

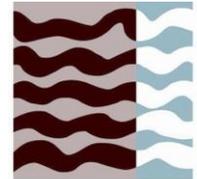


Universidad
Politécnica
de Cartagena



UPCT

Escuela Técnica Superior de
Ingeniería Agronómica



ETSIA

***Máster Universitario
en Técnicas Avanzadas en Investigación
y Desarrollo Agrario y Alimentario***

Mejora de la eficacia de *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae) en el control biológico de *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) en berenjena y calabacín mediante la adición de ácaro presa *Carpoglyphus lactis* (Acari: Carpoglyphidae)

Autor: D. Francisco José Hernández Peña

Dirección: D. Pablo Bielza Lino

Codirección: D. Francisco Javier Calvo

Cartagena, diciembre de 2020

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. MATERIALES Y MÉTODOS	5
2.1. Depredadores, ácaros presa y material vegetal	5
2.2. Invernadero experimental	6
2.3. Diseño experimental	6
2.4. Procedimiento	6
2.5. Muestreo	7
2.6. Condiciones ambientales	7
2.7. Análisis de datos	7
3. RESULTADOS	8
3.1. Ensayo con berenjena	8
3.2. Ensayo con calabacín	10
4. DISCUSIÓN	12
5. CONCLUSIONES	14
6. BIBLIOGRAFÍA	15

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Número (media \pm ES) de *A. swirskii* (a) y de adultos (b) y ninfas más pupas (c) de *Bemisia tabaci* por hoja en cada tratamiento durante el experimento con berenjena 9

Figura 2. Número (media \pm ES) de *A. swirskii* (a) y de adultos (b) y ninfas más pupas (c) de *Bemisia tabaci* por hoja en cada tratamiento durante el experimento con calabacín 11

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación por parejas del número de *A. swirskii* y de adultos y ninfas más pupas de *Bemisia tabaci* entre los diferentes tratamientos para berenjena 9

Tabla 2. Comparación por parejas del número de *A. swirskii* y de adultos y ninfas más pupas de *Bemisia tabaci* entre los diferentes tratamientos para calabacín 10

Resumen

El control biológico es una de las alternativas más eficaces a la hora de combatir numerosas plagas, siendo además la alternativa más viable a los tratamientos químicos o de síntesis.

En el estudio que a continuación se presenta se ha tratado de demostrar la eficiencia del ácaro depredador, *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) a la hora de controlar y reducir el desarrollo de la mosca blanca del tabaco *Bemisia tabaci* Gnadius (Hemiptera: Aleyrodidae), en cultivos de calabacín, *Cucurbita pepo* y berenjena *Solanum melongena*. Intentando comprobar si la adición de *Carpoglyphus lactis* L. (Acari: Astigmata) como ácaros presa en calidad de suplemento alimenticio de *A. swirskii* propiciaba un mejor establecimiento y crecimiento del mismo en los cultivos estudiados.

El ensayo se ha desarrollado, diseñado, muestreado y analizado por parte del departamento de I+D+I de Koppert Biological Systems. Para ello se compraron diferentes tratamientos. 1) Control, solamente con suelta de *B. tabaci*; 2) *A. swirskii* (Sw), con liberación de *B. tabaci*; y 3) *A. swirskii* + *C. lactis* (Sw+Cl) y liberación de *B. tabaci*.

Concluyéndose que la adición periódica de *C. lactis* influyó positivamente en las poblaciones de *A. swirskii*. Siendo en consecuencia, mayor su eficacia en el control de *B. tabaci*, sobre todo en *C. pepo*.

Palabras clave: *Amblyseius swirskii*. *Bemisia tabaci*. Control biológico. *Carpoglyphus lactis*. *Cucurbita pepo*. *Solanum melongena*.

Abstract

Biological control is one of the most effective alternatives in order to fight pests, being the best option to chemical or synthetic treatments.

The following study tries to show the efficiency of the predatory mites, *Amblyseius swirskii*, Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) in order to control and reduce the growth of the tobacco whitefly *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae), in crops of courgette, *Cucurbita pepo* and of aubergine *Solanum melongena*. Trying to verify whether the addition of *Carpoglyphus lactis* L. (Acari: Astigmata) such as prey mites as *A. swirskii* food supplement, made a better lay and growth of the studied crops.

The test has been developed, designed, sampled and analysed by a section in the I+D+I Koppert Biological Systems department. For that matter different treatments were bought. 1) Control, with only the *B. tabaci* release; 2) *A. swirskii* (Sw), the *B. tabaci* release; and 3) *A. swirskii* + *C. lactis* (Sw+Cl) and *B. tabaci* release.

As a conclusion, the recurring *C. lactis* addition has a positive influence on *A. swirskii* population. Being, as a consequence, of a greater effectiveness in the control of *B. tabaci*, but more in the control of *C. pepo*.

Keywords: *Amblyseius swirskii*. *Bemisia tabaci*. Biological control. *Carpoglyphus lactis*. *Cucurbita pepo*. *Solanum melongena*.

1. INTRODUCCIÓN

Los cultivos de calabacín (*Cucurbita pepo*) y berenjena (*Solanum melongena*) son de gran importancia para el sector agrícola en España, siendo la producción de berenjena en 2019 de 245.146 t y la de calabacín de 605.527 t en ese mismo año (MAPA, 2019). La inmensa mayoría de esta producción proviene del sureste de la península y más concretamente de Almería, zona que alberga casi todos los cultivos protegidos del país (MAPA 2020).

Estos cultivos se enfrentan a diferentes amenazas, plagas y enfermedades comunes de muchas hortalizas como la araña roja *Tetranychus urticae* Koch (Acar: Tetranychidae), trips *Frankiniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera:Thripidae), pulgones (Hemiptera:Aphididae) y especialmente, la mosca blanca del tabaco *Bemisia tabaci* Genn. (Hemiptera: Aleyrodidae), que es una de las plagas más comunes y dañinas en ambos cultivos. *B. tabaci* no es una mosca verdadera, pertenece al orden Hemiptera y a la división Sternorrhyncha, a la que pertenecen también los pulgones (Van der Ent et al., 2018). El desarrollo de *B. tabaci* consta de una fase de huevo, cuatro estadios ninfales, siendo el último el de pupa, del que emerge el insecto adulto. *B. tabaci* pone sus huevos en toda la planta, por lo que podemos encontrar todos los estadios de desarrollo en una sola hoja (Van der Ent et al., 2018).

Bemisia tabaci es una plaga muy temida por sus daños directos e indirectos, pero especialmente, por ser vector de diversas virosis. Al succionar savia de la planta, puede inducirle daños fisiológicos que afectan a su crecimiento y por tanto a su productividad. Además, el exceso de azúcares que se produce en el organismo de la mosca blanca al alimentarse de savia, lo excreta en forma de melaza que se acumula sobre la superficie de la hoja y sirve de medio de cultivo para la negrilla (*Cladosporium* spp.), que reduce la tasa fotosintética de la planta y la transpiración y con ello, su productividad y crecimiento. También, los frutos que presentan negrilla se deprecian comercialmente. En concreto la ninfa de *B. tabaci* inyecta a la planta unas enzimas que alteran sus procesos fisiológicos, causando fisiopatías como la maduración irregular (Van der Ent et al.2018). *B. tabaci* es un vector muy eficaz de diversas virosis que afectan, entre otras plantas, a las cucurbitáceas como el calabacín y a solanáceas como la berenjena. Los virus más destacados y dañinos que transmiten son el virus del rizado del tomate Nueva Delhi (ToLCNDV) y el virus de la clorosis del tomate (ToCV) (Moya et al., 2004).

Tradicionalmente, el control de *B. tabaci* se ha realizado mediante la aplicación de plaguicidas de síntesis química. Sin embargo, la continua reducción de materias activas disponibles, debido

principalmente a las restricciones impuestas a la presencia de residuos químicos en los productos por parte de los mercados de destino y al desarrollo de resistencias por parte de *B. tabaci* a multitud de plaguicidas (Cahill et al., 1996; Elbert & Nauen, 2000; Palumbo et al., 2001; Horowitz et al., 2005; Fernández et al., 2009; De Barro et al., 2012; Nauen y Denholm, 2012; Nauen et al., 2012; Caballero et al., 2013) hace necesario encontrar alternativas, entre las que el control biológico por aumento puede ser de las más interesantes. Este se basa en el control de plagas y enfermedades mediante la introducción en los cultivos de enemigos naturales que han sido producidos en una biofábrica.

Al emplearse organismos vivos, el control biológico es una buena alternativa medio ambientalmente hablando, ya que reduce el impacto sobre la calidad del aire, el suelo y la del propio producto por la reducción de residuos químicos, lo que a la vez los hace más atractivos para la industria y el consumidor final, cada vez más exigentes en el aspecto ambiental y productivo. Además, el control biológico se ha demostrado como una alternativa económica para los agricultores. Por ello, la utilización de estrategias de control biológico se ha incrementado bastante en los últimos años en diversos cultivos, en especial en multitud de cultivos protegidos donde se ha aplicado de forma exitosa (van Lenteren & Bueno 2003; Cock et al., 2010; F&H, 2019). Sin embargo, en los cultivos de berenjena y de calabacín, su grado de implantación es más reducida.

En calabacín, el control biológico se percibe aún como menos eficaz que el control químico a la hora de atajar y controlar la incidencia del virus de Nueva Delhi (ToLCNDV) y en el caso de la berenjena, los agricultores toleran niveles relativamente altos de la plaga que pueden mantener mediante el empleo intensivo de productos de baja residualidad, no viéndose forzados al uso de agentes de control biológico.

En cualquier caso, en ambos cultivos se han logrado resultados interesantes para el control de *B. tabaci* mediante el uso del ácaro depredador *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae) (Calvo et al. 2008, 2015; Rodríguez et al. 2019; Téllez et al. 2018). (Este fitoseido es un eficiente depredador natural de trips y mosca blanca y en la actualidad es el agente de control biológico más empleado dentro de los cultivos protegidos (Cock et al., 2010; Calvo et al., 2015), liberándose en más de 90 países (Cock et al., 2010). Durante su ciclo biológico, *A. swirskii* completa un total de 4 estadios de desarrollo, el de huevo, larva, protoninfa y deutoninfa hasta llegar, finalmente, al de adulto (Swirski et al., 1973). Existen numerosos estudios que indican que *A. swirskii* se alimenta, además de *B. tabaci*, de varias especies plaga y de otras fuentes

alternativas de alimento (Messelink et al., 2006; Calvo et al., 2011). Entre estas, cabe destacar el ácaro *Carpoglyphus lactis* L. (Acari: Carpoglyphidae). Al alimentarse de esta presa, *A. swirskii* presenta unos parámetros reproductivos y de desarrollo muy elevados en comparación con los obtenidos sobre otras fuentes de alimento (Bolckmans et al. 2006; Nguyen et al. 2013; Calvo et al., 2015), lo que la convierte en una fuente de alimento ideal. Esto, unido a la posibilidad de liberarlo dentro de los cultivos como una fuente de alimento suplementaria de *A. swirskii*, podría hacer de esta combinación (*A. swirskii* + *C. lactis*) una vía interesante para mejorar la implantación de *A. swirskii* en los cultivos de berenjena y calabacín, aumentando así su efectividad y demostrando así este método como una alternativa eficaz al control químico. De hecho, en estudios previos en pepino, se ha podido constatar que la población de *A. swirskii* fue casi 30 veces superior en las plantas donde se alimentó a *A. swirskii* con *C. lactis* que en las que no.

Así pues, en el estudio que nos ocupa se ha tratado de estudiar si la adición de *C. lactis* como alimento suplementario mejora el establecimiento de *A. swirskii* y con ello la eficacia frente a *B. tabaci* en berenjena y calabacín. Y de este modo, aumentar la utilización del control biológico en estos cultivos.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Depredadores, ácaros presa y material vegetal

El depredador *A. swirskii* se obtuvo del producto comercial SWIRSKI-MITE (Koppert Biological Systems), que consiste en un bote de 0.5 l que contiene 50000 ácaros de diferentes estadios mezclados con un salvado. El ácaro *C. lactis*, empleado como presa, se obtuvo del producto comercial PREDAFEED (Koppert Biological Systems). Este producto se comercializa en botellas de 1 l que contienen aproximadamente 2 millones de *C. lactis* de todos los estadios mezclados con un salvado.

Por otro lado, los ejemplares de *B. tabaci* para la infestación de las plantas del ensayo provinieron de una cría mantenida en plantas de tabaco.

Se emplearon cuarenta y ocho plantas de calabacín (*Cucurbita pepo*) variedad, Gloria (Clause) y treinta y seis de berenjena (*Solanum melongena*) variedad, Yolanda (Rijk Zwaan).

2.2. Invernadero experimental

El invernadero experimental se encontraba en las instalaciones de Koppert Biological Systems en Águilas (Murcia, España). Este invernadero era tipo túnel y contaba con un pasillo central y treinta jaulas de 15 m², de las cuales se usaron veinticuatro en el ensayo. Las paredes de estas jaulas estaban construidas de malla (tamaño de hueco 220x331 µm) para asegurar su hermeticidad al paso de insectos y ácaros a través de ellas, evitando así la posible infestación cruzada entre tratamientos. El invernadero contaba además con caldera y cooling-system para el control de las condiciones de humedad y temperatura en su interior.

2.3. Diseño experimental

El presente estudio consistió en dos ensayos (berenjena y calabacín) que se realizaron en paralelo, cada uno de ellos de acuerdo a un diseño de bloques completos al azar de cuatro repeticiones de 3 tratamientos. Cada bloque/repeticón consistió en tres jaulas adyacentes de las mencionadas anteriormente, cada una de las cuales se consideró como una unidad experimental y se adjudicó al azar a cada uno de los tratamientos comparados.

Los tratamientos comparados fueron: 1) Control, solamente con suelta de *B. tabaci*; 2) *A. swirskii* (Sw), con liberación de *B. tabaci* como en 'Control' y liberación de *A. swirskii*; y 3) *A. swirskii* + *C. lactis* (Sw+Cl), igual que 'Sw' pero con liberación de *C. lactis* como alimento suplementario para *A. swirskii*.

2.4. Procedimiento

Las plantas para el ensayo se trasplantaron en el interior del invernadero experimental unas semanas antes del inicio del experimento en macetas de 10 l rellenas de fibra de coco como sustrato. En cada maceta se colocó un gotero a través del cual se suministró el agua y los fertilizantes según demanda. Durante el ensayo se realizaron las prácticas culturales típicas para los cultivos de berenjena y calabacín.

Los ensayos se iniciaron con la primera liberación de mosca blanca, que se realizó cuando las plantas de berenjena y calabacín presentaron tres hojas bien desarrolladas, así el ensayo de berenjena se inició el 10/05/2018 y el de calabacín el 18/07/2018. Tras esta liberación se realizaron dos introducciones más de *B. tabaci* una y dos semanas después de la primera introducción y siempre a una dosis de 10 adultos por planta. Con esta estrategia de liberación para *B. tabaci* se buscó simular unas condiciones de infestación lo más desfavorables posible, es

decir, una elevada infestación, prolongada en el tiempo y en una fase muy temprana del ciclo de cultivo coincidiendo con la instalación de los enemigos naturales.

El depredador *A. swirskii* se liberó en ambos ensayos una semana después de la primera introducción de mosca blanca y a una dosis de 125 ácaros por planta. Esta dosis se fijó a partir de estudios previos realizados con *A. swirskii* y en los que el depredador controló con éxito a *B. tabaci* (Calvo et al., 2015).

Las sueltas del ácaro presa *C. lactis* se realizaron cada dos semanas durante todo el ensayo, siendo la primera suelta el mismo día que la de *A. swirskii* y a siempre una dosis de 2000 *C. lactis* por planta, dosis recomendada para este ácaro en otros cultivos.

2.5. Muestreo

El muestreo se llevó a cabo una vez por la semana y durante doce semanas en el ensayo de berenjena y diez semanas en el caso del calabacín, iniciándose una semana después de la primera introducción de *B. tabaci* (berenjena: 17/05/2018; calabacín: 25/07/2018). Todos los recuentos se realizaron *in situ* con ayuda de una lupa de campo de 10x.

En cada muestreo se seleccionaron al azar dentro de cada una de las jaulas 3 plantas. En cada planta se seleccionó, a su vez, una hoja del estrato superior, una del medio y otra del inferior, contabilizándose en la mitad de cada una de ellas el número de *A. swirskii* (todas las formas móviles) y de adultos y ninfas más pupas de *B. tabaci*.

2.6. Condiciones ambientales

El túnel de ensayo contaba con sistemas de control de temperatura y humedad como se ha comentado anteriormente. La temperatura media diaria durante el ensayo fue de 21,4 Cº, la mínima de 15.7 Cº y la temperatura máxima alcanzó los 29.4Cº. Por otro lado, la humedad relativa media diaria fue del 65.1%, la mínima 38.3% y la máxima 76.4%.

2.7. Análisis de datos

El número de *A. swirskii*, así como el de adultos y ninfas más pupas de mosca blanca por hoja fueron analizados utilizando Modelos Lineales Generalizados Mixtos (GLMM), donde los tratamientos fueron considerados como factor fijo y las semanas de muestreo anidadas a las repeticiones como factor aleatorio. En el caso de existencia de diferencias significativas, los

tratamientos se compararon a través de la simplificación del modelo mediante la combinación de tratamientos ($P < 0.05$).

3. RESULTADOS

3.1. Ensayo con berenjena

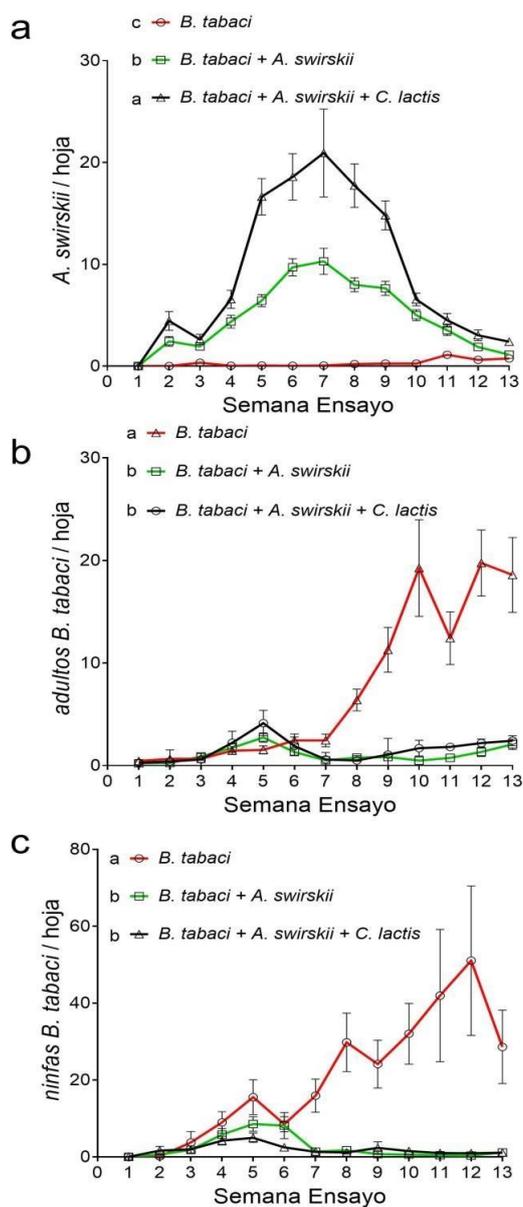
Podemos destacar que la población de ácaros depredadores sufrió un pequeño descenso en la primera semana tras la suelta, experimentado posteriormente un crecimiento exponencial hasta la semana 7 tanto en las jaulas en las que se habían liberado solo *A. swirskii* (Sw) como en aquellas en las que se llevaron a cabo sueltas de *C. lactis* (Sw+Cl), fruto de la adaptación al ecosistema y a que las condiciones favorecían su reproducción y crecimiento. Sin embargo, el crecimiento fue muy superior en aquellas jaulas donde se realizaron sueltas de *C. lactis* (fig.1a). En estas jaulas (Sw+Cl), el número de *A. swirskii* por hoja se duplicó en la séptima semana del ensayo con respecto a las jaulas en las que solo se habían liberado ejemplares de *A. swirski* (Sw). En ambos casos, (Sw) y (Sw+ Cl) se produjo un descenso progresivo en las poblaciones de *A. swirskii* a partir de la séptima semana, quizá debido a que a partir de esa semana se registraron niveles de ninfas de *B. tabaci* muy bajos y ya las introducciones de *C. lactis* no eran, por sí solas, capaces de mantener esas poblaciones del depredador. En cualquier caso, los niveles de *A. swirskii* fueron siempre superiores en las jaulas con *C. lactis*. Pudiéndose entonces comprobar que la adición de ácaros presa mejoró el establecimiento de *A. swirskii*, aumentando significativamente sus poblaciones ($F_{2,43}=156.4$; $P < 0,001$), ayudando, además, a su mantenimiento cuando los niveles de la plaga objetivo eran reducidos.

En las jaulas sin introducción del depredador la población de mosca blanca creció de forma constante a lo largo del ensayo, registrándose más de 20 y 40 adultos y ninfas, respectivamente por hoja al final del ensayo (fig. 1b y c). Por el contrario, se observó que el número de adultos y ninfas de *B. tabaci* apenas se incrementó durante el ensayo en las jaulas con introducción de *A. swirskii*, con independencia de si se introdujo o no *C. lactis*. De este modo, los niveles de adultos e inmaduros de mosca blanca fueron significativamente inferiores en los tratamientos con introducción del depredador, entre los que no hubo diferencias (Adultos de *B. tabaci*: $F_{2, 3}= 18.655$; $P < 0.001$; ninfas de *B. tabaci*: $F_{2,43}= 19.745$; $P < 0.001$) (Tabla 1). La poca diferencia observada entre los tratamientos (Sw) y (Sw+ Cl) puede deberse a que probablemente la densidad del ácaro depredador fue ya suficiente en ambos casos para controlar las poblaciones de *B. tabaci*, sin que la adición de *C. lactis* ofreciese, en este caso, una mejora significativa. Podemos verlo claramente reflejado en la (fig. 1b y c).

Tabla 1. Comparación por parejas del número de *A. swirskii* y de adultos y ninfas más pupas de *Bemisia tabaci* entre los diferentes tratamientos. Unt: *B. tabaci*; Asw: *B. tabaci* + *A. swirskii*; Asw+Cl: *B. tabaci* + *A. swirskii* + *C. lactis*

Tratamientos	<i>A. swirskii</i>	Mosca blanca adulta	Ninfa de mosca blanca
Unt. vs. Asw	$F_{1,33}= 245.6$; $P=0.001$	$F_{1,33}= 12.520$; $P<0.001$	$F_{1,33}= 20.784$; $P<0.001$
Unt. vs. Asw+Cl	$F_{1,33}= 312.6$; $P<0.001$	$F_{1,33}= 33.397$; $P<0.001$	$F_{1,33}= 28.745$; $P<0.001$
Asw. vs. Asw+Cl	$F_{1,33}= 66.48$; $P<0.001$	$F_{1,33}= 0.116$; $P=0.132$	$F_{1,33}= 0.238$; $P=0.061$

Figura 1. Número (media \pm ES) de *A. swirskii* (a) y de adultos (b) y ninfas más pupas (c) de *Bemisia tabaci* por hoja en cada tratamiento durante el experimento. Las leyendas con la misma letra no fueron significativamente diferentes GLMM, $P>0.05$.



3.2. Ensayo con calabacín

En el caso del calabacín, la población de *A. swirskii* experimentó un aumento en todas las jaulas donde se introdujo (Sw) y Sw+Cl) (fig. 2a), si bien este aumento fue muy superior en aquellas jaulas donde se realizaron sueltas periódicas del acaro presa *C. lactis* (Sw+ Cl). Llegando a triplicar el número de ejemplares por hoja en la séptima semana del ensayo en aquellas jaulas en las que se habían hecho sueltas periódicas del ácaro presa con respecto a jaulas en las que solo se había realizado la suelta del depredador (Sw). Tras la séptima semana, el número de *A. swirskii* por hoja descendió bruscamente hasta igualarse en tan solo una semana a los presentes en las jaulas (Sw), manteniéndose ambos tratamientos en uno niveles similares de *A. swirskii* hasta el final del ensayo. Dicho descenso pudo ser debido a la bajada de adultos de *B. tabaci* en las jaulas de ensayo en esas semanas, limitando, por tanto, en las semanas sucesivas, la cantidad de huevos y ninfas jóvenes de la plaga, que son los estadios depredados por *A. swirskii*. Por tanto, en este caso, la adición de ácaros presa también incidió positivamente en el establecimiento de la población de *A. swirskii* ($F_{2, 43}=105.2$, $P<0.001$).

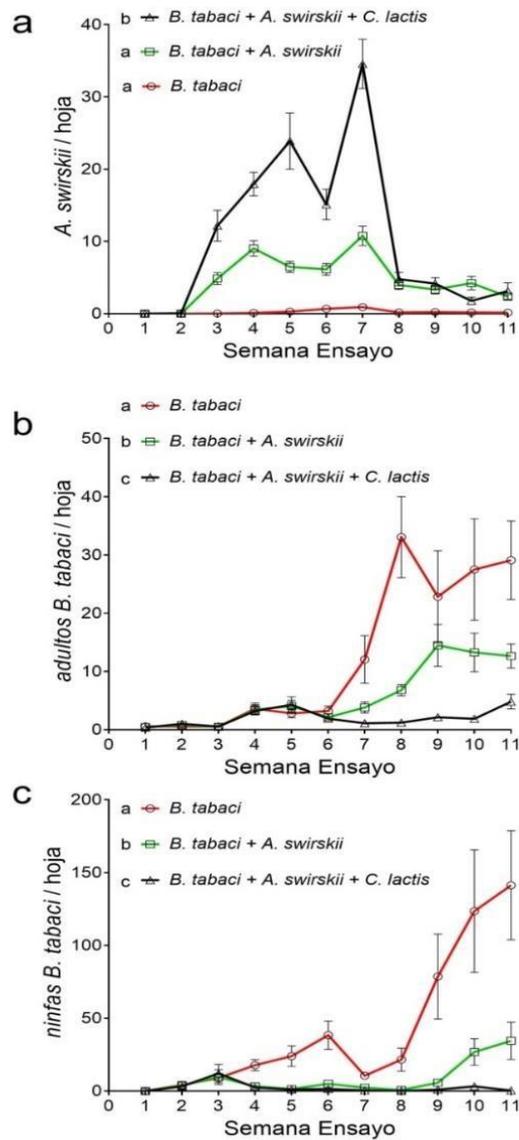
Tabla 2. Comparación por parejas del número de *A. swirskii* y de adultos y ninfas más pupas de *Bemisia tabaci* entre los diferentes tratamientos. Unt: *B. tabaci*; Asw: *B. tabaci* + *A. swirskii*; Asw+Cl: *B. tabaci* + *A. swirskii* + *C. lactis*

Tratamientos	<i>A. swirskii</i>	Mosca blanca adulta	Ninfas de mosca blanca
Unt. vs. Asw	$F_{1,25}= 190.6$; $P=0.001$	$F_{1,25}= 12.520$; $P<0.001$	$F_{1,25}= 20.784$; $P<0.001$
Unt. vs. Asw+Cl	$F_{1,25}= 158.0$; $P<0.001$	$F_{1,25}= 33.397$; $P<0.001$	$F_{1,25}= 28.745$; $P<0.001$
Asw. vs. Asw+Cl	$F_{1,25}= 50.363$; $P<0.001$	$F_{1,25}= 29.801$; $P<0.001$	$F_{1,25}= 9.860$; $P=0.002$

En las primeras semanas *B. tabaci* se mantuvo estable en los tres tratamientos comparados, pero a partir de la sexta semana se empezaron a observar cambios, con una subida muy pronunciada durante las siguientes dos semanas del número de adultos en las jaulas control, donde se alcanzaron niveles por encima de 30 adultos por hoja, que se mantuvieron durante el resto del experimento (fig. 2b). Tras el crecimiento tan importante de adultos de *B. tabaci* se produjo un aumento en el número de ninfas desde la octava semana hasta la décima en las jaulas control. Este crecimiento también se observó en las últimas semanas del ensayo en aquellas jaulas donde solo se habían introducido *A. swirskii* (Sw), aunque los niveles fueron 5 veces inferiores a los registrados en las jaulas control. En las jaulas donde se liberó *C. lactis*, la población de adultos de *B. tabaci* creció mucho menos que en los otros dos tratamientos, registrando valores 30 veces inferiores a los observados en las jaulas control. Así pues, los niveles de adultos de *B. tabaci*

fueron significativamente diferentes entre los tratamientos ($F_{2, 43} = 22.739$, $P < 0.001$), siendo más altos en las jaulas control, intermedios en las jaulas con introducción de *A. swirskii* e inferiores en aquellas donde el depredador se alimentó con *C. lactis* (Tabla 2). Resultados análogos se observaron sobre las ninfas y pupas de *B. tabaci*, ya que se observaron niveles significativamente superiores en las jaulas control, intermedios en las jaulas con introducción de *A. swirskii* e inferiores donde *A. swirskii* se introdujo en combinación con *C. lactis* ($F_{2, 43} = 23.876$, $P < 0.001$), (Tabla 2). Así, el número de ninfas más pupas de *B. tabaci* fue hasta 20 y 80 veces inferior.

Figura 2. Número (media \pm ES) de *A. swirskii* (a) y de adultos (b) y ninfas más pupas (c) de *Bemisia tabaci* por hoja en cada tratamiento durante el experimento. Las leyendas con la misma letra no fueron significativamente diferentes GLMM, $P > 0.05$.



4. DISCUSIÓN

En este experimento ha quedado demostrado que las sueltas de *A. swirskii* son efectivas a la hora de reducir y controlar las poblaciones de *B. tabaci* en plantaciones de calabacín y berenjena. Esto concuerda con estudios anteriores en los que la eficacia del ácaro depredador *A. swirskii* sobre *B. tabaci* ya había quedado documentada. Teich (1966) descubrió que *A. swirskii* podía depredar huevos y ninfas de *B. tabaci* y poco después, Swirski et al. (1967) corroboró estas observaciones y amplió el rango de presas sobre los que *A. swirskii* podía desarrollarse, añadiendo, además, otras fuentes de alimento como polen. Diversos estudios posteriores han estudiado la biología de *A. swirskii* sobre *B. tabaci* y otras plagas, confirmando una vez más el elevado potencial biótico del depredador sobre esta y otras plagas (Ragusa & Swirski 1975, 1977; Metwally et al., 1984; Hoda et al., 1986; El-Laithy & Fouly, 1992; Momen & El-Saway, 1993). Más recientemente, Nomikou et al. (2001) volvieron a reconfirmar el gran potencial de *A. swirskii* como agente de control biológico de *B. tabaci* en estudios de laboratorio, que posteriormente pudieron constatar también sobre plantas de pepino (Nomikou et al., 2002). Se demostró, además, que la liberación de *A. swirskii* en combinación con *Eretmocerus mundus* Mercet (Hymenoptera: Aphelinidae) mejoraba el control de *B. tabaci* en pimiento con respecto a la introducción del parasitoide únicamente (Calvo et al., 2009), lo que se confirmó posteriormente en invernaderos comerciales de pimiento (Calvo et al., 2012). Estos mismos autores observaron que la liberación de *A. swirskii* reducía, además, de forma significativa la población de *F. occidentalis* en pimiento, hecho que también se ha podido constatar en otros cultivos (Messelink et al., 2006, 2008; Calvo et al., 2008, 2011). De este modo, *A. swirskii* se recomienda en la actualidad para el control biológico de mosca blanca y *F. occidentalis* en multitud de cultivos hortícolas y ornamentales (Cock. et al., 2010).

En nuestro experimento se pudo observar que, en berenjena, *A. swirskii* fue capaz de ejercer un control igualmente eficaz de *B. tabaci* con o sin adición de *C. lactis*, mientras que, en el caso de calabacín, el control fue más eficaz donde se introdujo *C. lactis*. Esto puede deberse, en el caso de la berenjena, a que la dosis de liberación del depredador era ya suficiente para controlar el nivel de infestación provocado, pero no así en calabacín. Otra posible causa pudo ser una peor tasa de desarrollo de *A. swirskii* en calabacín que en berenjena con *B. tabaci* como presa, pues, de hecho, se ha observado que la tasa de desarrollo y reproducción de *A. swirskii* varía entre cultivos al alimentarse de una misma presa (Calvo et al., 2015), o también a que *B. tabaci* se desarrolla mejor en calabacín que en berenjena, pues también *B. tabaci* presenta un potencial biótico diferente en función del cultivo sobre el que se desarrolla (Cabello et al., 1996; Gonzalez

& Gallardo, 1998). Aunque en ocasiones incrementar la dosis de suelta puede no mejorar la eficacia (Crowder, 2006), es posible que esta pudiese ser una opción para aumentar la eficacia de *A. swirskii* en berenjena. De hecho, la dosis de suelta de *A. swirskii* para el control de *B. tabaci* varía entre cultivos (Calvo et al., 2008, 2015).

Otra opción podría ser, como ha demostrado el presente estudio, la suelta periódica de ácaros presa, ya que esta influyó positivamente, aumentando las poblaciones de *A. swirskii*. Se ha podido constatar que la presencia de más de un tipo de presa mejora la eficacia de *A. swirskii* (Messelink et al., 2006), lo que podría explicar cómo la presencia de *C. lactis* mejoró el establecimiento de *A. swirskii* y con ello la eficacia frente a *B. tabaci*, especialmente en calabacín. Messelink et al. (2006) confirmaron que una dieta mixta compuesta por mosca blanca y trips aumentaba la supervivencia de los inmaduros y la tasa de desarrollo de *A. swirskii*, lo que aceleraba su establecimiento y con ello el control de mosca blanca. En nuestro caso, la presencia de *C. lactis* podría haber tenido el mismo efecto que tuvo la presencia de trips en el estudio de Messelink et al. (2006). Este astigmátido es una presa ideal para *A. swirskii*, sobre la que presenta unos parámetros reproductivos y de desarrollo elevados (Bolckmans et al., 2006; Nguyen et al., 2013), comparables a las de otras fuentes de alimento o presas (Calvo et al., 2015).

Nguyen et al. (2013) observaron la evolución de las poblaciones de *A. swirskii* con diferentes fuentes de alimento o presas entre las que se encontraban *Artemia franciscana* Kellogg (Anostraca:Artemia) y huevos de *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae), viéndose que ambas fuentes de alimento favorecían el crecimiento del ácaro depredador durante una sola generación. Otros estudios hablan de que la duración del ciclo biológico de *A. swirskii* oscila entre 5,5 días empleando como presa *Tetranychus urticae* a una temperatura de 26 °C. El Laithy & Fouly (1992) y Nomikou et al. (2001) observaron que al alimentarse de inmaduros de *B. tabaci*, *A. swirskii* completa ciclo biológico fue de 7 - 8 días a 27°C. Por su parte, Momen & El-Saway (1993), que también estudiaron la biología de *A. swirskii* usando diversas fuentes de alimento a una temperatura de 27°C, vieron que el depredador completó su ciclo biológico en 6,36, 5,71 y 7,73 días y su esperanza de vida fue de 54, 52 y 43 días respectivamente alimentándose de araña roja *T. urticae*, del ácaro *Eriophyes dioscoridis* Soliman & Abou-Awad (Acari: Eriophyidae) y polen. Todos estos datos vienen a colación con el objetivo de comparar estas fuentes de alimento con el ácaro presa *C. lactis*, sobre el que se pudo mantener *A. swirskii* durante varias generaciones y prolongar su esperanza de vida en torno a 56 días, lo que demuestra que es una fuente de alimento suplementario más eficiente que las anteriormente expuestas. Es interesante remarcar también, que pese a la presencia de *C. lactis*,

A. swirskii controló eficientemente a *B. tabaci* pues, en ocasiones, se cree que la presencia de otra fuente de alimento puede afectar al control de la plaga objetivo. De hecho, la posibilidad de controlar más de una plaga a la vez es una de las características que ha hecho de *A. swirskii* un agente de control biológico muy exitoso (Calvo et al., 2015).

Por otro lado, *A. swirskii* es un ácaro depredador generalista que se alimenta de diferentes fuentes de alimento como insectos y ácaros, así como de polen (Ragusa y Swirski, 1975; Goleva y Zebitz, 2013; Calvo et al., 2015). De hecho, la combinación de liberaciones de *A. swirskii* con adición de polen resultó ser también eficaz para el control de *B. tabaci* en calabacín (Rodríguez et al., 2017; Téllez et al., 2017). *Amblyseius swirskii* se ha demostrado como un depredador eficaz de diferentes plagas que aparecen en berenjena o calabacín como son el trips *F. occidentalis*, (Xu y Enkegaard, 2010), la mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Homoptera:Aleyrodidae), la araña roja *T. urticae* (El-Laithy y Fouly, 1992; Xiao et al., 2012a) o la araña blanca *Polyphagotarsonemus latus* Banks (Acari:Tarsonemidae), (Tal et al., 2007; Stansly & Castillo 2009; van Maanen et al., 2010; Onzo et al., 2012; Abou-Awad et al., 2014a, b). De este modo, es capaz de desarrollarse y reproducirse alimentándose de una amplia gama de fuentes de alimentos que son comunes en los cultivos de calabacín y berenjena, que incluyen plagas y otras alternativas como polen. A esa amplia gama de alimentos, hay que añadir, como se ha demostrado en este estudio, la posibilidad de alimentarle de forma artificial con *C. lactis*. Todo ello, posibilita su establecimiento y mantenimiento en el cultivo en ausencia de la plaga objetivo. Esto es importante, pues, por un lado, permitiría su liberación preventiva, permitiendo disponer de una población elevada del depredador cuando *B. tabaci* apareciese en el cultivo, y por otro, evitaría la necesidad de reintroducciones una vez que la plaga haya sido controlada y sus poblaciones sean bajas para mantener al depredador.

5. CONCLUSIONES

En conclusión y en función de los datos y observaciones derivadas de este estudio se puede afirmar que la introducción de *A. swirskii* acompañada de sueltas periódicas del ácaro presa *C. lactis* es una buena alternativa a desarrollar y tener en cuenta a la hora de diseñar una estrategia de control biológico, en especial, para el cultivo de calabacín, ya que en el caso de la berenjena no ha quedado probada que la incorporación de *C. lactis* a la estrategia mejore los resultados frente a la plaga, pues el depredador es ya capaz, por sí solo, de ejercer un control eficaz.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abou-Awad, B.A., Hafez SM., Farhat, B.M. (2014a) Biological studies of the predacious mite *Amblyseius swirskii*, a predator of the broad mite *Polyphagotarsonemus latus* on pepper plants (Acari: Phytoseiidae:Tarsonemidae). Arch Phytopathol Plant Prot 47,349–354.
- Abou-Awad, B.A., Hafez, S.M., Farhat, B.M. (2014b). Bionomics and control of the broad mite *Polyphagotarsonemuslatus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae). Arch Phytopathol Plant Prot 47,631–641.
- Belda, J.E., Calvo, F.J. (2006). Eficacia de *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) en el control biológico de *Bemisia tabaci* (Genn.) (Hom.: Aleyrodidae) y *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thys.: Thripidae) en pimiento en condiciones de semicampo. Bol. San. Veg. Plagas 32(3), 283-296.
- Caballero R, Cyman S, Schuster DJ, Portillo HE and Slater R. (2013) Baseline susceptibility of *Bemisia tabaci* (Genn.) biotypeB in southern Florida to cyantraniliprole. *Crop Prot* 44,104–108.
- Cabello,T., Carricondo,I.,Justicia,L.,Belda,J.E .(1996).Biología y control de las especies de mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* (Gen.) y *Bemisia tabaci* (west.) (Hom: Aleyrodidae) en cultivos hortícolas en invernaderos. 40-96.
- Cahill, M., Gorman, K. Day, S., Denholm, I., Elbert, A., y Nauen, R. (1996). *Baseline determination and detection of resitence to imidacloprid in Bemisia tabaci (Homoptera: Aleyrodidae)*. Bull. Entomol. 86, 343-349.
- Calvo, F.J., Belda, J.E. (2007). *Amblyseius swirskii*, un depredador para el control de mosca blanca y trips en cultivos hortícolas. Phytoma, (190).
- Calvo, F.J., Bolckmans, K., Belda, J.E. (2012). Biological control-based IPM in sweet pepper greenhouses using *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae). *Biocontrol Sci Technol* 22,1398–1416.
- Calvo, F.J., Bolckmans, K., Belda, J.E. (2011). Control of *Bemisia tabaci* and *Frankliniella occidentalis* in cucumber by *Amblyseius swirskii*. *Biocontrol* 56,185–192.
- Calvo, F.J., Bolckmans, K., Belda, J.E. (2008). Controlling the tobacco whitefly *Bemisia tabaci* (Genn.) (Hom.: Aleyrodidae) in horticultural crops with the predatory mite *Amblyseius swirskii* (AthiasHenriot). *J Insect Sci* 8,4.
- Calvo, F. J., Bolckmans, K., Belda, J. E. (2009). Development of a biological control.based Integrated Pest Management method for *Bemisia tabaci* for protected sweet pepper crops. Spain: Koppert. 133,9-18.
- Calvo, F. J., Knapp, M., Van Houten, Y. M., Hoogerbrugge, H., Belda, J. E. (2015). *Amblyseius swirskii*: What made this predatory mtie such a succesful biocontrol agent? Switzerland: Springer International Publishing. 65,419–433.
- Cock, M. J. W., Van Lenteren, J. C., Brodeur, J., Barratt, B. I. P., Bigler, F., Bolckmans, K., Consoli, F. I., Haas, F., Mason, P. G., Parra, J. R. P. (2010). ¿Do new access and benefit sharing procedures under the convention on biological diversity threaten the future of biological control? *Biocontrol*. 55, 199–218.
- Crowder, D. (2006). Impact of release rates on the effectivenessof augmentative biological control agents. *J Insect Sci*7, 1–11.
- De Barro,P.J . (2012) The *Bemisia tabaci* species complex: questions to guide future research. *J Integr Agric* 11, 187–196.
- Elbert, A., Nauen, R. (2000). Resistente of *Bemisia tabaci* (*Homoptera: Aleyrodidae*) to insecticides in Southern Spain with special reference to neonicotinoids. *Pest Manag. Sci.*, (56) 60-64.

- El-Laithy, A.Y.M., Fouly, A.H. (1992). Life table parameters of two phytoseiid predators *Amblyseius scutalis* (Athias-Henriot) and *A. swirskii* Athias-Henriot. *J Appl Entomol* 113,8–12.
- F&H. 2019. Anuario de Estadística Agroalimentaria 2018.
- Fernández, E., Grávalos, C., Haro, P.J., Cifuentes, D., Bielza, P. (2009) Insecticideresistance status of *Bemisia tabaci* Q-biotype in south-eastern Spain. *PestManag Sci* 65,885–891.
- Guirao, P., Sánchez, J.A., Fernández, P., y La Casa Plasencia, A. (2004). Distribución espacial y muestreo de *Bemisia tabaci* en tomate. *Phytoma*, (164).
- Goleva, I., Zebitz, C.P.W. (2013). Suitability of different pollen as alternative food for the predatory mite *Amblyseius swirskii* (Acari, Phytoseiidae). *Exp Appl Acarol* 61,259–283.
- Gonzalez, J.E., Gallardo, J.M. (1999). Desarrollo y capacidad reproductiva de *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera; Aleyrodidae) en pimiento a tres temperaturas. 25, 3-11.
- Hoda, F.M., El-Naggar, M.E., Taha, A.H., Ibrahim, G.A. (1986). Effect of different types of food on fecundity of predaceous mite *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae). *Bull Soc Entomol Egypt* 66,113–116.
- Horowitz, A.R., Kontsedalov, S., Khasdan, V., Ishaaya, I. (2005) Biotypes Band Q of *Bemisia tabaci* and their relevance to neonicotinoid and pyriproxyfen resistance. *Arch Insect Biochem Physiol* 58,216–225.
- Koppert Biological Systems. La población de *A. swirskii* en pepino crece 30 veces más con el uso de *Carpoglyphus* como alimento extra. Recuperado de <https://www.koppert.es/noticias/lapoblacion-de-swirski-en-pepino-crece-30-veces-mas-con-el-uso-de-carpoglyphus-comoalimento-extra/>
- Metwally, AM., Abou-El-Naga, M.M., Taha, H.A., Hoda, F.M. (1984). Studies on feeding, reproduction and development of *Amblyseius swirskii* (A.H.) (Acarina: Phytoseiidae). *Agric Res Rev* 62,323–326.
- Messelink, G.J., van Steenpaal, S. E. F., Ramakers, P. M. J. (2006). Evaluation of phytoseiid predators for control of western flower thrips on greenhouse cucumber. *Biocontrol* 51,753–768.
- Messelink, G.J., van Maanen, R., van Steenpaal, S.E.F., Janssen, A. (2008). Biological control of thrips and whiteflies by a shared predator: two pests are better than one. *Biocontrol* 44,372–379.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Superficies y producciones anuales de cultivos. Recuperado de <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-grarias/agricultura/superficies-producciones-anuales-cultivos/>
- Momen, F.M., El-Saway, S.A. (1993). Biology and feeding behavior of the predatory mite, *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae). *Acarologia* 34,199–204.
- Nauen, R., Bielza, P., Denholm, I., Gorman, K. (2012). Age-specific expression of resistance to neonicotinoid insecticides in *Li X*, *Degain BA*, *Harpold VS*, *Marçon PG*, *Nichols RL*, *Fournier AJ et al.*, Baseline susceptibilities of B- and Q-biotype *Bemisia tabaci* to anthranilic diamides in Arizona. *Pest Manag Sci* 68, 83–91.
- Nauen, R., Denholm, I. (2005). Resistance of insect pests to neonicotinoid insecticides: current status and future prospects. *Arch Insect Biochem Physiol* 58,200–215.
- Nguyen, D.T., Vangansbeke, D., Lu, X., De Clercq, P. (2013). Development and reproduction of the predatory mite *Amblyseius swirskii* on artificial diets. *Biocontrol* 58,369–377.
- Nomikou, M., Janssen, A., Schraag, R., Sabelis, W. (2001). Phytoseiid predators as potential biological control agents for *Bemisia tabaci*. 25, 271-291.

- Nomikou, M., Janssen, A., Schraag, R., Sabelis, M.W. (2002). Phytoseiid predators suppress populations of *Bemisia tabaci* on cucumber plants with alternative food. Kluwer Academic Publishers 27,5768.
- Onzo, A., Houedokoho, A.F., Hanna, R. (2012). Potential of the predatory mite, *Amblyseius swirskii* to suppress the broad mite, *Polyphagotarsonemus latus* on the gboma eggplant, *Solanum macrocarpon*. J Insect Sci 12 (7) ,1–11.
- Palumbo, J.C., Horowitz, A.R., Prabhaker. N. (2001). Insecticidal control and resistance management for *Bemisia tabaci*. Crop Prot 20,739–765.
- Ragusa, S., Swirski, E. (1975). Feeding habits, development and oviposition of the predacious mite *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acarina: Phytoseiidae) on pollen of various weeds. Isr J Entomol 10,93–103.
- Stansly, P.A., Castillo, J. (2009) .Control of broad mite, *Polyphagotarsonemus latus* and the whitefly *Bemisia tabaci* in open field pepper and eggplant with predaceous mites. IOBC WPRS Bull 49,145–152.
- Swirski, E., Amitai, S., Dorzia, N (1967) Laboratory studies on the feeding, development and oviposition of the predaceous mites *Amblyseius rubini* Swirski and *Amitai* and *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acarina: Phytoseiidae) on various kinds of food substances. Isr J Agric Res 17,101–119.
- Swirski, E., Ragusa, S., Van Emden, H., Wysoki, M., (1973). Description of immature stages of three predaceous mites belonging to the genus *Amblyseius* Berlese (Mesostigmata: Phytoseiidae). Israel Journal of Entomology. 8, 69-87.
- Tal, C., Coll, M., Weintraub, P.G . (2007). Biological control of *Polyphagotarsonemus latus* (Acari: Tarsonemidae) by the predaceous mite *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae). IOBC WPRS Bull 30 (5) ,111–115.
- van der Ent, S. et al. (2018). Conocer y reconocer. La biología de las plagas y enfermedades y sus soluciones naturales. Países Bajos: Koppert Biological System.
- van Lenteren, J.C., Bueno, V. H. P. (2003). Augmentative biological control of arthropods in Latin America. Biocontrol 48, 123–139.
- van Maanen, R., Vila, E., Sabelis, M.W. (2010). Biological control of broad mites (*Polyphagotarsonemus latus*) with the generalist predator *Amblyseius swirskii*. Exp Appl Acarol 52,29–34.