

Manejo sostenible de cultivos subtropicales en un clima cambiante: el ejemplo del control biológico del ácaro cristalino del aguacate

Inmaculada Torres-Campos y Marta Montserrat (Departamento de Fruticultura Subtropical, Instituto de Hortofruticultura Subtropical y Mediterránea La Mayora-Universidad de Málaga-Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IHSM-UMA-CSIC), Algarrobo-Costa, Málaga).

La lucha biológica se encuentra seriamente amenazada por el calentamiento climático. Las variaciones en las condiciones abióticas, previstas en los modelos de cambio climático, pueden alterar las interacciones tróficas que ocurren entre las especies que habitan en los sistemas agrícolas. Es imprescindible, por tanto, entender el comportamiento de las comunidades agrícolas a medida que cambian las condiciones abióticas, mediante estudios que identifiquen los cambios en la estructura trófica de dichas comunidades. Ello permitirá el desarrollo de medidas que contribuyan a paliar las consecuencias del cambio climático en las estrategias de control biológico de plagas. En el presente trabajo se muestra cómo variaciones en la temperatura y la humedad relativa modifican la estructura trófica de la comunidad de ácaros que habita en el agro-ecosistema del aguacate, y cómo estos cambios en la estructura, a su vez, influyen en el control biológico del ácaro cristalino *Oligonychus perseae*.

PALABRAS CLAVE: Cambio climático, interacciones tróficas, alimento alternativo, *Oligonychus perseae*, *Euseius stipulatus*, *Neoseiulus californicus*

INTRODUCCIÓN

El Quinto Informe de Evaluación (IE5) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) expone que en el último siglo se ha producido un aumento de la temperatura global de la superficie de la Tierra (IPCC, 2014). Este informe también sostiene que los fenómenos meteorológicos y climáticos cada vez se predicen más erráticos, con un aumento en la intensidad, duración y número de períodos de temperaturas extremas, así como de episodios de precipitación y sequía severos. Estos cambios en el clima introducen incertidumbres en el futuro del sector agrícola, y además pueden obstaculizar el mantenimiento y la expansión de la agricultura basada en prácticas respetuosas con el medio ambiente, tal como el control biológico de plagas. Esto es porque la mayoría de las plagas y los enemigos naturales que las controlan son artrópodos y, debido a que son organismos ectotermos, muchos parámetros relacionados con su eficiencia biológica (p.ej. supervivencia, reproducción, longevidad), y con las interacciones bióticas que establecen con otros organismos (p.ej. tasa de depredación, habilidad competitiva), son dependientes del clima (Beveridge y col., 2010; Gilman y col., 2010). Así, el cambio en las condiciones abióticas predicho en los modelos de cambio climático puede influir en las interacciones entre las especies que habitan los sistemas agrícolas y modificar así su estructura. Sumado a esto, como consecuencia del incremento de las temperaturas probablemente se ampliará la distribución geográfica de especies limitadas por la tolerancia al frío, fomentando la invasión y establecimiento de especies plagas no autóctonas (Cannon, 1998; Thomson y col., 2010). Es por ello que el cambio climático podría poner en riesgo la implementación de prácticas de control biológico de plagas, lo que podría conducir a un aumento en el uso de insecticidas, con las repercusiones negativas que ello tendría tanto en la calidad de las cosechas como a nivel medioambiental. Esto plantea la necesidad de evaluar cómo cambios en las condiciones abióticas pueden alterar las interacciones que existen entre las especies que forman las comunidades agrícolas, valorando las consecuencias que esto tendría para el mantenimiento de una agricultura sostenible. De esta forma se podrían mejorar las predicciones y reducir el fracaso en la lucha biológica.

Algae green

Efecto Triple Acción

- Incremento de la actividad vegetativa y fotosintética.
- Mejora del equilibrio nutricional.
- Aumento de la tolerancia al estrés abiótico y biótico.

Tecnología
Regeneradora
Natural

**Algae
green**
Fruit Plus
Bioestimulante

**Algae
green**
Viña Plus
Bioestimulante especial para viña

**Algae
green**
500
Extracto puro al 100%

**Algae
green**
Maxx
Bioestimulante de la floración y cuajado

**Algae
green**
Olivo Plus
Bioestimulante especial para olivo

**Algae
green**
Ca-Force
Bioestimulante corrector de calcio

**Aminos
prim**
Bioestimulante completo y reforzado




SAPEC
AGRO ESPAÑA

Pasión por la nutrición

El agro-ecosistema del aguacate

El cultivo del aguacate es originario de Centroamérica y ha alcanzado gran importancia en el sureste de España, en concreto en las zonas costeras de Málaga y Granada (Díaz Robledo, 1997). De hecho, España es el país con mayor producción de aguacate de Europa (MAGRAMA, 2016), y además lidera la exportación de este fruto a nivel europeo (FAOSTAT, 2016). La buena situación fitosanitaria de los cultivos de aguacate en Andalucía ha permitido una fácil adaptación a la producción ecológica, lo que podría ser una de las razones por las que ocupa un lugar importante en el mercado europeo. Sin embargo, en la actualidad este cultivo se encuentra afectado por una plaga que fue detectada por primera vez en el sureste de España en 2004, *Oligonychus perseae* (Tuttle, Baker & Abbatiello) (Acari: Tetranychidae), comúnmente conocida como el ácaro cristalino. Este ácaro es originario de México y su expansión puede ser atribuible al calentamiento que está experimentando la región Mediterránea (IPCC, 2014).

El ácaro cristalino construye nidos de tela en el envés de las hojas, principalmente a lo largo de los nervios (Aponte y McMurtry, 1997). En el interior de los nidos los adultos se alimentan y se reproducen, y los juveniles se desarrollan (Figura 1a). Los nidos tienen forma semicircular y causan manchas necróticas debido a la alimentación de los individuos, las cuales pueden llegar a ocupar hasta el 90% del área foliar, afectando a la eficiencia fotosintética de la planta (Aponte y McMurtry, 1997). Los nidos actúan protegiendo a esta plaga frente al ataque de algunas especies de enemigos naturales así como de las condiciones abióticas adversas (Mori y col., 1999; Montserrat y col., 2008). En el sureste de España, en áreas costeras, donde las condiciones climáticas son relativamente suaves, se encuentran dos especies de ácaros pertenecientes a la familia de los fitoseidos que son enemigos naturales de esta plaga: el depredador especialista de tetránichidos *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Figura 1b) que se encuentra disponible comercialmente, y el omnívoro *Euseius stipulatus* (Athias-Henriot) (Figura 1c) que puede reproducirse cuando se alimenta de polen y que no está disponible a nivel comercial. Ambas especies depredan activamente al ácaro cristalino. Mientras que *N. californicus* es capaz de penetrar en el interior de los nidos y depredar a los individuos que se encuentran en su interior (Montserrat y col., 2008), *E. stipulatus* solo depreda a los individuos que merodean en el exterior de los nidos, debido



Figura 1. a) Hembra y huevos de *O. perseae* en el interior de un nido; b) Hembra de *N. californicus* en el interior de un nido construido por *O. perseae*; c) Hembra de *E. stipulatus*. Imagen a, Rosa M. Sahún. Imágenes b y c, Inmaculada Torres-Campos.

Combinaciones de especies	
Sin polen	
IG-depredador (1 hembra) + IG-presa (10 juveniles) + Presa (10 hembras) + hoja aguacate	
a)	<i>E. stipulatus</i> + <i>N. californicus</i> + <i>O. perseae</i> + hoja de aguacate
b)	<i>N. californicus</i> + <i>E. stipulatus</i> + <i>O. perseae</i> + hoja de aguacate
Con polen como presa alternativa	
IG-depredador (1 hembra) + IG-presa (10 juveniles) + Presa (10 hembras) + polen + hoja aguacate	
a)	<i>E. stipulatus</i> + <i>N. californicus</i> + <i>O. perseae</i> + polen + hoja de aguacate
b)	<i>N. californicus</i> + <i>E. stipulatus</i> + <i>O. perseae</i> + polen + hoja de aguacate

Tabla 1. Combinaciones de especies presentes en los tratamientos experimentales.

a su incapacidad para penetrar en ellos (González-Fernández y col., 2009). Además, estas dos especies de ácaros depredadores pueden estar involucradas en 'Depredación Intragremial' (IGP, de sus siglas en inglés), donde dos especies interactúan compitiendo por un recurso (presa compartida), y a su vez una de ellas (IG-depredador) consume también a la otra (IG-presa) (Polis y col., 1989). Comúnmente, los IG-depredadores son adultos de una especie que depreda en estadios juveniles (IG-presas) de la otra especie. Cuando ocurren interacciones depredador-presa entre dos especies de depredadores, la presencia de una presa alternativa (p. ej. polen) para el IG-depredador puede reducir la presión de depredación sobre la IG-presa, y además promover competencia aparente (cuando dos presas que no compiten entre ellas comparten un mismo depredador – Holt, 1977) entre la presa (*O. perseae*) y la presa alternativa (polen), lo que favorece el control de la plaga (González-Fernández y col., 2009).

La comunidad de ácaros que habita el agro-ecosistema del aguacate es relativamente simple, formada por un número bajo de especies, lo cual facilita el estudio de las interacciones que ocurren entre los componentes de la comunidad. De este modo, esta comunidad puede servir como modelo para estudiar la respuesta de las especies a cam-

bios en las condiciones abióticas, determinando el papel que estas juegan en las interacciones entre las plagas y sus enemigos naturales. En este trabajo se han evaluado las interacciones tróficas entre las especies de ácaros que habitan el agro-ecosistema del aguacate a diferentes condiciones abióticas con el fin de determinar las consecuencias que el cambio climático podría tener en la estructura y la dinámica de comunidades agrícolas en las que el control biológico es la base del control de plagas.

Métodos

Las interacciones fueron evaluadas a nivel de individuo en arenas experimentales como las descritas en Guzmán y col. (2016), con hembras de *E. stipulatus* y *N. californicus* actuando como IG-depredador, y juveniles de *N. californicus* y *E. stipulatus* actuando como IG-presa, respectivamente. La presa compartida fue *O. perseae*. Dichas interacciones fueron estudiadas también en la presencia de polen de *Carpobrotus edulis* como presa alternativa. Los tratamientos experimentales constaron de las combinaciones de especies descritas en la Tabla 1, además de sus correspondientes tratamientos de control. Todos los tratamientos fueron llevados a cabo bajo dos condiciones abióticas que fueron denominadas como 'Óptimas' [25°C / 70% HR

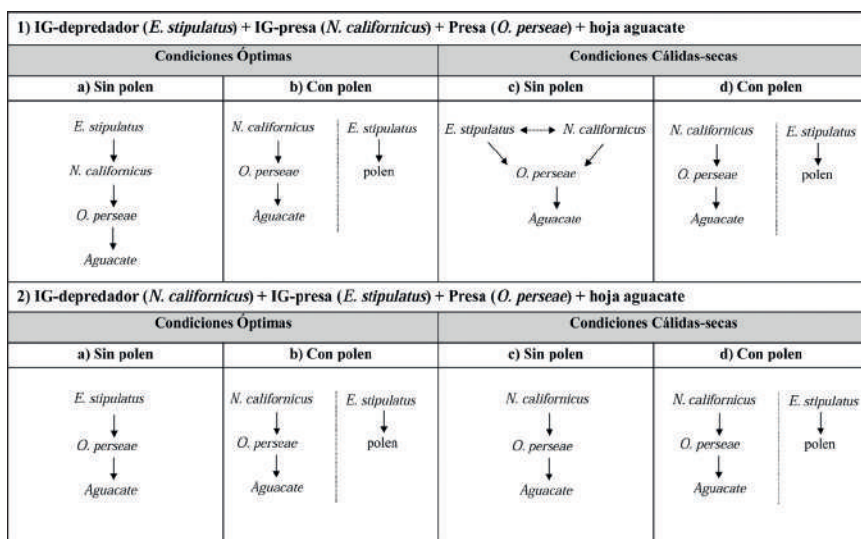


Figura 2. Interacciones tróficas entre las especies de ácaros que habitan el agro-ecosistema del aguacate obtenidas a las dos condiciones abióticas estudiadas ('Óptimas' y 'Cálidas-secas') cuando las hembras de *E. stipulatus* (1) o *N. californicus* (2) actuaron como IG-depredador, y los juveniles de *N. californicus* (1) o *E. stipulatus* (2) actuaron como IG-presa, en la ausencia (a y c) y en la presencia (b y d) de polen como alimento alternativo. Las flechas sólidas indican las interacciones tróficas entre las especies y las flechas discontinuas indican las interacciones negativas entre depredadores (competencia).

(día) y 22°C / 85% HR (noche)] y Cálidas-secas [30°C / 50% HR (día) y 27°C / 50% HR (noche)]. Tras 24 h, se anotó el número de hembras de *O. perseae* y de juveniles de la IG-presa que fueron depredados, así como la tasa de ovoposición de las hembras depredadoras que actuaron como IG-depredador. Los datos obtenidos permitieron establecer las interacciones tróficas resultantes a cada condición abiótica.

Resultados

A condiciones 'Óptimas', los resultados mostraron que cuando las hembras de *E. stipulatus* actuaron como IG-depredador y los juveniles de *N. californicus* como IG-presa, las hembras de *E. stipulatus* solo depredaron a los juveniles de *N. californicus*, y solo los juveniles de *N. californicus* depredaron a la presa compartida, *O. perseae*. De esta forma, con esta combinación de especies, la estructura de la comunidad se asemejó a una cadena trófica, estableciéndose una relación lineal entre los dos depredadores y la plaga: hembras de *E. stipulatus* alimentándose de juveniles de *N. californicus*, y juveniles de *N. californicus* alimentándose de la plaga (Figura 2, 1a). Esta estructura trófica sería perjudicial para el control biológico ya que la depredación de los juveniles de *N. californicus* por las hembras de *E. stipulatus* beneficiaría indirectamente a las poblaciones de *O. perseae*.

En la combinación de especies formada por hembras de *N. californicus* actuando como el IG-depredador y por juveniles de *E. stipulatus* actuando como la IG-presa, los resultados mostraron que los juveniles de *E. stipulatus* fueron los únicos que depredaron a *O. perseae*. Las hembras de *N. californicus* no interaccionaron en absoluto con las otras dos especies, es decir, no depredaron ni a la IG-presa ni a la presa compartida. Así, en este caso, la estructura de la comunidad también fue una cadena trófica, pero solo formada por los juveniles de *E. stipulatus* depredando al ácaro cristalino (Figura 2, 2a). Estos resultados sugirieron que los juveniles de *E. stipulatus* pudieron haber inducido un comportamiento anti-depredador en las hembras de *N. californicus*, lo que causó su inactividad. Es posible que las hembras de *N. californicus* percibieran a los juveniles como depredadores potenciales, desencadenando este comportamiento. Por tanto, el efecto que los juveniles de *E. stipulatus* tuvieron sobre el comportamiento de las hembras de *N. californicus* reduciría la actividad depredadora de esta especie sobre el ácaro cristalino, beneficiando de nuevo a las poblaciones de *O. perseae*.

A condiciones 'Cálidas-secas', cuando las hembras de *E. stipulatus* actuaron como IG-depredador y los juveniles de *N. californicus* como IG-presa, los resultados sugirieron que las hembras de *E. stipulatus* dejaron de depredar a los juveniles de *N. californicus*, pasando a depredar únicamen-

te a *O. perseae*. Los juveniles de *N. californicus* continuaron alimentándose del ácaro cristalino a estas condiciones abióticas. Consecuentemente, las interacciones entre las especies cambiaron, y la comunidad pasó de asemejarse a una cadena trófica a ser una comunidad dominada por competencia por explotación entre las dos especies de depredadores (Figura 2, 1c).

En el caso en el que las hembras de *N. californicus* fueron el IG-depredador y los juveniles de *E. stipulatus* la IG-presa, los resultados sugirieron que esta vez solo las hembras de *N. californicus* depredaron a *O. perseae*. Además, *N. californicus* no depredó a los juveniles de *E. stipulatus*. De esta forma, la configuración de la comunidad fue de nuevo una cadena trófica, pero esta vez solo con las hembras de *N. californicus* depredando a *O. perseae*, y con los juveniles de *E. stipulatus* no interaccionando con ninguna de las otras dos especies (Figura 2, 2c). Puede que este cambio en la estructura de la comunidad con respecto a las condiciones 'Óptimas' fuera debido a que unas condiciones abióticas desfavorables, con alta temperatura y baja humedad relativa, afectarían al estado de los juveniles de *E. stipulatus*. Por tanto, estos habrían inducido menos interferencia en las hembras de *N. californicus*, las cuales reanudaron su actividad depredadora.

Cuando se añadió polen al sistema, a las dos condiciones abióticas estudiadas, y en ambas combinaciones de IG-depredador y IG-presa (es decir, *E. stipulatus* y *N. californicus* actuando como IG-depredador o como IG-presa), la presencia de este alimento alternativo dividió esta comunidad de ácaros en dos cadenas tróficas: una con *E. stipulatus* (hembras y juveniles) alimentándose preferencialmente de polen y la otra con *N. californicus* (hembras y juveniles) depredando a *O. perseae* (Figura 2, 1b y d; 2b y d). Así, la presencia de un alimento alternativo para *E. stipulatus* redujo las interacciones negativas entre las dos especies de ácaros depredadores dando lugar a configuraciones tróficas que favorecerían el control biológico de la plaga.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este trabajo exponen que las condiciones abióticas influyen notablemente en las interacciones entre las especies que forman una comunidad. A medida que cambian la temperatura y la humedad relativa también varían las relaciones tróficas entre las especies, poniendo de manifiesto el efecto que cambios en el clima

podría ocasionar en comunidades agrícolas que se encuentran bajo control biológico. En el caso de la comunidad de ácaros que habita en el agroecosistema del aguacate, la aplicación de polen en el sistema podría mejorar el control del ácaro cristalino, ya que la presencia de este alimento alternativo relajó las interacciones negativas entre los dos ácaros depredadores observadas en la ausencia de polen a las dos condiciones abióticas estudiadas.

Abstract

Global warming may jeopardize biological pest control. Shifts in abiotic conditions predicted by

models of climate change can alter trophic interactions occurring among species inhabiting agricultural systems. Thus, it is needed to identify how changes in abiotic conditions will influence the trophic structure of agricultural communities, in order to develop strategies aimed at mitigating the consequences of climate change for biological pest control. In this work, we show how changes in temperature and relative humidity modify the trophic structure in the predator-prey avocado mite community, and its influence in the biocontrol of *Oligonychus perseae*.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido realizado con la financiación del proyecto con referencia

AGL2011-30538-C03-03 del Ministerio de Ciencia e Innovación y de una beca JAE-PREDOC del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) concedida a I.T-C. Los autores agradecen a Rosa M. Sahún Logroño su colaboración en la realización de los experimentos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aponte, O. y McMurtry, J. 1997. Damage on 'Hass' avocado leaves, webbing and nesting behaviour of *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae). *Experimental and Applied Acarology*, 21, 265-272.
- Beveridge, O.S., Humphries, S. y Petchey, O.L. 2010. The interacting effects of temperature and food chain length on trophic abundance and ecosystem function. *Journal of Animal Ecology*, 79, 693-700.
- Cannon, R.J. 1998. The implications of predicted climate change for insect pests in the UK, with emphasis on non indigenous species. *Global Change Biology*, 4, 785-796.
- Díaz Robledo, J. 1997. Historia del aguacate español: 1955-1996. Ediciones Eilea, Madrid, España.
- FAOSTAT. 2016. Annual statistics of production and trade of crops. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E> y <http://faostat3.fao.org/browse/T/TP/E>.
- Gilman, S.E., Urban, M.C., Tewksbury, J., Gilchrist, G.W. y Holt, R.D. 2010. A framework for community interactions under climate change. *Trends in Ecology & Evolution*, 25, 325-331.
- González-Fernández, J., De la Peña, F., Hormaza, J.I., Boyero, J., Vela, J., Wong, E., Trigo, M. y 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.
- Guzmán, C., Aguilar-Fenollosa, E., Sahún, R.M., Boyero, J.R., Vela, J.M., Wong, E., Jaques, J.A. y Montserrat, M. 2016. Temperature-specific competition in predatory mites: Implications for biological pest control in a changing climate. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 216, 89-97.
- Holt, R.D. 1977. Predation, apparent competition, and the structure of prey communities. *Theoretical Population Biology*, 12, 197-229.
- IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- MAGRAMA. 2016. Estadísticas agrarias. Superficies y producciones anuales de cultivos permanentes y hortalizas. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/superficies-producciones-anuales-cultivos/>.
- Montserrat, M., de la Peña, F., Hormaza, J. y González-Fernández, J. 2008. How do *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) females penetrate densely webbed spider mite nests? *Experimental and Applied Acarology*, 44, 101-106.
- Mori, K., Saito, Y. y Sakagami, T. 1999. Effects of the nest web and female attendance on survival of young in the subsocial spider mite *Schizotetranychus longus* (Acari: Tetranychidae). *Experimental and Applied Acarology*, 23, 411-418.
- Polis, G.A., Myers, C.A. y Holt, R.D. 1989. The ecology and evolution of intraguild predation: potential competitors that eat each other. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 20, 297-330.
- Thomson, L.J., Macfadyen, S. y Hoffmann, A.A. 2010. Predicting the effects of climate change on natural enemies of agricultural pests. *Biological Control*, 52, 296-306.