

# UMBRALES ECONÓMICOS PARA LA ARAÑA ROJA *TETRANYCHUS URTICAE* (ACARI: TETRANYCHIDAE) EN MANDARINO

<sup>1</sup> Unitat Associada d'Entomologia  
Universitat Jaume I (UJI) -  
Institut Valencià d'Investigacions  
Agràries (IVIA),  
Campus del Riu Sec.  
E-12071 Castelló de la Plana.  
\* Ambas coautoras han contribuido  
por igual en el presente estudio.  
E-mail: aguilare@uji.es

<sup>2</sup> Universitat Jaume I,  
Departament de Matemàtiques.  
Campus del Riu Sec.  
E-12071 Castelló de la Plana.

<sup>3</sup> Institut de Recerca i Tecnologia  
Agroalimentària (IRTA).  
Estació Experimental de l'Ebre.  
Crta. Balada, km 1,  
E-43870 Amposta.

## RESUMEN

*Tetranychus urticae* es una plaga clave en cítricos, especialmente en mandarino clementino. Se evaluó el daño de este ácaro sobre la producción de 24 árboles de clementino durante tres años consecutivos. Los árboles fueron visitados semanalmente, y se estimó tanto la población de araña roja como la de ácaros fitoseidos, así como la brotación. Al final de cada temporada, se recolectaron las clementinas, se pesaron, y se evaluó el daño ocasionado por *T. urticae* en fruto. Se encontró una relación negativa entre la densidad de la araña roja y el rendimiento (kg/árbol). Sin embargo, las correlaciones entre el daño en fruto y los diferentes estimadores de araña roja fueron más fuertes. Las regresiones multivariantes destacaron el papel clave que juegan tanto los ácaros fitoseidos como la brotación, que se correlacionaron negativamente con el daño en fruto. El período más corto de muestreo que predijo satisfactoriamente el daño en fruto en la recolección, se extendió desde el 1 agosto hasta mediados de octubre. A efectos de Gestión Integrada de Plagas, se estimó un umbral económico de daños de 31,14 hembras adultas de araña roja en hoja sintomática por m<sup>2</sup>. Teniendo en cuenta la dinámica poblacional de *T. urticae*, el umbral de intervención varió de 10 a 15 hembras adultas de araña roja en hoja sintomática por m<sup>2</sup>. Cuando se supera este umbral, los agricultores tendrían una ventana de una semana para aplicar cualquiera de las medidas (biológicas o químicas) que disponen contra *T. urticae*.

## INTRODUCCIÓN

En 2009, la Unión Europea (UE) aprobó una directiva sobre el uso sostenible de los plaguicidas, que establece que la aplicación de los principios de la Gestión Integrada de Plagas (GIP) sea obligatoria para los estados miembros de la UE (UE 2009). Estos principios incluyen el establecimiento de umbrales como base para la toma de decisiones en el control de plagas: umbral económico de daños (UED) y umbral de intervención (UI) (Stern *et al.* 1959). El UED es la densidad de población de la especie plaga más baja que causa suficiente daño económico para justificar el coste de usar las medidas de control contra la misma. El UI, que es una función directa del UED, es la densidad a la que deben tomarse las medidas de control para prevenir que la población de la plaga

alcance el UED (Pedigo *et al.* 1986). Estos umbrales reflejan consideraciones económicas (coste/beneficio). Además, en algunos casos, las decisiones pueden también reflejar el riesgo cosmético (Peterson y Higley 2002). Este es el caso para la mayoría de los productos destinados al mercado en fresco donde la calidad se asocia a la apariencia del fruto y, en estos casos, los umbrales son de tipo cosmético (Pedigo *et al.* 1986). Aunque el UED representa el nivel crítico de daños, el criterio de decisión para aplicar un método de control es el UI. Idealmente, existirían varios UI ya que este umbral depende por una parte del método de control elegido y por otra parte, de la dinámica poblacional de la especie plaga a controlar. Cada método de control (por ejemplo, control químico

o el control biológico aumentativo) se caracteriza por una serie de retrasos de tiempo debido a la puesta a punto para la aplicación y al tiempo que requiere para hacer efecto sobre la especie plaga diana (Pedigo *et al.* 1986). Sin embargo, este retraso no puede extenderse más allá del plazo necesario para que la densidad de la especie plaga sobrepase el UED. Como consecuencia, los UIs deben ser establecidos de manera que asegure que la densidad de la especie plaga no alcance el UED durante el tiempo de retardo del método de control elegido.

España, con una producción anual de unos 5,5 millones de toneladas de cítricos en 2013 (MAGRAMA, 2014), principalmente naranjas, mandarinas y limones, es el sexto

productor mundial y el primero para el mercado fresco (FAOSTAT 2013). Por tanto, las plagas de cítricos que dañan directamente al fruto están sometidas a umbrales de tipo cosmético, que habitualmente son muy bajos (Hare 1994; Jacas y Urbaneja 2010). La araña roja *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) es una de las principales plagas de los cítricos en zonas de clima mediterráneo (Jacas *et al.* 2010), sobre todo en mandarino clementino (*Citrus clementina* Tanaka (Rutaceae)) (Aguilar-Fenollosa *et al.* 2011a). Este ácaro ocasiona manchas cloróticas y un abombamiento característico en el haz de las hojas. Infestaciones elevadas en momentos de estrés hídrico pueden producir fuertes defoliaciones. Sin embargo, los daños más importantes causados por este ácaro son unas manchas herrumbrosas en la zona estilar y peduncular del fruto, que deprecia su valor comercial. Ansaloni *et al.* (2008) clasificaron el daño en fruto a partir de una escala de 0-5 (Tabla 1, pág. 238). Frutas con un valor superior a 1, lo que equivale a una pequeña cicatriz cerca de la zona estilar o peduncular, no es aceptado para consumo en fresco por los distribuidores. Como consecuencia, este valor constituye el umbral para esta plaga en clementino. Aunque existen varios índices empíricos que expresan los umbrales de *T. urticae* utilizados en España, ninguno de ellos ha sido desarrollado a partir de este umbral cosmético. Algunos de estos índices se basan en un muestreo aleatorio de las hojas y la determinación de la presencia de *T. urticae* (MAGRAMA 2004; Martínez-Ferrer *et al.* 2006a; Generalitat Valenciana 2013). Otros se basan en la presencia de hojas sintomáticas con manchas cloróticas (Martínez-Ferrer *et al.* 2004; 2006a; 2006b; Urbaneja *et al.* 2014), y, finalmente, algunos se basan en contar el número de ácaros en fruto (Ripollés *et al.* 1995; MAGRAMA 2004; Martínez-Ferrer *et al.* 2006b; Generalitat Valenciana 2013). Tampoco hay un con-

senso sobre el periodo de muestreo: Ripollés *et al.* (1995) recomiendan el muestreo entre agosto y octubre, el período crítico en que *T. urticae* típicamente migra de las hojas a los frutos (Ansaloni *et al.* 2008), donde ocasiona el daño. Sin embargo, otros autores amplían este período de julio a septiembre (Urbaneja *et al.* 2014) o, de mayo a octubre (MAGRAMA 2004; Generalitat Valenciana 2013). Esta falta de consenso y la creciente importancia de las clementinas entre las especies de cítricos cultivadas tanto en UE como otras zonas cítricas (MAGRAMA 2014; Servicio de Estadística Agrícola de California 2012; FAOSTAT 2013) nos llevó a estudiar la viabilidad de establecer umbrales económicos (UED y UI), con base científica, para *T. urticae* en mandarino clementino.

## METODOLOGÍA

### Parcela experimental

Los experimentos se realizaron entre 2005 y 2009 en una parcela comercial de 1 ha situada en Les Alqueríes, en la provincia de Castellón (39° 54' N, 00° 06' W). Los árboles eran mandarinos "Clemenules" injertados sobre citrange Carrizo, (*Poncirus trifoliata* (L.) Rafinesque x *Citrus sinensis* (L.) Osbeck), de 2 años de edad cuando se plantaron en el año 2000, con un marco de plantación de 6 x 4 m. El riego era por goteo y se mantuvo el suelo desnudo mediante la aplicación de herbicidas. Se seleccionaron veinticuatro árboles adyacentes en dos filas consecutivas (doce árboles por fila). En la primavera de 2005 se individualizaron en el interior de una estructura de aluminio (4 x 4 x 4 m) cubierta con una malla de nylon. Durante las dos primeras temporadas (2005 y 2006), se evaluó el rendimiento (kg/árbol) y se seleccionó un grupo de seis árboles control al azar. Durante las tres temporadas siguientes (2007-2009) en el grupo de árboles control se mantuvieron las poblaciones de

araña roja tan bajas como fue posible, mientras que los 18 árboles restantes fueron infestados artificialmente con *T. urticae* para determinar el efecto de este ácaro en la producción y calidad de la fruta.

### Gestión de las poblaciones de ácaros

En la primavera de 2007, 2008 y 2009, se introdujeron en cada árbol, a excepción de los 6 árboles control, 50 hembras adultas de *T. urticae* y se les permitió desarrollarse sin más gestión hasta la recolección (finales de otoño). Tras la recolección, los árboles se podaron y se trataron con diferentes acaricidas para reducir la infestación lo más cerca posible a cero. Los árboles control se mantuvieron de forma permanente a una densidad de araña lo más cerca posible a cero mediante la aplicación de plaguicidas (Pascual-Ruiz *et al.* 2014). Durante el ensayo, en momentos puntuales aparecieron espontáneamente otras plagas. Siempre que fue posible, se eliminaron mecánicamente [por ejemplo, *Anacridium aegypticum* (L.) (Orthoptera: Acrididae)]. De lo contrario, se aplicaron plaguicidas selectivos para ácaros (Pascual-Ruiz *et al.* 2014). Estas plagas fueron el minador de los cítricos, *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae), pulgones, *Aphis gossypii* (Glover) y *A. spiraecola* Pagenstecher (Hemiptera: Aphididae) y la mosca blanca algodonosa *Aleurotrixus floccosus* Maskell (Hemiptera: Aleyrodidae). El control de estas plagas es especialmente importante, ya que pueden afectar a la disponibilidad de brotes nuevos hacia el final del verano, período crítico en la gestión de *T. urticae*, y que puede modular el daño en fruto (Ansaloni *et al.* 2008).

Sigue en pág. 236 ▶

## Método de muestreo

Durante tres años consecutivos, desde la primavera de 2007 (después de la primera infestación artificial) hasta noviembre de 2009 (recolección del último año que se incluyó en este estudio), los árboles fueron inspeccionados semanalmente. La única excepción fue el período que se extiende desde la recolección (finales del otoño) hasta la infestación artificial del año siguiente (marzo), cuando los árboles fueron muestreados quincenalmente. El muestreo se basó en el método propuesto por Martínez-Ferrer *et al.* (2006b) y tuvo en cuenta la importancia de la de brotación (Ansaloni *et al.* 2008). Consistía en contar en cada árbol: a) el número de hembras adultas de *T. urticae* y ácaros fitoseidos en doce hojas seleccionadas al azar alrededor de la copa del árbol (AHA y FHA, respectivamente); b) el número de hojas sintomáticas (hs, hojas con manchas cloróticas) dentro de un aro de 56 cm de diámetro lanzado al azar en las cuatro orientaciones de la copa del árbol; c) el número de hembras adultas de *T. urticae* y fitoseidos en un máximo de seis hojas sintomáticas por aro (ahs y fhs, respectivamente); d) el número de brotes tiernos dentro del aro (br); y, cuando los había, e) el número de hembras adultas de *T. urticae* y fitoseidos en diez frutos seleccionadas al azar (AF y FF, respectivamente). En el caso de hs y br, los resultados se expresaron por metro cuadrado al dividir por el área del aro (0,25 m<sup>2</sup>) y fueron llamados HS y BR, respectivamente. Del mismo modo, en el caso de *T. urticae* y de los ácaros fitoseidos por hoja sintomática, los datos se corrigieron según el número de hojas sintomáticas que se encontraron en el aro y el área del aro y se denominaron como AHS y FHS, respectivamente.

Al final de la temporada, para los tres años considerados (2007-2009), la producción de cada árbol se recolectó y se pesó. Además, todos los frutos fueron inspeccionados indivi-

dualmente para determinar el daño ocasionado por *T. urticae*. El daño fue evaluado de acuerdo a una escala de 0-5 (Tabla 1), y se obtuvo un índice de daño (ID) para cada árbol mediante la adición de los resultados de multiplicar el porcentaje de cada clase de fruta en un árbol por el número de clase correspondiente (0-5). Por último, se pesaron individualmente 100 frutos tomados al azar de cada árbol y se midió su diámetro ecuatorial.

## Composición específica de las poblaciones ácaros

Entre 2007 y 2009, una vez al mes, se tomaron 100 hojas al azar (aproximadamente 100 g) del grupo de árboles control (16-17 hojas/árbol), así como del grupo de árboles infestados (5-6 hojas/árbol). Estas muestras fueron transportadas al laboratorio para la extracción de los ácaros mediante embudos Berlese, que fueron posteriormente separados utilizando una lupa binocular, digeridos en ácido láctico (65%) y montados en líquido de Hoyer (Gutiérrez, 1985) para su identificación al microscopio. Los ácaros de la familia Tetranychidae se determinaron a nivel de especie de acuerdo con la morfología del edeago de los machos (Ferragut y Santonja 1989). Los ácaros de la familia Phytoseiidae también se determinaron a nivel de especie, basándonos en el número, longitud y posición de las sedas en las placas dorsal y ventrales, su morfología y la de la espermateca en las hembras (Ferragut *et al.* 2010).

## Análisis de los datos

Los datos recogidos en 2005 y 2006 (rendimiento, kg/árbol) se sometieron a análisis de varianza (ANOVA) para asegurarse de que no había diferencias entre los seis árboles seleccionados al azar como control y los 18 árboles restantes.

Los datos recogidos desde 2007 hasta 2009 se utilizaron para determinar los umbrales económicos (UED y

UI). Los posibles efectos de la araña roja en la producción y calidad de la fruta fueron estudiados mediante ANOVA. Se consideraron las siguientes variables por árbol: a) el rendimiento total, b) el número de frutos, c) el peso medio del fruto, d) el diámetro medio de fruto y e) el ID. Cuando se encontraron diferencias significativas entre el grupo control y el grupo de árboles infestados, se utilizaron modelos de regresión simple para relacionarlas con los estimadores de las poblaciones de ácaros durante el período crítico de gestión de *T. urticae* (de agosto a octubre), como se recomienda en las directrices de la GIP de cítricos (Ripollés *et al.* 1995). La variable que mejor se correlacionó con las poblaciones de araña se seleccionó a partir de los valores de R<sup>2</sup>. Una vez conocida esta variable, se ajustaron modelos de regresión múltiple con los diferentes estimadores de las poblaciones de *T. urticae* (HS, AHA, AHS y AF) y fitoseidos (FHA, FHS y FF) y de la brotación (BR). Se utilizó un procedimiento de regresión por pasos que identificó el conjunto de variables que tuvieron un efecto significativo sobre la respuesta y que a la vez presentaba el menor valor del criterio de información de Akaike (AIC). Para establecer el período de muestreo óptimo, se consideraron los valores medios de todos los estimadores para diferentes períodos de tiempo (Tabla 2). Estos períodos fueron elegidos a partir de la fenología del árbol (brotación, cuajado), las prácticas culturales (recolección) y el comportamiento de *T. urticae* (Ansaloni *et al.* 2008). El mejor modelo fue elegido a partir de los valores de AIC, R<sup>2</sup>, y la distribución de los residuos.

Finalmente, debido a que nuestro objetivo era desarrollar un UI que pudiera ser utilizado por los agricultores/técnicos, cuando se identificó el período de tiempo óptimo de muestreo, se ajustaron modelos de regresión simples para relacionar las variables afectadas significativamente por la presencia de *T. urticae* y los estimadores de poblaciones de ácaros.

**Tabla 2.** Periodos de tiempo considerados para establecer el periodo de muestreo óptimo para predecir el daño en fruto en cosecha.

|    | Periodo de tiempo considerado   |
|----|---|
| 1  | Todo el año   |
| 2  | Desde el cuajado del fruto hasta la recolección                                       |
| 3  | Desde el cuajado del fruto hasta el 01/08   |
| 4  | Desde el cuajado del fruto hasta el 31/08   |
| 5  | Desde el cuajado del fruto hasta el 30/09   |
| 6  | Desde el cuajado del fruto hasta el 31/10   |
| 7  | Desde el 10/08 hasta la recolección   |
| 8  | Desde el 10/10 hasta la recolección   |
| 9  | Desde el 01/12 hasta el cuajado del fruto   |
| 10 | Desde el 01/12 hasta el 01/08   |
| 11 | Desde el 01/07 hasta el 01/08   |
| 12 | Desde el 01/08 hasta el 15/08   |
| 13 | Desde el 01/08 hasta el 31/08   |
| 14 | Desde el 01/08 hasta el 15/09   |
| 15 | Desde el 01/08 hasta el 30/09   |
| 16 | Desde el 01/08 hasta el 15/10   |
| 17 | Desde el 01/08 hasta el 31/10   |
| 18 | Desde que comienza crecimiento vegetativo verano <sup>1</sup> hasta la recolección    |
| 19 | Desde el cuajado hasta el final del crecimiento vegetativo de verano <sup>2</sup>     |
| 20 | Desde el final del crecimiento vegetativo de verano <sup>2</sup> hasta la recolección |

<sup>1</sup>22/08/07; 18/08/08; 17/08/09; <sup>2</sup>18/09/07; 08/09/2009; 02/10/2009.

Por último, se calcularon los errores  $\alpha$  y  $\beta$  (falsos positivos y falsos negativos, respectivamente) y estos se utilizaron para seleccionar el mejor modelo.

Se utilizó el software 'R' versión 2.14.1 (R Development Core Team 2011) y su paquete de "mass" (Venables y Ripley 2002) para el análisis de los datos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante los dos primeros años de estudio (2005 y 2006), no se observaron diferencias significativas en la

producción (kg/árbol) entre el grupo control y los 18 árboles restantes, grupos que se establecieron al azar en 2005 (Pascual-Ruiz *et al.* 2014).

Entre 2007 y 2009, los valores medios de AHS de *T. urticae* en los árboles infestados varió entre 3,81 - 98,53 hembras de araña roja/m<sup>2</sup> en 2007, 1,06 - 32,19 hembras de araña roja /m<sup>2</sup> en 2008 y 2,64 - 34,38 hembras de araña roja /m<sup>2</sup> en 2009 (Figura 1, pág. 238). Esta variación natural proporcionó una amplia gama de valores que fue positiva a la hora de establecer los umbrales.

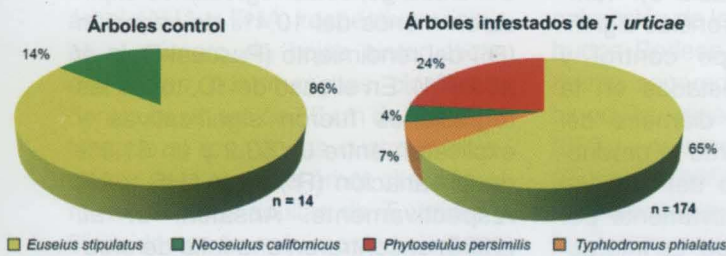
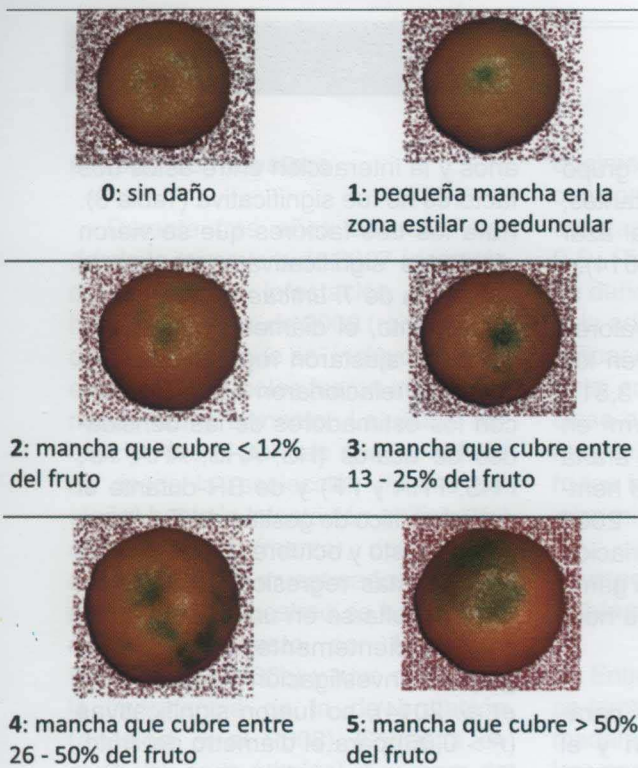
Cuando se estudiaron los parámetros medios de producción y el índice de daños (ID) de 2007 a 2009, se encontraron diferencias significativas entre años para todos los parámetros, excepto ID (Tabla 3). También se detectaron diferencias significativas entre el grupo control y grupo de árboles infestados en la producción (Kg/árbol), diámetro del fruto e ID (Tabla 3). Tanto la producción como el diámetro del fruto se vieron afectados negativamente por la presencia de *T. urticae*. La interacción entre año y grupo de tratamiento (control y árboles infestados de *T. urticae*) no fue significativa en ningún caso. Al igual que en estudios anteriores (Ansaloni *et al.* 2008), los valores del ID se vieron afectados positivamente por la presencia de *T. urticae* (árboles control frente árboles infestados de *T. urticae*). Sin embargo, no hubo diferencias entre

años y la interacción entre estos dos factores no fue significativa (Tabla 3). Para los tres factores que se vieron afectados significativamente por la presencia de *T. urticae* (la pérdida de rendimiento, el diámetro del fruto, y el ID) se ajustaron regresiones simples que relacionaron estos factores con los estimadores de las densidades de ácaros (HS, AHS, AHA, AF, FHS, FHA y FF) y de BR durante el período crítico de gestión de *T. urticae*, entre agosto y octubre (Ripollés *et al.* 1995). Estas regresiones, que pueden consultarse en un artículo publicado recientemente por nuestro grupo de investigación (Pascual-Ruiz *et al.* 2014), no fueron significativas ( $P > 0,05$ ) para el diámetro del fruto. En el caso de pérdida de rendimiento, sólo las regresiones con el número de HS y AHA fueron significativas. Sin embargo, estas regresiones explicaron menos del 10,4% de variación ( $R^2$ ) del rendimiento (Pascual-Ruiz *et al.* 2014). En el caso del ID, todas las regresiones fueron significativas y explicaron entre un 53,2 y un 61,8% de la variación ( $R^2$ ) para AHS y AF, respectivamente. Ansaloni *et al.* (2008) encontraron una falta de efecto de las poblaciones de *T. urticae* en los mismos parámetros de producción. Sus resultados se atribuyeron al corto período de interacción entre los ácaros y los frutos. Nuestros resultados muestran que una presencia más prolongada de las poblaciones de araña roja en los árboles tuvo un mayor impacto en la producción.

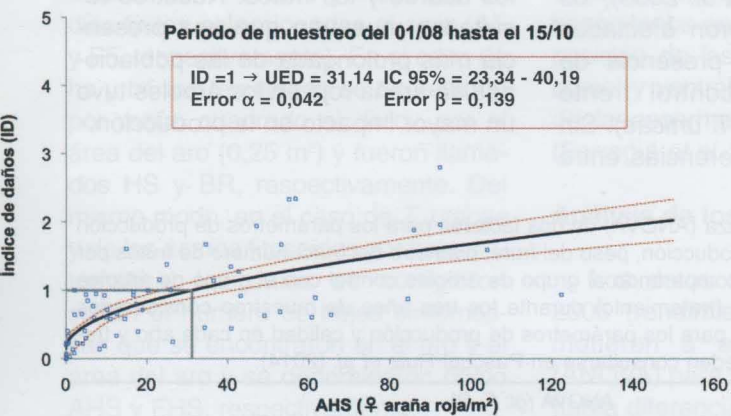
**Tabla 3.** Análisis de varianza (ANOVA) de dos factores para los parámetros de producción y calidad considerados (producción, peso del fruto, diámetro del fruto, número de frutos por árbol e índice de daños) comparando al grupo de árboles control con el grupo de árboles infestados con araña roja (tratamiento) durante los tres años de muestreo considerados (año). Los valores medios para los parámetros de producción y calidad en cada año y tratamiento considerados pueden consultarse en Pascual-Ruiz *et al.* (2014).

| Parámetro                | ANOVA (gl; F; P)               |                                |                    |
|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------|
|                          | Tratamiento                    | Año                            | Interacción        |
| Producción (Kg/árbol)    | 1, 71; 6,78; <b>0,011</b>      | 2, 71; 93,95; <b>&lt;0,001</b> | 2, 71; 1,70; 0,191 |
| Peso del fruto (g/fruto) | 1, 71; 2,85; 0,096             | 2, 71; 9,05; <b>0,001</b>      | 2, 71; 1,40; 0,254 |
| Diámetro del fruto (cm)  | 1, 71; 4,46; <b>0,039</b>      | 2, 71; 13,06; <b>&lt;0,001</b> | 2, 71; 1,40; 0,253 |
| Número de frutos/árbol   | 1, 71; 1,15; 0,287             | 2, 71; 52,55; <b>&lt;0,001</b> | 2, 71; 0,25; 0,777 |
| Índice de daños, ID      | 1, 71; 28,64; <b>&lt;0,001</b> | 2, 71; 0,93; 0,399             | 2, 71; 0,14; 0,866 |

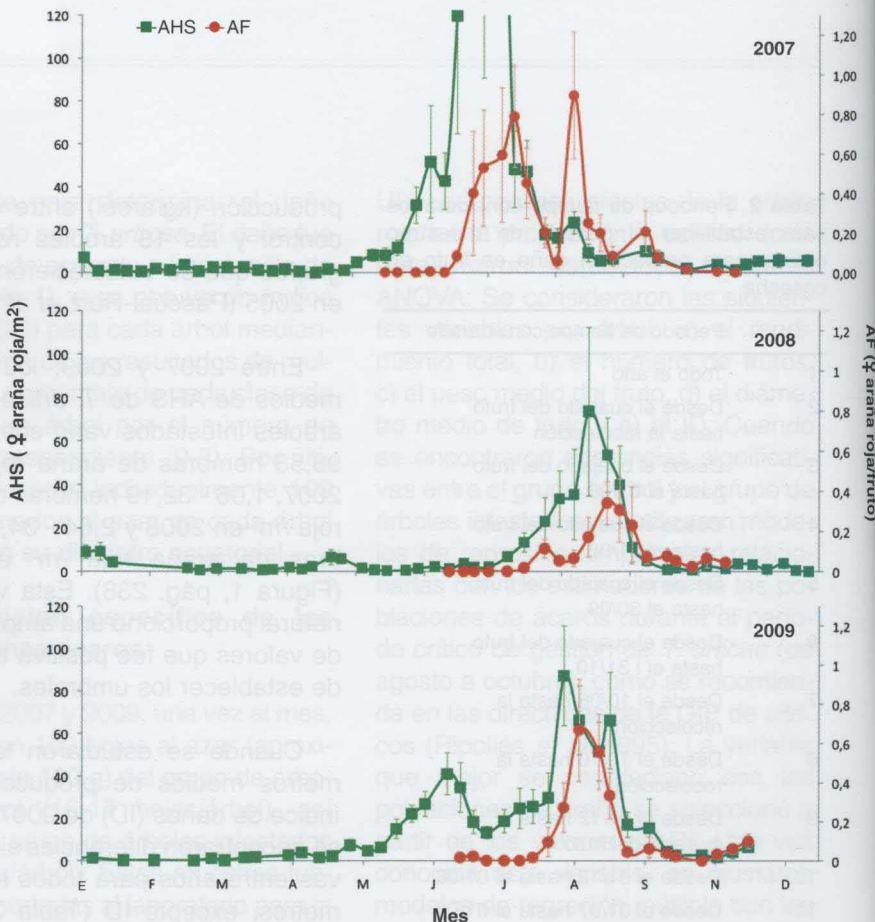
**Tabla 1.** Escala de 0-5 que clasifica el daño en fruto ocasionado por *T. urticae* (Ansaloni et al. 2008).



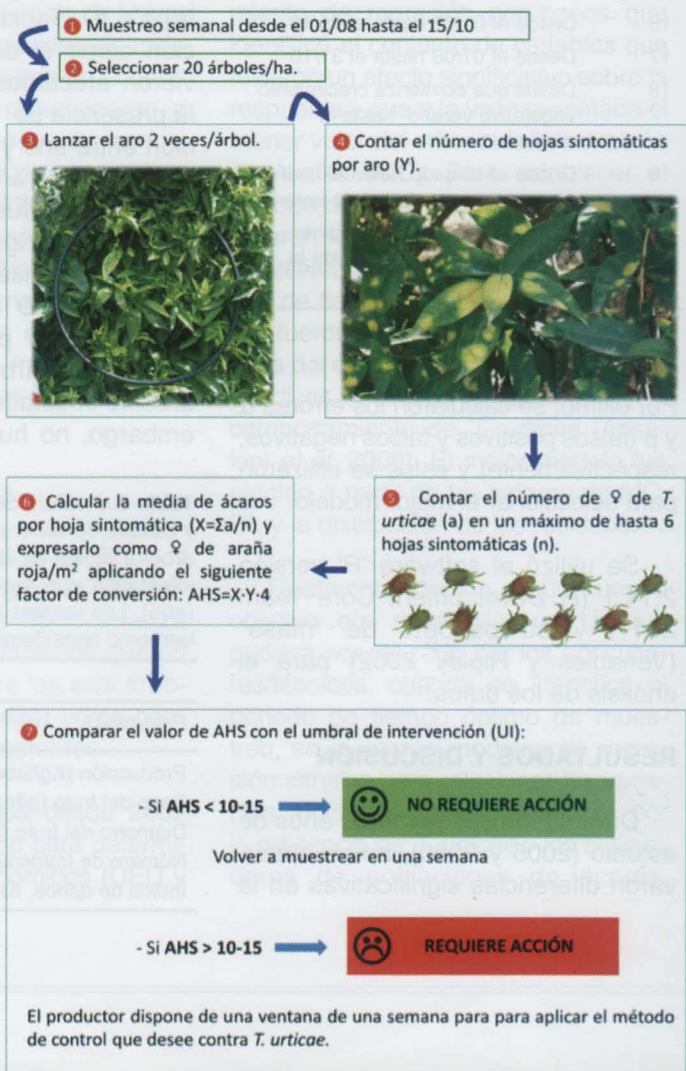
**Figura 2.** Composición específica y abundancia de ácaros depredadores fitoseoides de 2007 a 2009 en los muestreos mensuales en los 6 árboles control y en los 18 árboles infestados de *T. urticae*.



**Figura 3.** Valores observados (cuadrados en azul) y modelo ajustado (línea en negro) que relaciona el índice de daños (ID) con los valores de AHS para el periodo de muestreo seleccionado y su intervalo de confianza al 95% (IC, líneas punteadas en rojo). El valor estimado del UED para un ID = 1 y los errores  $\alpha$  y  $\beta$  (falsos positivos y falsos negativos respectivamente) están indicados en el recuadro.



**Figura 1.** Media ( $\pm$  error estándar) del número de hembras adultas de araña roja en hoja sintomática por  $m^2$  (AHS) y por fruto (AF) durante los tres años de estudio en el grupo de árboles infestados.



**Figura 4.** ▶

Esquema del plan de muestreo propuesto. Los productores/técnicos que vayan a utilizar este umbral de intervención, deben seguir los pasos que se indican en esta figura.

Para decidir si el rendimiento y el ID debían tenerse en cuenta al establecer el nuevo umbral, estudiamos la relación entre la pérdida de rendimiento y el ID con el número de HS, que, según Martínez-Ferrer *et al.* (2006b) se podrían tomar como representativas de las poblaciones de ácaros. Encontramos relaciones significativas tanto para la pérdida de rendimiento como para ID (Pascual-Ruiz *et al.* 2014). Partiendo de que un ID de 1, es el umbral de daño que puede ser aceptado tanto por los productores como por los distribuidores de frutas, y sustituyéndolo en la regresión simple ajustada para el periodo crítico ( $HS = 34,483 * \sqrt{ID} - 0,013$ ,  $P = 0,0001$ ;  $R^2 = 43,36\%$ ), resultó en un valor de HS de 34,47 (hojas sintomáticas/m<sup>2</sup>). Cuando este valor se sustituyó en la ecuación que relaciona la pérdida de rendimiento y el número de HS (pérdida de rendimiento =  $6,622 * \ln(HS) + 2,021$ ,  $P = 0,0057$ ;  $R^2 = 10,4\%$ ), se obtuvo una pérdida de rendimiento de un 5,6%. Aunque ambas regresiones fueron significativas, el número de HS apenas explicó una variación del 10% ( $R^2$ ) en el rendimiento en comparación con más del 40% ( $R^2$ ) en el caso del ID (Pascual-Ruiz *et al.* 2014). Por otra parte, el porcentaje de pérdida de rendimiento correspondiente al ID = 1 es considerablemente más bajo que la variación observada en la producción de los árboles control ( $\pm 11,1\%$  de rendimiento). Por esta razón, se decidió no tener en cuenta el rendimiento para establecer los umbrales y centrarse exclusivamente en el ID.

Se ajustaron regresiones múlti-

ples entre el ID y los diferentes estimadores de las poblaciones de araña roja (HS, AHS, AHA, AF), de ácaros fitoseidos (FHS, FHA, FF) y de la brotación (BR) para todos los periodos de tiempo considerados (Tabla 2). En la tabla 4 se muestra el modelo con la mejor combinación de variables (con un menor valor de AIC y mayor  $R^2$ ), que correspondió al período de tiempo que se extiende del 1 de agosto al 15 Octubre. Este período de muestreo fue seguido de cerca por el del 1 de agosto al 31 de octubre, del periodo del 10 de agosto hasta la recolección, y del 1 de agosto al 30 Septiembre (Tabla 4). Las regresiones multivariantes ajustadas para el resto de periodos de muestreo considerados en este estudio, que pueden consultarse en Pascual-Ruiz *et al.* (2014), obtuvieron peores resultados. Por lo tanto, decidimos centrar nuestro estudio en estos cuatro periodos. Estos periodos seleccionados coinciden con el período crítico ya definidos por Ansaloni *et al.* (2008) y más o menos con la propuesta de Ripollés *et al.* (1995), que se extiende de agosto a octubre. Estos periodos, sin embargo, son mucho más cortos que los recomendados por la actual normativa de GIP de cítricos (Magrama 2004; Martínez-Ferrer *et al.* 2006a; Generalitat Valenciana, 2013), que proponen el seguimiento de *T. urticae* de mayo a octubre. Nuestros resultados muestran que un periodo de muestreo tan largo reduce la precisión de las predicciones (Pascual-Ruiz *et al.* 2014). Además, dado que las poblaciones de araña roja en primavera explican muy poco del daño en fruto ( $R^2 = 16,7\%$  para el período que se extiende

desde el cuajado del fruto hasta el 1 de agosto), no se recomienda muestrear y, más importante aún, se recomienda no tomar ninguna acción contra *T. urticae* en esta época del año. Sobre todo si tenemos en cuenta los resultados que se muestran en la Figura 2, que ponen de manifiesto el tremendo impacto que tiene el control químico en las comunidades de los enemigos naturales de *T. urticae*, y el hecho de que los enemigos naturales de las hojas sintomáticas (FHS) tuvieron una correlación negativa con el ID (Tabla 4). En cambio, los fitoseidos en hojas al azar (FHA) se correlacionaron positivamente con el ID. Según Abad-Moyano *et al.* (2009), los depredadores más eficientes de *T. urticae* (*Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot y *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae)) se encuentran sistemáticamente en hojas infestadas de *T. urticae*, mientras que en estas hojas no se encuentra el depredador generalista *Euseius stipulatus* (Athias-Henriot) (Acari: Phytoseiidae). Por tanto, nuestros resultados remarcan la importancia de conservar los depredadores especialistas de *T. urticae* (*P. persimilis* y *N. californicus*) en clementino (Aguilar-Fenollosa *et al.* 2011). Finalmente, el número de BR también se correlacionó negativamente con el ID (Tabla 4) y este resultado apoya las conclusiones de Ansaloni *et al.* (2008) de que una brotación normal durante el verano y el otoño limita la cantidad de daño de araña roja en fruto en cosecha.

Los cuatro modelos multivariantes seleccionados (Tabla 4) podrían ser utilizados para fines científicos.

**Tabla 4.** Regresiones multivariantes que relacionan el índice de daños (ID) con los estimadores de las densidades de *T. urticae* (HS, AHA, AHS y AF), fitoseidos (FHA, FHS y FF) y de la brotación (BR) para los periodos de muestreo con mejores resultados (mayor  $R^2$  y menor AIC). Las regresiones multivariantes ajustadas para el resto de periodos de muestreo considerados en este estudio pueden consultarse en Pascual-Ruiz *et al.* (2014).

| Periodo         | Coeficientes de las variables explicativas |              |             |             |             |              |             |             |              | AIC   | P       | R <sup>2</sup> |
|-----------------|--|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------|---------|----------------|
|                 | Intersección                               | HS           | AHS         | AHA         | AF          | FHS          | FHA         | FF          | BR           |       |         |                |
| 10/08 - Cosecha | 0,132±0,087                                | -0,013±0,008 | 0,015±0,003 | 1,771±0,531 |             |              | 5,191±2,127 | 7,890±3,709 | 0,012±0,005  | 75,89 | <0,0001 | 62,41          |
| 01/08 - 30/08   | 0,324±0,078                                | 0,021±0,009  |             | 0,818±0,314 | 1,402±0,249 | -0,031±0,014 |             |             | -0,009±0,004 | 78,24 | <0,0001 | 60,67          |
| 01/08 - 15/10   | 0,222±0,079                                | 0,024±0,008  |             | 0,524±0,372 | 1,421±0,263 | -0,036±0,017 | 4,166±1,904 |             | -0,007±0,004 | 70,46 | <0,0001 | 65,14          |
| 01/08 - 30/10   | 0,254±0,080                                | 0,026±0,008  |             | 0,725±0,404 | 1,554±0,301 | -0,027±0,018 |             |             | -0,008±0,005 | 74,28 | <0,0001 | 62,77          |

Sin embargo, un muestreo tan intensivo, con tantas variables, es un trabajo muy exigente y, por lo tanto, no es adecuado para los propósitos de la GIP. Para explorar si se podría simplificar la toma de muestras para los agricultores y técnicos, se estudió la importancia y la contribución de los diferentes parámetros considerados en los modelos multivariantes para los períodos de muestreo seleccionados (Tabla 5). El período más largo considerado, 10 de agosto hasta la recolección fue el que obtuvo los peores resultados (valores más bajos de R<sup>2</sup>). Por lo tanto, se descartó este período de muestreo. En los otros tres períodos de muestreo, AF fue el mejor estimador del ID (R<sup>2</sup> = 62,3-62,5%), seguido de cerca por AHS (R<sup>2</sup> = 52,2-53,8%) y por AHA (R<sup>2</sup> = 43,1-45,2%). Las poblaciones de fitoseidos (FHS y FHA) explicaron entre 24,6 y 37,1% de la variación del ID. Cabe destacar que la BR nunca explicó más del 10,8% de esta variación. Según Martínez-Ferrer *et al.* (2006b), el número de HS es el estimador más simple y más rápido de las poblaciones de araña roja. Sin embargo, el esquema de decisión elaborado por los mismos autores (Martínez-Ferrer *et al.* 2006a) finalmente basa la decisión de actuar según el número de AHS, ya que con bastante frecuencia la hojas sintomáticas están vacías, especialmente a medida que avanza la temporada. En nuestro caso se obtuvieron los mejores resultados para AF y AHS, por lo que nos centramos en estos estima-

dores. AF se descartó como estimador de daño porque la dinámica poblacional de *T. urticae* en fruto es explosiva (Figura 1). Como consecuencia, UED y UI estarían demasiado cerca y no dejarían casi tiempo para que el agricultor/técnico actuase. En consecuencia, elegimos AHS para establecer el umbral de acción para la GIP. El último criterio utilizado para seleccionar el mejor periodo de muestreo, fue la tasa de error  $\alpha$  y  $\beta$  (falsos negativos y falsos positivos, respectivamente). Desde el punto de vista de la GIP, la tasa de error  $\alpha$  es la que más nos debe preocupar dado que el modelo llevaría al productor a tomar la decisión de no intervenir cuando sería necesario hacerlo. La tasa de error  $\beta$ , el modelo llevaría al productor a tomar la decisión de intervenir cuando no sería necesario. La tasa de error  $\beta$  fue mayor que el error  $\alpha$  en los tres modelos pero no cambió en función del periodo de muestreo considerado (Pascual-Ruiz *et al.* 2014). La tasa de error  $\alpha$  más alta se obtuvo para el modelo que consideraba el período de muestreo del 1 agosto al 30 septiembre y no hubo diferencias en los otros dos períodos de muestreo (Pascual-Ruiz *et al.* 2014). A partir de estos resultados, el periodo del 1 agosto al 15 octubre fue finalmente seleccionado como el periodo de muestreo óptimo para la GIP (Figura 3, pág. 238). Utilizando este modelo, no se actuaría contra la araña roja cuando sería necesario en un 4,2% (error  $\alpha$ ) de los casos solamente. Por el contrario, se

intervendría contra la araña roja siendo innecesaria esta acción en un 13,9% (error  $\beta$ ) de los casos (Figura 3). Por lo tanto, en el 88% de los casos se tomaría la decisión acertada, una tasa de éxito más que aceptable para la GIP. Utilizando este modelo, y a partir del umbral cosmético de ID = 1, el UED se establece en una media de AHS de 31,14 hembras de araña roja en hoja sintomática/m<sup>2</sup> en el periodo del 1 de agosto 15 de octubre. Comparando la dinámica de AHS y AF (Figura 1) durante los tres años incluidos en nuestro estudio, se ve que los aumentos de las poblaciones de araña roja en AHS empiezan al menos dos semanas antes que en AF.

El UI se estableció en función del UED, teniendo en cuenta la tasa intrínseca de crecimiento ( $r_m$ ) de *T. urticae*. Según Aucejo-Romero *et al.* (2004) en clementino esta tasa oscila entre 0,110-0,165 hembras por hembra y día. Eso significa que una semana antes de alcanzarse el UED (periodo de tiempo que coincide con el plan de muestreo utilizado en nuestro estudio, muestreo semanal), las densidades de ácaros oscilarían en AHS de 10-15 hembras de araña roja en hoja sintomática/m<sup>2</sup>. Estas son las densidades que deben tomarse como UI. Estas estimaciones pueden ser consideradas como conservadoras porque se basan en la  $r_m$ , que refleja el crecimiento poblacional de *T. urticae* en condiciones óptimas de laboratorio. Por lo tanto, cuando

**Tabla 5.** Regresiones simples (*gl* 1, 71 y *P* < 0,01, en todos los casos) en las que se relaciona el ID con cada uno de los estimadores de las densidades de *T. urticae* (HS, AHA, AHS y AF), de fitoseidos (FHA, FHS y FF) y de la brotación (BR) para los periodos de muestreo seleccionados a través de las regresiones multivariantes.

| x   | Del 10/08 hasta recolección |                | Del 01/08 hasta el 30/09    |                | Del 01/08 hasta el 15/10    |                | Del 01/08 hasta el 31/10     |                |
|-----|-----------------------------|----------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|----------------|------------------------------|----------------|
|     | Modelo                      | R <sup>2</sup> | Modelo                      | R <sup>2</sup> | Modelo                      | R <sup>2</sup> | Modelo                       | R <sup>2</sup> |
| HS  | $y = (0,475 + 0,022x)^2$    | 27,05          | $y = (0,484 + 0,029x)^2$    | 37,70          | $y = (0,458 + 0,029x)^2$    | 41,39          | $y = (0,443 + 0,030x)^2$     | 43,36          |
| AHS | $y = 0,160 + 0,185\sqrt{x}$ | 48,14          | $y = 0,163 + 0,138\sqrt{x}$ | 52,17          | $y = 0,141 + 0,154\sqrt{x}$ | 53,53          | $y = 0,135 + 0,165\sqrt{x}$  | 53,86          |
| AHA | $y = (0,478 + 1,978x)^2$    | 34,80          | $y = 0,051 + 1,734\sqrt{x}$ | 43,08          | $y = 0,008 + 1,935\sqrt{x}$ | 45,22          | $y = -0,003 + 2,024\sqrt{x}$ | 43,64          |
| AF  | $y = 0,259 + 1,711\sqrt{x}$ | 35,23          | $y = 0,244 + 1,641\sqrt{x}$ | 62,51          | $y = 0,233 + 1,728\sqrt{x}$ | 62,32          | $y = 0,221 + 1,814\sqrt{x}$  | 62,32          |
| FHS | $y = 0,318 + 0,371\sqrt{x}$ | 40,09          | $y = 0,395 + 0,271\sqrt{x}$ | 29,80          | $y = 0,336 + 0,326\sqrt{x}$ | 36,67          | $y = 0,335 + 0,335\sqrt{x}$  | 37,12          |
| FHA | $y = 0,163 + 4,250\sqrt{x}$ | 35,58          | $y = 0,320 + 3,233\sqrt{x}$ | 24,62          | $y = 0,220 + 3,846\sqrt{x}$ | 34,84          | $y = 0,259 + 3,574\sqrt{x}$  | 27,63          |
| FF  | $y = 0,561 + 4,163\sqrt{x}$ | 22,23          | $y = 0,555 + 3,698\sqrt{x}$ | 22,88          | $y = 0,545 + 3,732\sqrt{x}$ | 22,99          | $y = 0,555 + 3,964\sqrt{x}$  | 23,17          |
| BR  | $y = 0,442 + 0,191\ln(x)$   | 13,83          | $y = (0,662 + 0,008x)^2$    | 8,21           | $y = 0,474 + 0,154\ln(x)$   | 9,13           | $y = 0,463 + 0,168\ln(x)$    | 10,82          |

se supere el umbral de AHS de 10-15, los productores tendrán una ventana de una semana para aplicar el método de control que deseen contra *T. urticae*. Para los métodos de control con un efecto rápido sobre las poblaciones de araña, como el control químico, los productores deben utilizar el UI de AHS de 15. Sin embargo, para las estrategias que requieren más tiempo para actuar, como sueltas aumentativas de ácaros fitoseidos (*P. persimilis* o *N. californicus*), el agricultor tendría que acogerse al umbral más bajo de AHS de 10.

El umbral empírico, que se ha utilizado hasta el momento, es de 4-6 hojas sintomáticas con 0,48 hembras de araña roja por hoja sintomática, establecido por Martínez-Ferrer *et al.* (2006a), se corresponde a un número de AHS de 7,68-11,52, un valor muy cercano al UI establecido de manera científica. De acuerdo con la dinámica de AHS observada durante este estudio (Figura 1), hubiera sido necesario actuar contra la araña roja durante la primera quincena de agosto. Debería estudiarse si esta acción hubiera sido suficiente para mantener las poblaciones de araña roja por debajo del UED durante el resto del período de muestreo, incluyendo la comparación entre los diferentes métodos de control (por ejemplo, control biológico frente a control químico).

### Plan de muestreo propuesto

Basándonos en los resultados obtenidos por Martínez-Ferrer *et al.* (2006b), que definió el método de muestreo para *T. urticae* en clementino, los productores que vayan a seguir este UI deberán iniciar el muestreo de *T. urticae* el 1 de agosto (Figura 4, pág. 238). Desde esa fecha y hasta mediados de octubre, el muestreo será semanal. El muestreo consistirá en la selección de 20 árboles por hectárea (o por zona homogénea más pequeña). Se lanzará un aro de 56 cm de diámetro en

dos ocasiones en cada árbol, contando el número de hojas sintomáticas dentro del aro (Y) y el número de hembras adultas de *T. urticae* (a) hasta en un máximo de seis de hojas sintomáticas (n), si están presentes. Posteriormente, el número medio de ácaros por hoja sintomática ( $X = \sum a / n$ ) se debe expresar como ácaros/m<sup>2</sup> aplicando el siguiente factor de conversión:

$$\frac{X \text{ hembras de } T. \text{ urticae}}{\text{Hoja Sintomática}} \times \frac{Y \text{ Hojas Sintomáticas}}{1 \text{ aro}} \times \frac{1 \text{ aro}}{0,25 \text{ m}^2} = \text{AHS}$$

que es:  $X \times Y \times 4 = \text{AHS}$

El valor medio de AHS de los 20 árboles se debe comparar con el umbral. Tan pronto como llegue a AHS 10-15, se deben tomar medidas de control. Aunque los ácaros fitoseidos no están incluidos en este UI, las regresiones multivariantes indican una contribución importante al ID (Tabla 4) que hace necesario tener en cuenta cualquier efecto secundario del método de control elegido (especialmente si se aplica un tratamiento acaricida) sobre *P. persimilis* y *N. californicus* (Urbaneja *et al.* 2008; 2009). Si es posible, cuando se utilicen métodos de control químicos también deberá considerarse la selectividad para otros enemigos naturales relevantes en cítricos (Jacas y García-Marí 2001).

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a J.A. Benajes y M.J. Garcés (COCALNI, Les Alqueries) por proporcionarnos la parcela de estudio, y a T. Pina, O. Dembilio, C. Pérez-Sayas (UJI) por su ayuda durante los muestreos. Este trabajo fue parcialmente financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (proyectos AGL2011-30538-C03-01-07464 AGL2004-C03-01, AGL2005-07155-C03, y AGL2008-05287-C04-03/AGR). S.P.R. y E.A.F. fueron beneficiarias de una beca predoctoral del MICINN y de la UJI, respectivamente.

### REFERENCIAS

- Abad-Moyano, R., Pina, T., Dembilio, O., Ferragut, F., Urbaneja, A. 2009. Survey of natural enemies of spider mites (Acari: Tetranychidae) in citrus orchards in eastern Spain. *Exp. Appl. Acarol.*, 47:49-61.
- Aguilar-Fenollosa, E., Ibáñez-Gual, M.V., Pascual-Ruiz, S., Hurtado, M., Jacas, J.A. 2011. Effect of ground-cover management on spider mites and their phytoseiid natural enemies in clementine mandarin orchards (II): Top-down regulation mechanisms. *Biol. Control*, 59:171-179.
- Ansaloni, T., Pascual-Ruiz, S., Hurtado, M., Jacas, J.A. 2008. Can summer and fall vegetative growth regulate the incidence of *Tetranychus urticae* Koch on clementine fruit? *Crop Prot.*, 27:459-464.
- Aucejo, S., Gómez-Cadenas, A., Jacas, J.A. 2004. Effects of NaCl-stressed citrus plants on life-history parameters of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Exp. Appl. Acarol.*, 33: 55-67
- FAOSTAT. 2013. Food and agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org/>.
- Ferragut, F., Pérez Moreno, I., Iraola, V., Escudero, A. 2010. Ácaros depredadores en las plantas cultivadas, familia Phytoseiidae. Ediciones Agrotécnicas, Madrid.
- Ferragut, F., Santonja, M.C. (1989) Taxonomía y distribución de los ácaros del género *Tetranychus* Dufour 1832 (Acari: Tetranychidae), en España. *Bol. San. Veg. Plagas*, 15:271-281.
- Generalitat Valenciana. 2013. Resolución de 26 de abril de 2013 por la que se modifican las normas de producción integrada de cítricos en el ámbito de la Comunidad Valenciana. *Diari Oficial de la Generalitat Valenciana* num 7017, pp. 12684 - 12693.
- Gutiérrez, J. 1985. Mounting Techniques. En: Helle, W., Sabelis, M. (eds) *Spider Mites: Their Biology, Natural Enemies and Control* Vol. 1A. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp. 351-353.
- Hare, J.D. 1994. Sampling Arthropod Pests in Citrus. In: Pedigo LP, Buntin GD (eds) *Handbook of sampling Methods for Arthropod Pests in Agriculture*, CRC Florida pp.417-431.
- Jacas, J.A., García-Marí, F. 2001. Side-effects of pesticides on selected natural enemies occurring in Spain. *Integrated Control in Citrus Fruit Crops*. IOBC/WPRS Bull. 24: 103-112.
- Jacas, J.A., Karamaouna, F., Vercher, R., Zappalà, L. 2010. Citrus pest management in the Northern Mediterranean Basin: Spain, Italy and Greece. En: Ciancio, A., Mukerji, K.G. (eds) *Integrated Management of Arthropod Pests and Insect Borne Diseases* vol. 5, Springer, Dordrecht, pp. 3-26.