultáneamente un aumento de los depredadores y una reducción en la población de la presa, seguido por una disminución del depredador.

Dentro de la población de *O. perseae*, los huevos y las ninfas fueron los estadios que prevalecieron durante el periodo de estudio (Figura 10), esto permitió que ambos

depredadores permanecieran en la plantación. La disponibilidad de los diferentes estadios de la presa aumenta la probabilidad de que las preferencias alimenticias de los depredadores sean satisfechas, esto permite el desarrollo y una mayor reproducción y sobrevivencia del depredador. Según Cáceres y Childers (1991), las protoninfas y deutoninfas de *G. helveolus* prefieren huevos y estadios ninfales de los tetraníquidos, mientras los adultos eligen principalmente ninfas. En el caso de los estigmeidos, estos frecuentemente se alimentan de huevos y formas sésiles de tetraníquidos, tenuipálpidos y eriófidos. Según Gerson et al. (2003), la fecundidad y longevidad de la especie *Agistemus exsertus* González-Rodríguez fue dos veces mayor al consumir únicamente huevos en comparación con lo registrado cuando depredó sólo juveniles.

La coexistencia de ácaros fitoseidos y estigmeidos en el área estudiada es un indicativo de la presencia local de agentes potenciales de combate biológico que actúan en un amplio ámbito de densidades. Con base en lo expuesto por Gerson et al. (2003), los fitoseidos se consideran como los mejores agentes reguladores cuando hay altas densidades de ácaros fitoparásitos, mientras que los estigmeidos se ubican en el segundo lugar, actuando eficientemente cuando la presa se encuentra en niveles más bajos; esto se debe a que su capacidad de consumo es más baja, así como su dispersión.

Otra causa de mortalidad en las poblaciones de ácaros es la incidencia de hongos acaropatógenos. De los dos hongos encontrados en el material procesado de la finca, hay varios estudios que confirman que el género *Cladosporium* sp. contiene especies con un alto potencial como biocontroladores de ácaros tetraníquidos, por ejemplo, Humber citado por Van Der Geest et al. (2000) encontró la especie *Cladosporium cladosporioides* (Fresenius) afectando al tetraníquido *Eotetranychus* sp.; también en el año 2006 en Turquía, se evaluó la eficacia de este mismo hongo, el cual fue aislado naturalmente de *T. urticae* en condiciones de laboratorio; y se obtuvo que entre el 50,95 y el 74,76% de la mortalidad de los ácaros fue por causa de este patógeno, con lo cual se consideró altamente eficaz (Eken y Hayat 2009); asimismo, en la India se evaluó la eficiencia de este hongo contra *T. urticae* en frijol caupí el cual provocó un $75,25 \pm 1,32\%$ de mortalidad, mientras que en okra el $96,75 \pm 0,49\%$ de la población fue reducida por este agente fúngico. La

aparente patogenicidad que mostró este hongo en los estudios mencionados no fue posible determinarla contra *O. perseae*, ya que del material procesado, ningún espécimen del tetraníquido se encontró atacado por este hongo.

En el caso de *Aspergillus*, son muy pocos los registros que se tienen sobre especies con propiedades acaropatógenas; por ejemplo, Sanassi y Oliver citados por Van Der Geest et al. (2000) encontraron a *Dinothrombium giganteum* (Riley) (Acari: Trombidiidae) infectado por *A. flavus* Link; mientras que Sanassi y Armirthavalli citados por los mismos autores, realizaron experimentos para conocer el proceso de infección que realiza este hongo en *Trombidium gigas* Trouessart (Acari: Trombidiidae). Debido a la escasez de información sobre este tema, se podría considerar que las probabilidades de que este hongo causó la muerte de los ácaros encontrados en las muestras, son muy bajas. A pesar de estos registros, *Aspergillus*, en términos generales, es considerado un hongo saprófito, habitante del suelo y presente en materiales orgánicos en descomposición. Alves (1988) menciona que este hongo es, usualmente, un agente secundario u oportunista en los procesos de enfermedad, pues es común encontrarlo en insectos ya moribundos, colonizados por otros patógenos o que han sido sometidos a diferentes tipos de estrés en condiciones de laboratorio y de campo; por lo tanto, son pocas las posibilidades de que este hongo haya sido el causante primario de la muerte de los ácaros encontrados en el follaje de aguacate (Figura 12C).

Debido a la baja incidencia que presentaron estos hongos en el material procesado de la finca estudiada, no se puede afirmar que sean agentes causales de mortalidad en la población de *O. perseae*. Dentro de varios nidos se encontraron cadáveres del tetraníquido con aspecto colapsado y reseco; tales síntomas podrían ser atribuidos a un ataque por hongos; sin embargo, la presencia de ácaros depredadores (Figura 17) y la pérdida de humedad por un aumento en la temperatura interna de la hoja podrían haber sido posibles causas. Según Aponte y McMurtry (1997a) y Hoddle y Kerguelen (1999), las larvas y los estadios ninfales son los que presentan el mayor porcentaje de mortalidad cuando las temperaturas oscilan entre 20 y 25 °C.

La acarofauna asociada al cultivo de aguacate cv. Hass en la zona de estudio no había sido informada en estudios previos, por lo que este trabajo aporta el primer registro sobre las especies involucradas y su incidencia durante el periodo de muestreo. *O. yothersi* fue el otro ácaro fitófago encontrado en la plantación; sus poblaciones se establecieron durante la estación seca hasta inicios de la lluviosa, luego al establecerse las lluvias sus poblaciones decayeron abruptamente, pues posiblemente la lluvia favoreció la regulación natural de sus niveles poblacionales (Figura 19).

Otra especie de ácaro encontrada en el cultivo fue *Tarsonemus* sp., la cual se observó en sitios donde había presencia de hongo. Sin embargo, esto no significa que tenga hábitos exclusivamente fungívoros, ya que el género abarca tanto especies fungívoras o en asocio con hongos (Vargas y Ochoa 1990), depredadoras (Lin et al. 2002) como otras asociadas con artrópodos (Lombardero et al. 2000). En el caso de *Tydeus* sp. y *Pronematus* sp. pueden cumplir varias funciones en el cultivo, pues según Gerson et al. (2003) estos ácaros pueden actuar como depredadores, fuentes alternativas de alimento para ácaros depredadores como los fitoseidos y como consumidores de hongos y de productos secretados por insectos como las escamas. González et al. (1985) mencionaron que los géneros *Tydeus* y *Pronematus* abarcan especies depredadoras de ácaros fitoparásitos; por ejemplo *T. californicus* (Baker) se ha encontrado alimentándose de *Aceria sheldoni* Ewing mientras que *Pronematus ubiquitous* McGregor del eriófido *Aceria ficus* Cote.

En el caso del eriófido *C. muesebecki*, no se tenía registros de su presencia en el país y aún no se conoce su estatus para ser considerado como plaga. Después de su hallazgo en la plantación, especialistas y técnicos del MAG inspeccionaron diferentes fincas aguacateras de la Zona de Los Santos para conocer su distribución; con base en lo observado, este ácaro se encontró diseminado en las plantaciones visitadas. Según Téliz y Mora (2007), este eriófido fue el causante de clorosis y bronceado en el follaje de plantaciones localizadas en el estado mexicano de Michoacán así como en Guatemala. En el caso de Costa Rica, esos daños aún no han sido registrados en las fincas aguacateras.

La domacia que presentan las hojas de este cultivar permite que se establezcan interacciones mutualistas entre la planta y los diversos ácaros asociados al cultivo,

principalmente con especies depredadoras y fungívoras (Matos et al. 2006). Es por esto que *Agistemus* sp. (Fig. 17B), *Galendromus* sp. e incluso *Tarsonemus* sp. fueron observados en varias ocasiones entre las axilas de las venas principales, ya que estos sitios constituyen importantes microhábitats no sólo de protección sino también de reproducción y desarrollo para estos ácaros (O'Dowd 1994). Por lo tanto, la presencia de estas estructuras podría afectar la dinámica poblacional que muestra *O. perseae*, ya que según O'Dowd 1994, esto influye en la colonización de nuevos habitantes y consecuentemente en sus relaciones tróficas.

La aplicación de productos agroquímicos es otro factor que influye en la dinámica poblacional que presenten tanto ácaros fitófagos como depredadores. Según Doreste (1988) el uso desproporcionado de algunos productos químicos ha causado la reducción en forma considerable de las poblaciones de enemigos naturales de los ácaros fitoparásitos; el desequilibrio poblacional generado por estas sustancias ha incrementado la capacidad de infestación de las especies fitófagas en los cultivos.

Aunque no se evaluó el efecto directo de los dos productos aplicados en la finca sobre *O. perseae* y los depredadores, se registró una disminución en las poblaciones días después de haberse realizado las aplicaciones (Figura 20). La acción conjunta de los ingredientes activos thiamethoxam (Neonicotinoide) y lambda-cyhalothrin (Piretroide) del insecticida aplicado (Engeo[®] 24,7 SC) hace que sea un producto con un amplio espectro de acción, lo cual puede ser perjudicial para las poblaciones de enemigos naturales de *O. perseae*, pues en un estudio realizado por Amin et al. (2009), los piretroides sintéticos resultaron ser altamente tóxicos para la población de *Phytoseiulus macropilis* (Banks) (Acari: Phytoseiidae). Según Gerson y Cohen (1989), los piretroides sintéticos son letales para los fitoseidos y a su vez, poseen un efecto de repelencia contra estos ácaros, así como para otros depredadores de tetraníquidos pero, por otro lado, estos productos incrementan la fecundidad de los ácaros fitófagos (sobre todo arañas) lo que provoca importantes crecimientos poblacionales. Otro estudio que reveló la acción de los piretroides sobre las poblaciones de tetraníquidos fue el que realizó Li y Harmsen (1993), en el cual el piretroide Lambda-cyhalothrin estimuló el crecimiento de la población de *T. urticae* en los árboles de

manzana tratados con este químico. Con base en esto, se debería considerar y evaluar seriamente el uso de insecticidas piretroides en la plantación estudiada, ya que, en vez de controlar se estaría promoviendo altas infestaciones de *O. perseae* o bien, de *O. yothersi*.

Como se mencionó antes, *O. perseae* puede ser el responsable de la parcial o total defoliación de los árboles de aguacate debido al deterioro que ocasiona en las hojas. Según los resultados obtenidos, el porcentaje estimado de daño foliar ocasionado por *O. perseae* en el follaje defoliado fue mucho menor al establecido por Hoddle et al. (1999) como punto de partida para que ocurra una defoliación acelerada (Figura 23).

Es importante destacar que las mayores defoliaciones registradas en este estudio coincidieron con los flujos de crecimiento vegetativo y reproductivo que mostraron los árboles en la plantación. Según Salazar-García et al. (2006), cada uno de los flujos de crecimiento vegetativo que presentan los árboles de aguacate contribuyen a la floración y por ende, a la cosecha del siguiente año; por eso, cuando las condiciones tanto intrínsecas del árbol como ambientales son las apropiadas para que ocurra un nuevo flujo de crecimiento, se induce naturalmente la pérdida de follaje con el fin de estimular el rápido desarrollo de las yemas que permanecen inhibidas por efecto de las hojas.

La abscisión foliar que presenta este frutal es un proceso programado y muy coordinado el cual puede ser regulado por señales hormonales, aunque también pueden influir factores ambientales como el fotoperiodo. Según Brown (1997), los desbalances entre las auxinas y el etileno promueven este proceso, ya que las células de la zona de abscisión responden a bajas concentraciones de etileno endógeno debido a una reducción o reversión del gradiente de auxinas desde la hoja, lo cual promueve la síntesis de enzimas hidrolíticas que degradan las paredes causando así la caída foliar. Otros factores que pueden inducir la defoliación en los árboles son el estrés hídrico y el ataque por patógenos, sin embargo, Taylor y Whitelaw (2001) sugieren que la pérdida foliar no es una consecuencia directa de estos factores de estrés, sino que es ocasionada por el incremento en la producción de etileno y por la alteración en los niveles de auxinas y ácido abscísico promovidas por el estrés causado por esos agentes.

Con base en lo anterior, existen muchas razones por las cuales el aguacate pierde follaje, por lo tanto, el efecto de la alimentación de *O. perseae* no es la única causa que induce a la defoliación, sino más bien es un factor más que se debe tomar en consideración. De acuerdo a lo observado en el campo, *O. perseae* no tiene preferencia en el tipo de follaje en el cual se alimenta, pues tanto hojas maduras como jóvenes mostraron síntomas (Figura 22), tales observaciones quedaron respaldadas a nivel estadístico (Cuadro 5), ya que no se encontró ninguna asociación entre las variables. Los hábitos en la alimentación de este tetraníquido son opuestos a los que presentan otras especies de su mismo género como son *O. yothersi* y *O. punicae*, los cuales prefieren hojas maduras y sólo cuando hay altas infestaciones atacan brotes (Darrowy 2000).

Un aspecto importante fue el hecho de que se registró un mayor número de hojas defoliadas provenientes de la parte interna de los árboles comparado con el que se cuantificó de la periferia de la copa (Cuadro 4), esto podría ser un indicativo de deficiencias nutricionales, condiciones de mal drenaje en el suelo o bien, la falta de un adecuado sistema de poda, ya que según Araya (1983), la baja intensidad luminosa promueve la abscisión de órganos en las plantas debido a la reducción en su capacidad fotosintética, pues el estímulo luminoso requerido para que se desencadene este proceso no es el suficiente.

VII. CONCLUSIONES

- Los mayores niveles poblacionales de *Oligonychus perseae* fueron registrados entre finales de abril e inicios de agosto en el estrato bajo de los árboles.
- La cantidad de nidos ocupados de *O. perseae* es la variable que puede indicar con más certeza la existencia de poblaciones de este arácnido en las plantaciones aguacateras.
- De los parámetros climáticos evaluados, la temperatura promedio fue la que mostró una ligera influencia sobre los cambios poblacionales registrados de *O. perseae*; sin embargo, se podría decir que el clima no es tan determinante en la dinámica poblacional de este tetraníquido.
- *Cladosporium* y *Aspergillus* fueron los únicos hongos encontrados en ácaros que presentaban síntomas ocasionados por este tipo de agente. La incidencia de estos casos fue muy baja durante el periodo de estudio, por lo que no pueden ser considerados como agentes causales de mortalidad para *O. perseae*.
- Las especies asociadas al cultivo en la plantación estudiada fueron: *Oligonychus yothersi* (McGregor) (Acari: Tetranychidae), *Calepitrimerus muesebecki* Keifer (Acari: Eriophyidae), *Tarsonemus* sp. (Acari: Tarsonemidae), *Galendromus* sp., *Neoseiulus* sp. y *Typhloseiopsis* sp. (Acari: Phytoseiidae), *Agistemus* sp. (Acari: Stigmaeidae) así como ácaros pertenecientes a las familias Tydeidae e Iolinidae cuyas identificaciones fueron muy cercanas a *Tydeus* sp. y *Pronematus* sp., respectivamente.

- *Galendromus* sp., *Neoseiulus* sp. y *Agistemus* sp. son considerados posibles depredadores de *O. perseae* por lo que podrían ejercer algún grado de regulación en la población de este fitófago.
- Las poblaciones de *Galendromus* sp., *Neoseiulus* sp. y *Agistemus* sp. son denso-dependientes de la población registrada de *O. perseae*; lo cual demuestra los hábitos específicos de alimentación que tienen estos depredadores.
- La población de *O. yothersi* se incrementó durante la estación seca, sin embargo, sus niveles poblacionales disminuyeron abruptamente conforme se establecieron los niveles de precipitación. Para el caso de los demás ácaros, sus poblaciones variaron a lo largo del periodo.
- Las hojas defoliadas provenientes de los árboles de la plantación estudiada mostraron un porcentaje de daño foliar ocasionado por *O. perseae* mucho menor al mencionado en la literatura como punto de partida para que ocurra la parcial o total defoliación de los árboles; por lo tanto, la caída de estas hojas se debió a otras razones, quizás de índole fisiológico o ambiental.
- *O. perseae* no tiene preferencia por el tipo de follaje del cual se alimenta, ya que ataca tanto hojas maduras como aquellas de reciente desarrollo.
- La ubicación de las hojas no es un factor determinante para el ataque por *O. perseae*.

VIII. RECOMENDACIONES

- Ampliar el periodo de muestreos al menos por dos años más, para conocer el comportamiento que muestra la población del ácaro de acuerdo a los cambios climáticos presentes.
- Evaluar el estrato alto de los árboles para determinar la distribución total de la población en los mismos y así focalizar las labores fitosanitarias respectivas.
- Buscar otros enemigos naturales en la plantación que podrían incidir en la regulación de los niveles poblacionales del tetraníquido.
- Estudiar las arvenses asociadas a la plantación para conocer si actúan como posibles sitios de refugio para *O. perseae*.
- Evaluar la eficiencia de hongos acaropatógenos sobre la población del tetraníquido en condiciones de campo.
- Relacionar las condiciones nutricionales de los árboles así como el efecto de la aplicación de fertilizantes sobre la población del ácaro.
- Evaluar el efecto del daño provocado por este ácaro sobre la producción.

IX. UTILIDAD DEL ESTUDIO

- Su importancia radica en que sentó las bases para iniciar futuras investigaciones sobre este ácaro en las plantaciones de aguacate de la Zona de Los Santos con el propósito de conocer su comportamiento así como su interacción con diversos factores bióticos y abióticos, asimismo evaluar la eficiencia de los enemigos naturales encontrados en la finca para implementarlos como una medida de control contra este tetraníquido.

X. BIBLIOGRAFÍA

Acarology Summer Program. (58, 2009, Ohio). 2009. Agricultural acarology. Eds. G de Moraes; M Sabelis; C Welbourn; R Ochoa. Ohio, US, Ohio State University. 294 p.

Álvarez, F. 1975. El aguacate. Ministerio de Agricultura. Madrid, ES, s.e. 152 p.

Alves, S. B. 1998. Fungos entomopatogenos En: Controle microbiano do insetos. 2 ed. São Paulo, BR. Monole. 407 p.

Amin, M; Mizell, R; Flowers, R. 2009. Response of the predatory mite *Phytoseiulus macropilis* (Acari: Phytoseiidae) to pesticides and kairomones of three spider mite species (Acari: Tetranychidae), and non-prey food. Florida Entomologist 92(4): 554-562.

André, HM; Fain, A. 2000. Phylogeny, ontogeny and adaptive radiation in the superfamily Tydeoidea (Acari: Actinedida), with a reappraisal of morphological characters. Zoological Journal of the Linnean Society 130(3): 405-448. Abstract.

Aponte, O; McMurtry, JA. 1997a. Biology, life table and mating behavior of *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae). International Journal of Acarology 23(3):199-205.

_____. 1997b. Damage on 'Hass' avocado leaves, webbing and nesting behaviour of *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae). Experimental & Applied Acarology 21: 265-272.

Araya, E. 1983. Fenología de 12 especies frutales en el bosque premontano húmedo. Tesis Lic. Fitotec. San José, CR. Universidad de Costa Rica. 47 p.

Arias, F. 1999. Análisis del sistema de comercialización del aguacate (*Persea americana*) en fruta fresca variedad Hass en Costa Rica. Tesis Lic. Econ. Agríc. San José, CR. Universidad de Costa Rica. p. 62-65.

Bernal, JA, Díaz, CA. comps. 2005. Generalidades del cultivo. En: Tecnología para el cultivo del aguacate. Antioquía, CO, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). p. 11-75. (Manual Técnico no. 5).

Bolland, HR; Gutierrez, J; Flechtmann, CH. 1998. World catalogue of the spider mite family (Acari: Tetranychidae). Koninklijke Brill NV, Leiden, The Netherlands (NE). 392 p.

Brown, KM. 1997. Ethylene and abscission. *Physiology Plant* 100: 567-576.

Cáceres, S; Childers, C. 1991. Biology and life tables of *Galendromus helveolus* (Acari: Phytoseiidae) on Florida Citrus. *Environmental Entomology* 20(1): 224-229.

Cerdas, M; Montero, M; Díaz E. 2006. Manual de manejo pre y poscosecha de aguacate (*Persea americana*). San José, CR, s.e. p. 7-10.

Chant, D; McMurtry, J. 2007. Illustrated keys and diagnoses for the genera and subgenera of the Phytoseiidae of the world (Acari: Mesostigmata). Michigan, US. Indira Publishing House. 220 p.

Chinchilla, G; Quirós, E; Stolz, W. 2010. Resumen meteorológico junio de 2010. San José, CR, Instituto Meteorológico Nacional 22 p. (Boletín Meteorológico Mensual Junio 2010). Consultado 21 oct. 2011. Disponible en: http://www.imn.ac.cr/boletin_meteo/historial/2010/BMET062010.pdf

Congreso Mundial del Aguacate (6, 2007, Viña del Mar). 2007. Developing an action threshold for the perseia mite on avocado. Proceedings. Eds. E Palevsky; Y Maoz; S Gal; Y Argov; M Zilberstein; M Noy; Y Izhar; V Alchanatis. Viña del Mar, CH. 5 p.

Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales (11), Congreso Nacional de Entomología (5). (1999, CR). 1999. Dinámica y fluctuación poblacional de *Oligonychus perseae* Acari: Tetranychidae, en dos variedades de aguacate (Hass y Nabal). Memoria. Ed. Y Gómez. CR. p. 140.

Darrouy, N. 2000. Desarrollo de una crianza masiva de *Stethorus histrio* Chazeau, biocontrolador de la araña roja del palto (*Oligonychus yothersi* (McGregor)) (en línea). Tesis Lic. Ing. Agr. Chile, Universidad Católica de Valparaíso. Consultado 19 nov. 2009. Disponible en: http://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/D-E-F/DarrouyNicole2000.pdf

Denmark, HA; Evans, GA; Aguilar, H; Vargas, C; Ochoa, R. 1999. Phytoseiidae of Central America (Acari: Mesostigmata). Michigan, US. Indira Publishing House. 125 p.

Doreste, E. 1988. Acarología. 2 ed. San José, CR. IICA. 410 p.

Eken, C; Hayat, R. 2009. Preliminary evaluation of *Cladosporium cladosporioides* (Fresen.) de Vries in laboratory conditions, as a potential candidate for biocontrol of *Tetranychus urticae* Koch. World Journal Microbiology and Biotechnology 25: 489-492.

Elkinton, J. 2007. El papel de la ecología de poblaciones y de los modelos de población en el control biológico. En: Control de plagas y malezas por enemigos naturales. Eds. RG Van Driesche; M Hoddle; TD Center. US, USDA, US Forest Service, Forest Health Technology Enterprise Team. p. 153-174.

Estébanes, ML; Baker, EW. 1968. Arañas rojas de México (Acari: Tetranychidae). Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. MX. 15:61-133.

Gerson, U; Aronowitz, A. 1981. Spider mite webbing. V. The effect of various host plants. Acarologia 22(3): 277-281.

_____, Cohen, E. 1989. Resurgences of spider mites (Acari: Tetranychidae) induced by synthetic pyrethroids. Experimental & Applied Acarology 6: 29-46.

_____, Smiley, R, Ochoa, R. 2003. Mites (Acari) for pest control. 2 ed. US, Wiley-Blackwell. 560 p.

Gómez, Y. 2005. Manejo integrado de plagas en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.), San José, CR. p 17, 28-29.

González, M; Salas, L.A; Hernández, R.L. 1985. Factores bióticos y abióticos que regulan la población de *Phyllocoptruta oleivora* (Ashmead) (Acari: Eriophyidae) en naranja. Agronomía Costarricense 9(2): 205-211.

González-Fernández, J; Vela, JM; Wong, E; De la Peña, F; Boyero, JR; Montserrat, M. 2008. Control biológico del ácaro cristalino del aguacate en el sur de España. Consultado 20 Jun 2011. Disponible en: http://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/publicaciones-online/2009/eventos-seae/cds/congresos/actas-bullas/seae_bullas/verd/posters/10%20P%20SV/2.pdf

_____, De la Peña, F; Hormaza, JI; Boyero, JR; Vela, JM; Wong, E; Trigo, MM; Montserrat, M. 2009. Alternative food improves the combined effect of an omnivore and a

predator on biological pest control. A case study in avocado orchards. *Bulletin of Entomological Research* 99: 433-444.

Hazan, A; Gerson, U; Tahori, AS. 1974. Spider mite webbing I. The production of webbing under various environmental conditions. *Acarologia* 16: 68-82.

Henderson, C; McBurnie, H. 1943. Sampling technique for determining populations of the citrus red mite and its predators. Washington, D.C, US, USDA. 11 p. (Circular no. 671).

Hoddle, M. 1998. Biology and management of the perseae mite. *California Avocado Society Yearbook* 82:75-85.

_____. 2000. Biología y manejo del ácaro perseae, *Oligonychus perseae* Tuttle, Baker & Abbatiello (Acarina: Tetranychidae). *The Biology and Management of the Perseae Mite* 10: 1-7.

_____, Aponte, O; Kerguelen, V; Heraty, J. 1999. Biological control of *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae) on avocado: I. Evaluating release timings, recovery and efficacy of six commercially available phytoseiids. *International Journal of Acarology* 25(3): 211-219.

_____, Kerguelen, V. 1999. Determining the susceptibility of avocado cultivars to feeding by the perseae mite, *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae). *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 5: 301-308.

_____, Robinson, L; Virzi, J. 2000. Biological control of *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae) on avocado. III. Evaluating the efficacy of varying release rates and release frequency of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *International Journal of Acarology* 26(3): 203-214.

INA (Instituto Nacional de Aprendizaje, CR). 1988. El cultivo del aguacate. San José, CR, EDITORAMA. 34 p. (Serie Tecnológica no. 5).

International Congress of Acarology (13, 2010, Recife, BR). 2010. Is global warming jeopardizing the biological control of invasive species? A case study in avocado agroecosystems from Spain. Abstracts. Eds. GJ de Moraes; RC Castilho; CHW Flechtman. Recife-PE, BR. p. 159.

James, D; Price, T; Wright, L; Perez, J. 2002. Abundance and phenology of mites, leafhoppers and thrips on pesticide-treated and untreated wine grapes in Southcentral Washington. *Journal of Agricultural and Urban Entomology* 19(1): 45-53.

Jeyarani, S; Gulsar Banu, J; Ramaraju, K. 2011. First record of natural occurrence of *Cladosporium cladosporioides* (Fresenius) de Vries and *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill on Two Spotted Spider Mite, *Tetranychus urticae* Koch from India. *Journal of Entomology* 8(3): 274-279. Consultado 30 agosto 2011. Disponible en: <http://docsdrive.com/pdfs/academicjournals/je/2011/274-279.pdf>

Khan, Y; Nazeer, W; Hameed, A; Farooq, J; Shahid, M. 2011. Impacts of abiotic factors on population fluctuation of insect fauna of *Vigna radiata* and *Tetranychus urticae* Koch in Sindh. *Frontiers of Agriculture in China* 5(2): 231-236.

Krantz, G.W. 2009. A manual of acarology. Eds. GW Krantz; DE Walter. Texas Tech University Press, Lubbock, US. 807 p.

Kerguelen, V; Hoddle, M. 1999. Biological control of *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae) on avocado: II. Evaluating the efficacy of *Galendromus helveolus* and *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *International Journal of Acarology* 25(3): 221-229.

_____. 2000. Comparison of the susceptibility of several cultivars of avocado to the perseae mite, *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae). *Scientia Horticulturae* 84: 101-114.

León, O. 2003. Estudio de los parámetros de vida de *Oligonychus yothersi* McGregor (Acari: Tetranychidae) en dos cultivares de palto (*Persea americana* Mill.), Hass y Fuerte. (en línea). Tesis Lic. Ing. Agr. Chile, Universidad Austral de Chile. Consultado 2 junio 2011. Disponible en: http://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/J-K-L/LeonOlga2003.pdf

Lemus, G; Ferreyra, R; Gil, P; Sepúlveda, P; Maldonado, P; Toledo, C; Barrera, C; Celedón, JM. 2010. El cultivo del palto. 3 ed. Santiago, CL, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 80 p. (Boletín INIA no. 129).

- Li, Y; Harmsen, R. 1993. Pyrethroid lambdacyhalothrin-induced population increase of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) in an apple orchard. *Journal of Agricultural Entomology* 10(3): 197-203.
- Lin, J; Nakao, H; Saito, Y. 2002. A new species of *Tarsonemus* (Acari: Tarsonemidae), preying on eggs of *Schizotetranychus longus* (Acari: Tetranychidae). *Journal of the Acarological Society of Japan* 11(2): 85-89. Consultado 21 setiembre 2011. Disponible en: http://www.jstage.jst.go.jp/article/acari/11/2/85/_pdf
- Lombardero, MJ; Klepzig, KD; Moser, JC; Ayres, MP. 2000. Biology, demography and community interactions of *Tarsonemus* (Acari: Tarsonemidae) mites phoretic on *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Scolytidae). *Agricultural and Forest Entomology* 2: 193-202.
- Macmillan, C. 2005. A protocol for using the mite brushing machine for measuring densities of Willamette spider mites on grapes. Mag. Sc. Thesis. San Luis Obispo, US. California Polytechnic State University. 25 p.
- Masís, C; Aguilar, H. 1990. Efecto de la precipitación pluvial sobre la densidad poblacional de *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) en tres variedades de fresa. *Agronomía Costarricense* 14(1): 89-92.
- Matos, C; Pallini, A; Chaves, F; Schoereder, J. 2006. Do domatia mediate mutualistic interactions between coffee plants and predatory mites? *Entomologia Experimentalis et Applicata* 118:185-192.
- _____ ; Peña, F de la; Hormaza, J. 2008. How do *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) females penetrate densely webbed spider mite nests? *Experimental & Applied Acarology* 44:101-106.
- Morera, J. 1983. El aguacate. Unidad de Recursos Fitogenéticos. Turrialba, CR, CATIE/GTZ p. 1-3.
- Ochoa, R; Aguilar, H; Vargas, C. 1991. Ácaros fitófagos de América Central. Turrialba, CR. CATIE. 251 p.

- O'Dowd, DJ. 1994. Mite association with the leaf domatia of coffee (*Coffea arabica*) in north Queensland, Australia. *Bulletin of Entomological Research* 84: 361-366.
- Poinar, G; Poinar, R. 1998. Parasites and pathogens of mites. *Annual Review of Entomology* 43:449-469.
- Ripa, R; Larra, P. 2008. Manejo de plagas en paltos y cítricos. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 399 p. (Colección de Libros INIA, no. 23).
- Salas, L. 1978. Algunas notas sobre las arañas rojas (Tetranychidae: Acari) halladas en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 2(1): 47-59.
- Salazar-García, S; Cossio, LE; Lovatt, C; González, I; Pérez, M. 2006. Crop load affects vegetative growth flushes and shoot age influences irreversible commitment to flowering of “Hass” avocado. *HortScience* 41(7): 1541-1546.
- SAS Institute, Inc. 2007. JMP Versión 7.0.1. Cary, NC.
- SAS Institute, Inc. 2008. JMP Versión 8.0.1. Cary, NC
- Salinas, P., Reséndiz, B. 1995. Ciclo biológico de la araña cristalina del aguacatero *Oligonychus perseae* (Tuttle, Baker, Abbatiello) (Prostigmata:Tetranychidae). *Revista Chapingo Serie Protección Vegetal* 2(1): 53-56.
- SIIM (Sistema de Información e Inteligencia de Mercados, CR). 2011. Análisis de mercados: Aguacate. San José, CR, Consejo Nacional de Producción (CNP). 8 p. (Boletín no. 1).
- Skovgård, H; Tomkiewicz, J; Nachman, G; Münster, M. 1993. The dynamics of the cassava green mite *Mononychellus tanajoa* in a seasonally dry area in Kenya. *Experimental & Applied Acarology* 17: 59-76.
- Southwood, TRE; Henderson, PA. 2000. *Ecological methods*. 3 ed. Massachusetts, US. Blackwell Science Inc. 575 p.
- Takano-Lee, M; Hoddle, M. 2002. Predatory behaviors of *Neoseiulus californicus* and *Galendromus helveolus* (Acari: Phytoseiidae) attacking *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae). *Experimental and Applied Acarology* 26:13-26.

- Taylor, JE; Whitelaw, CA. 2001. Signals in abscission. *New Phytologist* 151(2): 323-339.
- Téliz, D; Mora, A. 2007. El aguacate y su manejo integrado. 2 ed. MX, Mundi-Prensa. p. 156-158.
- Tuttle, D; Baker, E; Abbatiello, M. 1976. Spider mites of Mexico (Acari: Tetranychidae). *International Journal of Acarology* 2(2): 1-102.
- University of California. 2008. Integrated pest management for avocados. University of California, Statewide Integrated Pest Management Program, Agriculture and Natural Resources. California, US. Publication 3503. 222 p.
- Van Der Geest, LPS; Elliot, SL; Breeuwer, JAJ; Beerling, EAM. 2000. Diseases of mites. *Experimental and Applied Acarology* 24:497-560.
- Vargas, C; Ochoa, R. 1990. Medios de cultivo en laboratorio contaminados por *Tarsonemus bilobatus* Suski (Acari: Tarsonemidae) y redescipción de la especie. *Manejo Integrado de Plagas* 18: 19-23.
- Waite, GK, Martinez, R. 2002. Insect and mite pests. En: *The avocado: botany, production and uses*. Eds. A Whiley; B Schaffer; BN Wolstenholme, UK. CABI Publishing. 416 p.
- Zhovenrchuk, O. 2006. Tetranychoid mites (Prostigmata: Tetranychoida) inhabiting green plantings in Kyiv. *Biological Lett* 43(2): 389-392.
- Zoebisch, T; Vargas, C; Ochoa, R; Gamboa, A. 1992. Identificación y potencial del hongo *Hirsutella thompsonii* Fisher para el control de ácaros de importancia económica en América Central. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 23: 9-12.