

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural

***Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae),
nueva plaga en cítricos; comportamiento de sus
poblaciones, muestreo y enemigos naturales**



TESIS DOCTORAL

Presentada por: Cristina Navarro Campos
Dirigida por: Dr. Ferran Garcia Marí

Valencia, febrero, 2013

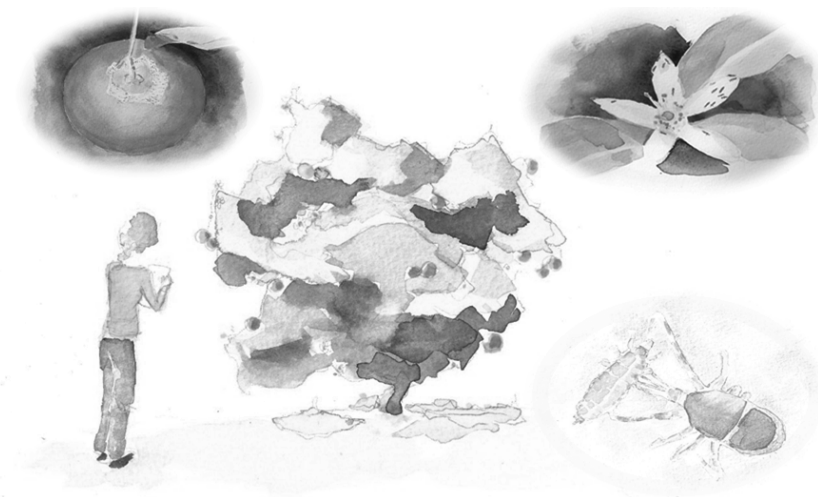
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural

Departamento de Ecosistemas Agroforestales

***Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae),
nueva plaga en cítricos; comportamiento de sus
poblaciones, muestreo y enemigos naturales**



TESIS DOCTORAL

Presentada por: Cristina Navarro Campos

Dirigida por: Dr. Ferran Garcia Marí

Valencia, Febrero, 2013

A Concha, Víctor y Marieta.

Bacterias, protistas, nematodos, ácaros y otras criaturas diminutas proliferan a nuestro alrededor, en una matriz animal que mantiene unida la superficie de la Tierra. Son materia de estudio y admiración potencialmente infinita, siempre que estemos dispuestos a apartar la mirada del mundo limitado por el horizonte, para fijarla en el mundo que tenemos a un palmo de distancia. Se puede pasar toda una vida en un viaje magallánico alrededor del tronco de un solo árbol.

Edward O. Wilson

“El Naturalista”

Agradecimientos

Mi primer agradecimiento es para Ferran, quien además de enseñarme durante el trabajo de investigación que lleva la tesis, también me ha contagiado su entusiasmo y su respecto por la ciencia. Su experiencia, paciencia, capacidad de trabajo y talento para ver más allá de los datos han sido importantes estímulos. Gracias Ferran!!!

Han colaborado directamente en la realización de la tesis, y por tanto mi gran agradecimiento a: Amparo Aguilar, quien además de ello, alegraba el laboratorio día sí día también, a Tolis quien sin ser codirector del trabajo ha actuado como tal, siempre dispuesto a ayudar y aportar otros puntos de vista. También ha colaborado directamente Carmen Marzal, a quien desgraciadamente se va a echar mucho de menos.

Asimismo, han ayudado indirectamente en la realización de la tesis el grupo de entomología. Especialmente Rafa Laborda con su inagotable bombardeo de ideas y por haberme descubierto la mirada al suelo. También Aleixandre Beltrà, quien nos ha embarcado en dos proyectos muy interesantes y quien es una fuente de buenos consejos y de iniciativa. Juan Antonio, con quien da gusto trabajar y ver como aporta luz al manejo de una de las plagas más peligrosas del momento. Altea, quien a pesar de ser la última incorporación llega pisando fuerte y contagia su tesón en el trabajo y su alegría. A Paco quien me ha aconsejado en aspectos referentes a la identificación de los ácaros y otras formalidades. A Toñi por contar conmigo para sus clases de trips y muchas más cosas y a Paloma por ayudar en todo. Finalmente, Alejandro, quien desde que estaba en la UPV hasta ahora aporta sus valiosas enseñanzas y sugerencias.

Agradezco a los técnicos de la empresa Tragsatec, S.A., en especial a Lucía Peris, Marta Guillén y Oscar López su colaboración y la cesión de las trampas sobre las que hemos obtenido información para esta tesis.

A Aleixandre, Alejandro, Altea, Amparo, Carlos, Eva, Juan Antonio, Natalia, Tolis y el resto de compañeros del IAM por compartir todo este tiempo entre risas y discusiones sobre como arreglar la agronomía, el mundo y mucho más...

A Ada Waimer por ceder su parcela hasta en horas intempestivas y por su amable apoyo. A Jose Padilla por ayudarnos a buscar parcelas con daños del trips.

A Marieta, mi hermana y amiga, quien ha realizado las ilustraciones de la tesis.

A mis padres por transmitirme el placer de aprender y enseñar y aprender...

A Xuso porque es un encanto de persona y de novio y por haberme aguantado con una paciencia infinita.

A todos mis amigos por preocuparse durante el largo proceso de la realización de la tesis, pero en especial a quien en el transcurso de este tiempo me ha ayudado en algunas cosas referentes a ella: Elisa, Diego, Guillem, Mathieu, Neus y Miquel.

¡Que sentimental me he puesto!

Índice de contenidos

Resumen.....	i
Resum	iii
Summary	v
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1. Los trips como plagas	3
1.2. <i>Pezothrips kellyanus</i> : origen y distribución geográfica.....	4
1.3. Evolución histórica como plaga de cítricos.....	5
1.4. Hospedantes	6
1.5. Descripción morfológica	8
1.6. Ciclo biológico y su abundancia estacional	10
1.7. Identificación de los daños.....	11
1.8. Muestreo y umbrales	12
1.9. Control químico	13
1.10. Control biológico	13
1.11. Ácaros depredadores presentes en el suelo	14
1.12. Referencias.....	17
Capítulo 2. Justificación y objetivos	25
Capítulo 3. Especies de trips en el cultivo de los cítricos; clave para distinguir la nueva plaga, <i>Pezothrips kellyanus</i>, de otras especies de trips	29
3.1. Introducción	32
3.2. Material y métodos.....	34
3.3. Resultados y discusión	35
3.3.1. Abundancia relativa de las especies de trips en cítricos	35
3.3.2. Identificación de las especies de trips en cítricos	38
3.4. Referencias	47
Capítulo 4. Population trend and fruit damage of <i>Pezothrips kellyanus</i> (Thysanoptera: Thripidae) in citrus orchards in Valencia (Spain)	51
4.1. Introduction.....	54
4.2. Material and methods.....	55
4.2.1. Geographical spread of KCT in Valencia region	55
4.2.2. Seasonal trend	55
4.2.2.1. Orchards.....	55
4.2.2.2. Sampling methods.....	55
4.2.3. Data analysis	57
4.3. Results and discussion	57
4.3.1. Geographical spread.....	57
4.3.2. Seasonal trend	59
4.3.3. Sampling methods	63

3.4. References64

Capítulo 5. Aggregation pattern, sampling plan, and intervention threshold for *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae) in citrus groves.....67

5.1. Introduction70

5.2. Material and methods71

 5.2.1. Sampling orchards71

 5.2.2. Sampling procedures.....72

 5.2.3. Thrips identification.....72

 5.2.4. Dispersion pattern.....73

 5.2.5. Economic injury levels73

 5.2.6. Enumerative sampling74

 5.2.7. Binomial sampling.....74

5.3. Results and discussion75

 5.3.1. Aggregation indices75

 5.3.2. Enumerative sampling plan.....78

 5.3.3. Binomial sampling plan79

 5.3.4. Economic injury levels79

 5.3.5. Sample size82

5.4. References84

Capítulo 6. Factors influencing citrus fruit scarring caused by *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae).....89

6.1. Introduction92

6.2. Material and methods94

 6.2.1. Sampling sites.....94

 6.2.2. Fruit damage caused by KCT94

 6.2.3. KCT population sampling procedure95

 6.2.4. Climatic data.....95

 6.2.5. Alternative host plants for KTC95

 6.2.6. Statistical analysis.....96

6.3. Results97

 6.3.1. Appearance of fruit damage caused by KCT and population structure during this period.....97

 6.3.2. Interannual variation in fruit damage caused by KCT97

 6.3.3. Alternative host plants in the citrus agro-ecosystem.....100

6.4. Discussion.....102

6.5. References106

Capítulo 7. Soil-dwelling predatory mites in citrus: their potential as natural enemies of thrips with special reference to *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae).....111

7.1. Introduction115

7.2. Material and methods117

7.2.1. Field sites and sampling protocol.....	117
7.2.2. Thrips and mite fauna in the soil.....	117
7.2.3. Relationship between soil-dwelling mite abundance and thrips fruit damage.....	118
7.2.4. Insecticide treatment trial.....	118
7.2.5. Organic matter trial.....	119
7.2.6. Statistical analysis.....	119
7.3. Results.....	120
7.3.1. Thrips and mite fauna in the soil.....	120
7.3.1.1. Differences in abundance of soil thrips and mite species among associated plants.....	122
7.3.1.2. Seasonal fluctuation of thrips in the soil.....	123
7.3.1.3. Seasonal fluctuation of soil-dwelling mites.....	123
7.3.2. Relationship between abundance of soil-dwelling mites and thrips fruit damage.....	126
7.3.3. Influence of insecticide treatment and animal manure application on soil-dwelling mites.....	126
7.4. Discussion.....	130
7.5. Conclusions.....	133
7.6. References.....	134
Capítulo 8. Discusión general.....	141
8.1. Referencias.....	153
Capítulo 9. Conclusiones.....	161

Resumen

Pezothrips kellyanus es una nueva plaga en el cultivo de cítricos desde que a finales del siglo XX se observaron los primeros frutos dañados por esta especie en parcelas de Nueva Zelanda y Australia. Actualmente se considera plaga ocasional en varios países de África, Asia y Europa. En España se detectaron inicialmente sus daños en el año 2007, en la comarca de La Ribera (Valencia). Sus poblaciones van ligadas a la floración de los cítricos, produciendo lesiones en los frutos recién cuajados al alimentarse de ellos. Posteriormente al crecer el fruto, las lesiones se hacen aparentes principalmente como cicatrices circulares alrededor del pedúnculo. Con el objetivo general de mejorar el manejo de esta plaga y poder reducir la incidencia de los daños producidos, hemos realizado un estudio del comportamiento de sus poblaciones, de la forma de evaluar su abundancia y de sus enemigos naturales. Debido a que es una plaga relativamente nueva, se plantearon también los objetivos específicos de describir los inmaduros y adultos de *P. kellyanus* y de conocer la expansión geográfica y las plantas hospedadoras alternativas en las plantaciones de cítricos del País Valenciano. El estudio se ha realizado desde el año 2008 hasta el 2010 en un número variable de parcelas de cítricos (4-14) todas ellas situadas en la comarca de La Ribera. Las metodologías se han escogido según su adecuación a los objetivos.

Se han identificado las especies de trips que coexisten con *P. kellyanus*, tanto en la parte arbórea como en el suelo de las parcelas de cítricos estudiadas. Simultáneamente con su expansión geográfica, *P. kellyanus* ha ido desplazando a las otras especies de trips antes mayoritarias como *Frankliniella occidentalis*, *Thrips tabaci* y *Thrips major*. Estas especies no causan daños en los frutos cítricos de las parcelas estudiadas. Se aporta una clave dicotómica para poder así distinguir las especies de trips que se comportan como plagas de las que no producen daños en el cultivo de los cítricos.

Pezothrips kellyanus se ha expandido rápidamente por toda la zona citrícola del País Valenciano. Sin embargo, los daños importantes se observaron localizados en algunas zonas concretas. Las poblaciones *P. kellyanus* se presentaron asociadas a la fenología del árbol cítrico, de forma que las mayores densidades poblacionales se encontraron coincidiendo con el periodo de floración. No obstante, aunque en reducidas cantidades, observamos presencia de larvas y adultos de *P. kellyanus* durante prácticamente todo el año, desarrollándose sobre frutos maduros, flores no regulares de cítricos y flores de otras especies.

Las poblaciones de *P. kellyanus* se presentaron agregadas en las flores y frutitos (frutos recién cuajados, de reducido tamaño), siendo este comportamiento más acusado en los estadios larvarios. La correlación hallada entre el porcentaje de frutos dañados y el porcentaje de frutos con larvas del trips demostró que estos estadios son los más dañinos. Basado en el porcentaje de frutos con larvas de *P. kellyanus* se determinó el umbral económico y el umbral económico ambiental, siendo de 7 y 12%, respectivamente. A partir de estos resultados, se recomienda realizar un muestreo binomial consistente en evaluar que porcentaje de 310 frutitos recolectados al azar de más de 10 árboles estén ocupados por larvas de trips. Se aporta información sobre como identificar los estadios larvarios de *P. kellyanus*.

La intensidad del daño causado por este trips ha sido muy variable entre años. En los tres años estudiados, estas diferencias estuvieron aparentemente relacionadas con la temperatura durante el invierno y la primavera, lo que a su vez afectó al periodo de floración y a la supervivencia y desarrollo de las poblaciones de *P. kellyanus* en cítricos y otros hospedantes presentes en las parcelas. A pesar de la variación encontrada entre años en la cuantía de los daños, la aparición de las lesiones en los frutos ha ocurrido siempre durante los periodos correspondientes a 300-500 grados días durante los tres años muestreados (temperatura diaria acumulada por encima de 10,2°C), coincidiendo con la máxima abundancia de larvas de segundo estadio. Se ha identificado un nuevo hospedante en el que se puede reproducir *P. kellyanus*: la planta invasora *Araujia sericifera*.

Respecto al control biológico, se han identificado 15 especies de ácaros depredadores en el suelo, siendo algunos de ellos muy interesantes por pertenecer a familias que han sido citadas como depredadores de trips. Los ácaros depredadores más abundantes han sido: *Parasitus americanus*, *Gaeolaelaps aculeifer*, *Neomolgus* sp. y *Pachylaelaps islandicus*. Hemos encontrado una elevada correlación negativa entre la presencia de *P. kellyanus* o sus daños y la del ácaro depredador *G. aculeifer*. Factores como la aportación de estiércol al suelo o la presencia de distintas especies de plantas alteraron las poblaciones de los ácaros y los trips en el suelo. Por último, un tratamiento de clorpirifos realizado al suelo no afectó significativamente las poblaciones de los ácaros depredadores.

Resum

Pezothrips kellyanus és una nova plaga en el cultiu de cítrics des que a finals del segle XX s'observaren els primers fruits danyats per aquesta espècie en parcel·les de Nova Zelanda i Austràlia. Actualment es considera plaga ocasional en distints països d'Àfrica, Àsia i Europa. A Espanya es detectaren inicialment els danys en l'any 2007, a la comarca de La Ribera (València). Les seues poblacions van lligades a la floració dels cítrics, produint lesions als fruits acabats de quallar en alimentar-se d'ells. Posteriorment en créixer el fruit, les lesions es fan aparents principalment com a cicatrius circulars al voltant del peduncle. Amb l'objectiu general de millorar el maneig d'aquesta plaga i poder reduir la incidència dels danys produïts, hem realitzat un estudi del comportament de les seues poblacions, de la forma d'avaluar la seua abundància i dels seus enemics naturals. Degut a que és una plaga relativament nova, es plantearen també els objectius específics de descriure els immadurs i adults de *P. kellyanus* i de conèixer l'expansió geogràfica i les plantes hostes dadores alternatives en les plantacions de cítrics del País Valencià. L'estudi s'ha realitzat des de l'any 2008 fins el 2010 en un nombre variable de parcel·les de cítrics (4-14) totes elles situades en la comarca de La Ribera. Les metodologies emprades han estat escollides adequant-se als diferents objectius.

S'han identificat les espècies de trips que coexisteixen amb *P. kellyanus*, tant en la part arbòria com al sòl de les parcel·les de cítrics estudiades. Simultàniament amb la seua expansió geogràfica, *P. kellyanus* ha anat desplaçant a les altres espècies de trips abans majoritàries com *Frankliniella occidentalis*, *Thrips tabaci* i *Thrips major*. Aquestes espècies no causen danys en els fruits cítrics de les parcel·les estudiades. S'aporta una clau dicotòmica per poder així distingir les espècies de trips que es comporten com a plagues de les que no produeixen danys en el cultiu dels cítrics.

Pezothrips kellyanus s'ha expandit ràpidament per tota la zona citrícola del País Valencià. No obstant això, els danys importants s'observaren localitzats únicament en algunes zones concretes. Les poblacions de *P. kellyanus* estigueren associades a la fenologia de l'arbre cítric, de forma que les majors densitats poblacionals es trobaren coincidint amb el període de floració. No obstant, encara que en reduïdes quantitats, observarem presència de larves i adults de *P. kellyanus* durant pràcticament tot l'any, desenvolupant-se sobre fruits madurs, flors no regulars de cítrics y flors d'altres espècies.

Les poblacions de *P. kellyanus* es presentaren agregades en les flors i fruitets (fruits recent quallats, de xicoteta mida), sent aquest comportament més acusat en els estadis larvaris. La correlació trobada entre el percentatge de fruits

danyats i el percentatge de fruits amb larves del trips va demostrar que aquests estadis son els més nocius. Basat en el percentatge de fruits amb larves de *P. kellyanus* es determinaren el llindar econòmic i el llindar econòmic ambiental, sent de 7 i 12%, respectivament. A partir d'aquests resultats, es recomana realitzar un mostreig binominal consistent en avaluar quin percentatge de 310 fruits –després de la caiguda de pètals- recol·lectats a l'atzar de més de 10 arbres que estiguen ocupats per larves de trips. S'aporta informació sobre com identificar els estadis larvaris de *P. kellyanus*.

La intensitat del dany causat per aquest trips ha sigut molt variable entre anys. En els tres anys estudiats, aquestes diferències estigueren aparentment relacionades amb la temperatura durant l'hivern i la primavera, factor que va afectar també al període de floració i a la supervivència i desenvolupament de les poblacions de *P. kellyanus* en cítrics i altres hostes presents en les parcel·les. Malgrat la variació trobada entre anys en la quantia dels danys, l'aparició de les lesions en els fruits ha ocorregut sempre durant els períodes corresponents a 300-500 graus dies durant els tres anys mostrats (temperatura diària acumulada per damunt de 10,2°C), coincidint amb la màxima abundància de larves de segon estadi. S'ha identificat un nou hoste en el que es pot reproduir *P. kellyanus*: la planta invasora *Araujia sericifera*.

Pel que fa al control biològic, s'han identificat 15 espècies d'àcars depredadors al sòl, sent alguns d'ells molt interessants per pertànyer a famílies que han estat citades com a depredadores de trips. Els àcars depredadors més abundants han estat: *Parasitus americanus*, *Gaeolaelaps aculeifer*, *Neomolgus* sp. i *Pachylaelaps islandicus*. Trobarem una elevada correlació negativa entre la presència de *P. kellyanus* o els seus danys i la de l'àcar depredador *G. aculeifer*. Factors com la aportació de fem al sòl o la presència de distintes espècies de plantes alteraren les poblacions dels àcars i dels trips al sòl. Per altra banda, un tractament de clorpirifos realitzat al sòl no va afectar significativament les poblacions dels àcars depredadors.

Summary

Pezothrips kellyanus is a newly emerged pest in citrus orchards. In the decade of the 1990 first fruit scarring was observed in New Zealand and Australia. Nowadays, *P. kellyanus* is considered an occasional pest in several countries of Africa, Asia and Europe. In Spain damage was first detected in 2007, in La Ribera region (Valencia). Their populations are related to citrus flowering. Recently developed small fruits are scarred when thrips feed on them. Subsequently, when fruit grows, fruit scarring becomes apparent, mainly as scars around the calyx. With the general aim of improving the management of the pest and to reduce the incidence of fruit scarring, we have studied the behavior of their population, the way of evaluating their abundance and their natural enemies. Due to it is a relatively newly emerged pest, two specific objectives of our study were to describe both immature and adult stages of *P. kellyanus* and to know the geographic spread and alternative host plants in the citrus orchards of the “País Valencià”. The study was carried out from 2008 to 2010 in a variable number of citrus orchards (4-14) located in La Ribera region. The methodologies used were chosen in accordance with the objectives.

Thrips species that coexist with *P. kellyanus* in the canopy and on the ground of the citrus orchards studied have been identified. Simultaneously with its spread in the Valencian region, *Pezothrips kellyanus* has displaced other thrips species abundant in the past in citrus orchards as *Frankliniella occidentalis*, *Thrips tabaci* and *Thrips major*. Those thrips species are not damaging citrus fruits. A key is provided in order to recognize the thrips pest species in citrus orchards.

Pezothrips kellyanus had quickly spread in the whole of the Valencian region. However, important damage was located only in some specific areas. *Pezothrips kellyanus* populations were associated with citrus tree phenology. Thus, higher population densities occurred during the flowering period. Nevertheless, although in small quantities, we found larvae and adults of *P. kellyanus* practically during the whole year, developing on mature fruits, extemporal citrus flowers and flowers of other plant species.

Pezothrips kellyanus showed clumped population distributions on flowers and fruitlets (fruits recently set, of small size). Immature thrips showed a higher aggregation. Strong correlation between fruit damage by *P. kellyanus* and the percentage of fruitlets with immature *P. kellyanus* demonstrated that those life stages were the most harmful. Based on the percentage of fruitlets occupied by larvae, the economic injury levels and environmental economic injury levels were calculated, being 7 and 12%, respectively. A binomial sampling plan is

recommended, 310 fruitlets should be monitored weekly from petal fall until the fruits reach 4 cm in diameter. Information for a correct identification of larval stages of *P. kellyanus* is provided.

The intensity of the fruit damage caused by *P. kellyanus* differed among the three years of the study. Those differences were apparently related to the temperature during winter and spring, which in turn affected the onset of the flowering period as well as the survival and development of *P. kellyanus* populations in citrus and other plant hosts. In spite of the differences in the damaging potential among years, the damage occurred between 300 and 500 degree days for all three years (daily temperature accumulated above 10.2°C), coinciding with the peak abundance of the second larval stages. The invasive plant white bladderflower (*Araujia sericifera* Brot.) has been identified as a new host record for *P. kellyanus*.

With regard to biological control, 15 soil predatory mite species have been identified. Interestingly, some of them belong to mite families that have been already cited as predatory on thrips. The most abundant predatory mites were: *Parasitus americanus*, *Gaeolaelaps aculeifer*, *Neomolgus* sp. and *Pachylaelaps islandicus*. Higher populations of *G. aculeifer* were associated with lower abundance and fruit damage caused by *P. kellyanus*. We report here data about how distinct factors such as the addition of composting manure or the presence of different plant species affect mite and thrips populations on the soil. Finally, a treatment with chlorpyrifos to the soil had no significant effect on the abundance of soil predatory mites.

CAPÍTULO 1

Introducción



1 Introducción

El control de plagas en el cultivo de los cítricos del País Valenciano se caracteriza por el elevado porcentaje que se destina para consumo en fresco, un 86% según la FAO (2006). Debido a la gran exigencia en la calidad estética de los frutos, cualquier lesión producida por alguna plaga puede depreciarla comercialmente. Por otro lado, el hecho de que aproximadamente la mitad de la fruta producida sea destinada para exportación requiere, también, la ausencia absoluta de organismos que estén en los listados de cuarentena de los países a los que se exporta. Ambos condicionantes exigen un nivel de conocimiento muy elevado de las diferentes plagas y de sus enemigos naturales, de su comportamiento en los cultivos y de las herramientas para evaluar su abundancia poblacional.

En este contexto se sitúa el estudio del trips *Pezothrips kellyanus* (Bagnall) (Thysanoptera: Thripidae), un trips que a partir del siglo XX se ha dado a conocer por producir daños estéticos en los frutos cítricos y por invadir nuevas áreas citrícolas convirtiéndose en una plaga más de los cultivos de cítricos.

1.1 Los trips como plagas

Del total de las aproximadamente 5.500 especies de trips descritas en todo el mundo, únicamente un 1% ocasiona daños como plaga (Lewis, 1997). En el caso de los cítricos, de las numerosas especies de trips asociadas a ellos, solamente unas pocas se comportan como plagas en diferentes regiones: *Chaetanaphothrips orchidii* (Moulton), *Chaetanaphothrips signipennis* (Bagnall), *Frankliniella bispinosa* (Morgan), *Heliothrips haemorrhoidalis* (Bouche), *P. kellyanus* (Bagnall), *Scirtothrips aurantii* Faure, *S. citri* (Moulton), *S. dorsalis* Hood, *S. inermis* Priesner y *Thrips hawaiiensis* (Morgan) (Ebeling, 1959; Quayle, 1938; Lacasa y Llorens, 1998; Blank y Gill, 1997; Parker y Skinner, 1997; Bedford, 1998). Además de ellas, se han citado también otras especies asociadas a los cítricos, como *Frankliniella occidentalis* (Pergande), *Thrips major* Uzel, *T. meridionalis* (Priesner) o *T. tabaci* Lindeman, pero la mayoría son polífagas y su presencia en las flores responde a las circunstancias que rodean a los cultivos, siendo de escasa relevancia la implicación económica de sus daños (Lacasa et al., 1996). Actualmente en los cítricos presentes en la cuenca mediterránea únicamente son problemáticas tres especies: *H. haemorrhoidalis*, que ocasionalmente ataca los frutos maduros (Longo, 1986; Lacasa et al., 1996; P. Bielza, -Universidad Politécnica de Cartagena, comunicación personal-, 2012), *S. inermis*, que produce daños en naranjos de

forma localizada y esporádica en diferentes comarcas de Alicante, Castellón, Murcia y Valencia (Lacasa et al., 1996; EPPO, 2005), y *P. kellyanus*, que recientemente se ha convertido en una seria plaga de parcelas de cítricos en algunas regiones del mediterráneo (Marullo, 1998; EPPO, 2006; Vassiliou, 2007, Varikou, 2009).

1.2 *Pezothrips kellyanus*: origen y distribución geográfica

La especie *Pezothrips kellyanus* (**Fig. 1**), también conocida como Kelly's citrus thrips (KCT), fue descrita inicialmente en Australia como *Physothrips kellyanus* (Bagnall, 1916). Aunque en 1935 Steele citó la especie como *Taeniothrips (Physothrips) kellyanus* (Webster et al., 2006). Posteriormente fue transferida al género *Megalurothrips* Bagnall (Bhatti, 1969), donde no encajaba por diferir considerablemente en su morfología con el resto de especies y por no reproducirse en plantas de la familia Fabaceae como el resto (Webster et al., 2006). Finalmente fue incluida en el género *Pezothrips* Karny (zur Strassen, 1996) junto a ocho especies originarias del sur paleártico (Mound y Gillespie, 1997). La similar morfología con las especies incluidas en el género *Pezothrips* sugería que *P. kellyanus* era originaria de la misma parte del mundo. De hecho, desde 1997 hasta el año 2006 se consideraba que la especie no era originaria sino introducida en Australia y debía ser considerada nativa del área mediterránea. Sin embargo, no se conoce que se reproduzca en ninguna especie nativa mediterránea y en cambio sí se ha encontrado recientemente en plantas nativas de Australia, lo que sugiere que es un insecto nativo de Australia que ha cambiado sus hábitos y plantas de las que se alimenta, invadiendo el sur de Europa en los últimos años del siglo XX (Webster et al., 2006; Reynaud, 2010).

Hasta la primera mitad del siglo XX se encontraba exclusivamente en Australia. En 1950 se captura por vez primera fuera de Australia, en Nueva Zelanda (Mound y Walker, 1982). Zur Strassen (1986) cita la especie por vez primera en el mediterráneo en Grecia y posteriormente zur Strassen (1996, 2003) la describe también en Turquía, España y Creta. En 1998 se cita en Italia (Marullo, 1998) y en 2004 en Chipre y el sur de Francia (Moritz et al., 2004). Costa et al. (2006) descubren que en 2002 y 2003 la especie era muy abundante en limoneros de Portugal. Respecto al continente americano, se ha detectado ya en dos países, Hawaii (Hawaii Department of Agriculture, 2006) y Chile (EPPO, 2012). Recientemente se han observado los daños y la presencia de *P. kellyanus* en cítricos de Túnez (Bellam y Boulahia-Kheder, 2012). Por tanto, se encuentra actualmente presente en cinco de los seis continentes.



Fig. 1. Hembra de *P. kellyanus* sobre fruto maduro (A) y agrupación de adultos de *P. kellyanus* sobre una flor (B).

1.3 Evolución histórica como plaga de cítricos

Pezothrips kellyanus se ha caracterizado por estar presente en distintas plantas, entre ellas cítricos, sin observarse daños durante muchos años y repentinamente manifestar daños intensos en el cultivo de los cítricos. Así, en Nueva Zelanda, a pesar de estar presente desde muchos años antes, solo causa daños importantes en cítricos a partir de la década de 1990, con síntomas muy similares a los producidos por los *Scirtothrips* (Blank y Gill, 1997). Esta es, posiblemente, la primera vez que se cita a *P. kellyanus* causando daños importantes a cítricos. En 1999 es considerada en Nueva Zelanda como la plaga más importante del cultivo de los cítricos (Froud et al., 2001). También a finales de la década de los 90 se citan por primera vez daños a cítricos en Australia por esta especie (Webster et al., 2006) a pesar de estar descrita en Australia desde principios de siglo. Mound y Jackman (1998) sugirieron que la mayor incidencia de *P. kellyanus* como plaga en Australia puede deberse en parte, a que ha habido un aumento de la producción de Navel para consumo en fresco en detrimento de variedades para zumo, siendo la variedad Navel más adecuada para la proliferación de *P. kellyanus*.

En cuanto a la zona mediterránea, entre 1996 y 1998 se comienzan a observar elevadas poblaciones y daños intensos de esta especie de trips sobre naranjos y limoneros en Sicilia (Marullo, 1998). En Creta (Grecia) causa graves daños en cítricos también desde 1998, alcanzando desde entonces niveles poblacionales muy elevados en las parcelas, observándose hasta el 70% de frutos dañados en algunas de ellas (Varikou et al., 2002). En Portugal, a pesar

de que en 2002 y 2003 era la especie de trips más abundante en parcelas de limonero (Costa et al., 2006), no ha sido nunca considerada como plaga importante en dicho país (J. C. Franco, Technical University of Lisbon, comunicación personal, 2012). En el País Valenciano se observaron los daños por primera vez en el año 2007, cuando apareció un foco en parcelas de naranjo Valencia Late situadas en Alzira, en la comarca de la Ribera Alta. Posteriormente se pudo comprobar, en un conteo realizado en trampas pegajosas colocadas en las 100 parcelas de cítricos muestreadas periódicamente por el Plan de Vigilancia Fitosanitaria (PVF) establecido por la Generalitat Valenciana, que el insecto ya estaba en las parcelas de cítricos valencianas en el año 2005, estando presente ese año en seis de las 100 parcelas, situadas todas ellas en la comarca del Baix Segura (Navarro et al., 2008).

En cuanto a los daños, gracias al PVF se dispone de abundante información sobre la evolución con el tiempo de los daños en frutos de naranjo producidos por *P. kellyanus*. El porcentaje de frutos en el momento de la cosecha con síntomas de trips fue muy bajo en 2005 y 2006 alrededor del 1% por parcela muestreada. En el año 2007 se incrementa a 2% y en el 2008 subió considerablemente alcanzando aproximadamente un 10% (García-Marí, 2012). No tenemos referencias directas de la situación de los daños en general en 2009 y 2010, pero parece que los daños continuaron. En 2011 y 2012 se dispone de nuevo de datos de la red de Monitoreo desarrollada por Bayer, donde se puede observar como los daños fueron de aproximadamente un 5-10% para los dos años (Bayer agroservicios, 2012).

1.4 Hospedantes

Aunque en la actualidad sea plaga de cítricos, *P. kellyanus* es una especie polífaga que ha sido citada en plantas botánicamente muy diferentes entre sí. El hecho de que haya adultos en flores en una planta determinada no significa que esa planta sea un hospedante primario, ya que dichos adultos pueden estar simplemente alimentándose del polen o néctar, sin reproducirse. Una planta se considera hospedante primario cuando el trips llega a completar el ciclo biológico en dicha planta y por lo tanto se pueden encontrar tanto adultos como los dos estadios larvarios sobre ella (Mound y Marullo, 1996; Froud et al., 2001). *Pezothrips kellyanus* se reproduce en varias plantas situadas en las parcelas de cítricos o sus cercanías y todas ellas se caracterizan por presentar flores blancas y aromáticas: *Hymenosporum flavum* F. Muell., *Pittosporum tobira* (Thunb.) W.T. Aiton (**Fig. 2A**), *Westringia fruticosa* (Willd.) Druce, *Jasminum* spp. (**Fig. 2B**), *Lonicera* spp. (**Fig. 2C y 2D**), y *Gardenia jasminoides* Ellis (Kirk, 1987; Mound y Jackman, 1998; Froud et al., 2001;

Baker, 2006; Vassiliou, 2010). Por otro lado, Webster et al. (2006) han encontrado poblaciones importantes de adultos y larvas de *P. kellyanus* en varias plantas nativas de Australia como *Myoporum insulare* R. Br. (Myoporaceae) y *Alyxia buxifolia* R. Br. (Apocynaceae), en lugares muy apartados de cultivos de cítricos.

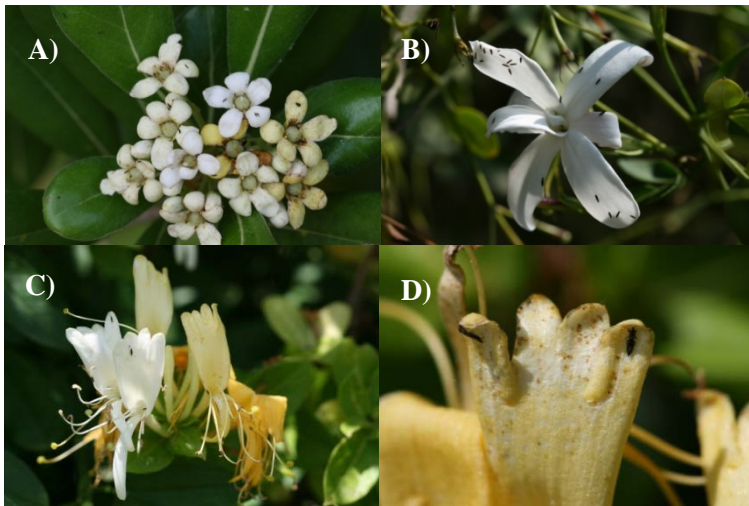


Fig. 2. *Pezothrips kellyanus* en (A) *Pittosporum tobira*, (B) *Jasminum officinale* y (C y D) *Lonicera japonica*.

No está claro el papel que juegan para *P. kellyanus* los hospedantes alternativos aislados que se pueden encontrar entre las plantaciones de cítricos. Según algunos autores los cítricos actúan como su planta hospedante principal y el trips completa el ciclo en este cultivo sin que sea decisiva en su desarrollo la presencia de otras plantas (Vassiliou, 2007; Froud et al., 2001). En Australia las poblaciones del trips se van alternando cíclicamente entre las distintas variedades de cítricos, ya que no son comunes los hospedantes no cítricos cerca de las parcelas (Baker, 2006). Por otro lado, varios autores han observado una importante dispersión desde flores de limoneros aislados o plantados en zonas residenciales a la floración de los naranjos cultivados (Mound y Jackman, 1998; Vassiliou, 2010). Según Varikou et al., (2009) otras plantas ornamentales como *Jasminum* o *Passiflora* pueden servir de reservorios durante todo el año e invadir desde ellas los cítricos cultivados cuando la fenología de la planta lo permite de nuevo.

No todas las especies y/o variedades de cítricos atraen a *P. kellyanus* por igual. En Creta se observa una preferencia por los limoneros, seguido de los naranjos, mientras que en mandarinos apenas se observan daños (Varikou et al., 2002). En Sicilia los mayores daños se observan en limonero y en naranjo Navelina, siendo mucho menores en naranjo Valencia Late (Conti et al., 2001). De acuerdo con Webster et al. (2006), en Australia el daño es particularmente grave en variedades Navel que retienen los sépalos, bajo los cuales se refugian y alimentan los trips.

1.5 Descripción morfológica

Los adultos de *P. kellyanus* son fácilmente visibles en las flores de los cítricos donde se reconocen por presentar una coloración oscura, variando del marrón al negro (**Fig. 1B**). Podrían confundirse con otros trips oscuros que también se encuentran en dichas flores como *T. meridionalis*, *Thrips angusticeps* Uzel o *Melanthrips fuscus* (Sulzer), pero estos nunca están en poblaciones tan altas como las observadas en *P. kellyanus*. Los estadios inmaduros presentan una coloración que va del blanco al naranja oscuro y son más difíciles de observar debido a su comportamiento tigmotáxico, lo que les lleva a situarse en zonas muy protegidas como la unión del fruto con el cáliz (Purvis, 2002; Baker, 2006; Webster et al., 2006).

El tamaño de *P. kellyanus* varía entre 1,6 y 1,8 mm aproximadamente en el caso de las hembras (en algunos casos puede llegar a 2 mm) (**Fig. 3A**) y de 1,2-1,6 mm aproximadamente en el caso de los machos (**Fig. 3B**) (Bagnall, 1916). Presenta las alas ennegrecidas con dos zonas claras en su base. Las alas anteriores tienen la nervadura principal con únicamente dos setas en su parte distal y ninguna en la parte central (Mound y Walker, 1982). Las patas también son oscuras, exceptuando los tarsos y las tibias de las patas anteriores que presentan una coloración amarilla (Bagnall, 1916; Mound y Walker, 1982). La cabeza es un poco más ancha que larga y tiene tres pares de setas ocelares, siendo el par situado entre los ocelos extremadamente largo. Las antenas están formadas por ocho segmentos oscuros exceptuando las zonas de unión de los artejos 3 y 4 que son transparentes (Bagnall, 1916). Los machos presentan el sexto artejo antenal anormalmente largo, siendo aproximadamente el doble de largo que en la hembra. Además de por esta característica, los machos de esta especie se distinguen por presentar en los segmentos abdominales más de 40 pequeñas áreas glandulares. El segmento abdominal VIII de las hembras tiene varias características útiles para reconocer la especie. Una de ellas es la ausencia de ctenidias (líneas de microsetas) en los laterales del segmento, presentando en su lugar grupos irregulares de quetas. Otra característica es la

presencia de microsetas en los laterales del borde inferior de este mismo segmento, faltando en la parte central (Mound y Walker, 1982; Marullo, 1998; Moritz et al., 2004; Webster et al., 2006). Las larvas del primer estadio son blanquecinas o amarillentas y las de segundo se tornan anaranjadas al final de su desarrollo (**Fig. 4**). Estas últimas presentan unos dientes esclerotizados en el octavo segmento abdominal que son útiles para su identificación y que presumiblemente les facilitan el movimiento entre las partículas del suelo cuando van a pupar (Kirk, 1987; Webster et al., 2006).

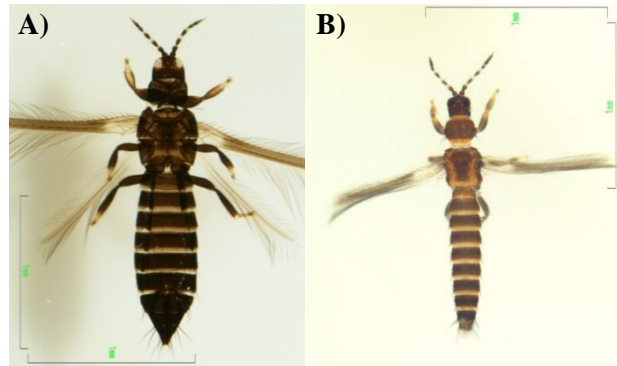


Fig. 3. Hembra (A) y macho (B) de *Pezothrips kellyanus*.

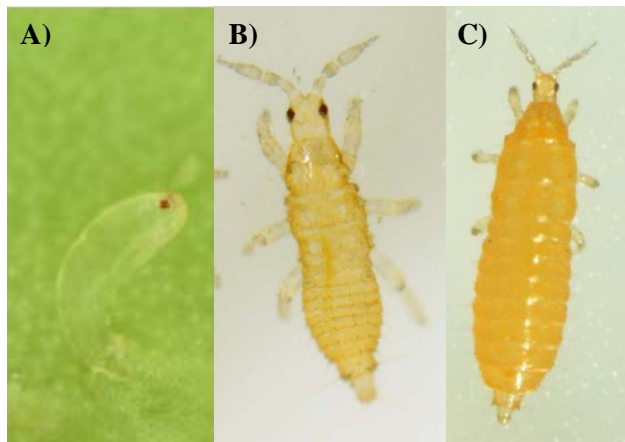


Fig. 4. Huevo eclosionando (A), larva de primer (B) y de segundo estadio (C) de *Pezothrips kellyanus*.

Aunque académicamente los trips son insectos heterometábolos y por lo tanto la denominación de los estadios inmaduros correcta sería la de ninfas, en la práctica son varios los expertos de trips que consideran más adecuada la denominación de larvas y pupas frente a la de ninfas (Vance, 1974; Moritz, 1997; Milne et al., 1997; Chapman, 1998; Morse y Hoddle, 2006; Mound, 2007; Vierbergen et al., 2010). Estos autores alegan que los trips tienen un tipo de desarrollo intermedio entre los holometábolos y heterometábolos, ya que se da una masiva reorganización del cuerpo de los trips durante los estadios previos a la condición de adulto. Debido a que hemos utilizado las claves de varios de estos autores para identificar los estadios inmaduros de los trips nos acogemos a su criterio de denominar a los inmaduros larvas y pupas.

1.6 Ciclo biológico y abundancia estacional

Las hembras de *P. kellyanus* dejan sus huevos en las partes tiernas de la planta, sobre todo en los pétalos de las flores de cítricos (Baker, 2006). Como todos los trips del suborden Terebrantia, tienen dos estadios larvarios y dos estadios inactivos que no se alimentan (prepupa y pupa) (Lewis, 1997). Las larvas se pueden observar dentro de las flores y sobre los frutos recién cuajados o en proceso de crecimiento (**Fig. 5A**). En el fruto se encuentran en la zona del cáliz, entre dos frutos en contacto o en las depresiones de la corteza de los frutos maduros. Una vez han alcanzado su madurez las larvas del segundo estadio se dejan caer al suelo, donde pupan a una profundidad de unos 2 cm, preferentemente en zona sombreada o en el lecho de hojarasca. Los adultos al emerger se dirigen a la parte aérea para alimentarse y reproducirse. Los machos pueden formar agrupaciones en hojas terminales jóvenes y las hembras son atraídas a dichas agregaciones para aparearse (**Fig. 5B y 5C**) (Baker et al., 2002; Baker, 2006; Mound y Jackman, 1998).

Según Baker (2006), el tiempo que tarda *P. kellyanus* en completar una generación en campo es aproximadamente de dos semanas en verano y hasta tres meses en invierno. En condiciones de laboratorio se ha estimado que el desarrollo completo desde huevo a adulto tarda 10 días a 32,5°C y 40 días a 15°C, siendo los umbrales de temperatura estimados de 10,2 y 33°C (Varikou et al., 2009). Según Vassiliou (2007) puede desarrollar más de seis generaciones al año, aunque según Blank y Gill (1997) solo completaría una generación en la mayoría de variedades de cítricos que florecen en primavera.

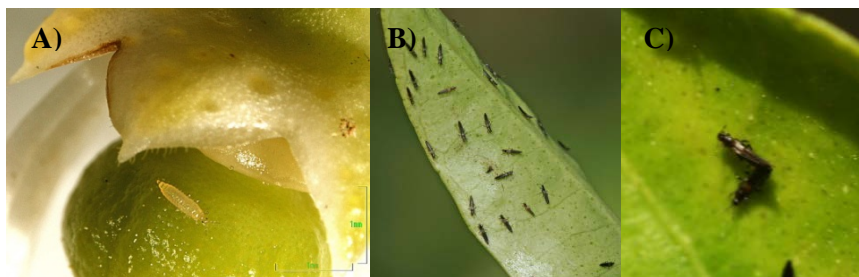


Fig. 5. Larva de *Pezothrips kellyanus* sobre un fruto en crecimiento (A), agregación de machos en hoja (B) y apareamiento sobre la hoja (C).

Se sabe que las mayores abundancias poblacionales de *P. kellyanus* en campos de cítricos coinciden con la floración primaveral y se supone, aunque no se ha demostrado experimentalmente, que el principal periodo de realización del daño ocurre en las seis semanas que siguen a la caída de pétalos (Baker et al., 2002; Perrotta y Conti, 2008) pero no se conoce con exactitud la evolución estacional a lo largo del año de la abundancia del trips en parcelas de cítricos. De acuerdo con EPPO (2006), *P. kellyanus* inverna en forma de pupa en el suelo o en el lecho de hojarasca de los cítricos y los adultos migran a las flores de cítricos el inicio de la primavera.

1.7 Identificación de los daños

Las larvas de *P. kellyanus* parecen ser las responsables de la mayor parte del daño realizado, mientras que no está claro si los adultos de *P. kellyanus* llegan a producir algún daño a los frutos o no. Las larvas, al alimentarse, destruyen la pigmentación verde de las células epidérmicas produciendo manchas decoloradas irregulares (Blank y Gill, 1997). Pueden producir dos tipos de daños en función de si atacan frutos recién cuajados o frutos ya maduros. Cuando la lesión se produce sobre frutitos pequeños, esta aparece como una escarificación o cicatriz alrededor del pedúnculo (**Fig. 6A y 6B**). La escarificación circular puede ser parcial o completa y va alejándose del pedúnculo a medida que el fruto crece. Puede ir acompañada de otras lesiones situadas en la parte lateral o en la base del fruto. Por otro lado, las lesiones producidas sobre frutos maduros aparecen como zonas plateadas o decoloradas, normalmente en las zonas en contacto de frutos entre sí, o entre frutos y hojas (Blank y Gill, 1997; Webster et al., 2006, Vassiliou, 2007). El daño en frutos maduros es menos común pero más severo pudiendo llegar a cubrir el fruto enteramente (**Fig. 6C y 6D**) (Vassiliou, 2007). Los daños producidos por los

trips en los frutos cítricos pueden confundirse con las lesiones producidas por otros agentes bióticos o abióticos. Se han observado cicatrices circulares semejantes realizadas por microlepidópteros como *Anatrachyntis badia* (Hodges) (Navarro-Campos et al., 2010). El roce inducido por el viento también puede provocar marcas y cicatrices semicirculares que podrían ser confundidas con los daños por trips (Del Rivero, 1988; Bedford, 1998; Garcia-Marí y Palacios, 1999).

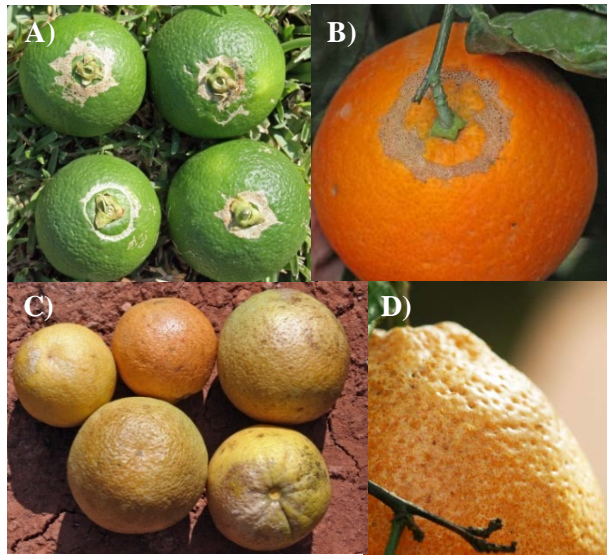


Fig. 6. Daños de *Pezothrips kellyanus* producidos sobre frutos pequeños al inicio del desarrollo (A y B) y sobre frutos maduros (C y D).

1.8 Muestreo y umbrales

El muestreo directo de los frutos recién cuajados parece ser el mejor método para decidir si es necesario un tratamiento contra la plaga (Stevens et al., 1998; Conti et al., 2003; Baker, 2006; Perrotta y Conti, 2008). Sin embargo, se necesitan otros métodos para estudiar la plaga cuando los cítricos no presentan frutos. El uso de trampas blancas pegajosas se ha aconsejado como herramienta simple y útil para seguir la abundancia relativa de *P. kellyanus* a lo largo del año (Froud, 1999; Conti et al., 2001; Perrotta et al., 2004; Vassiliou, 2010). Otro método utilizado para muestrear las poblaciones de los trips son las trampas de caída y emergencia. Mediante estas trampas se capturan las larvas de

los trips que se lanzan al suelo para pupar y los adultos que emergen del suelo (Tanigoshi y Moreno, 1981; Jamieson y Stevens, 2006).

De acuerdo con la estrategia de un manejo integrado de plagas es necesario conocer el nivel de plaga a partir del cual se supere el nivel económico de daño (umbral de tratamiento), y solo entonces proceder a realizar un tratamiento químico (Stern et al., 1959; Pedigo, 1999). En el caso de *P. kellyanus* se ha recomendado en varios documentos técnicos muestrear 100 frutos y tomar como umbral de tratamiento un 5 a 10% de frutos ocupados por larvas (Perrotta et al., 2004; Baker, 2006; Jackman et al., 2011), pero no se ha publicado la justificación experimental para este umbral.

1.9 Control químico

Actualmente el único control sobre las poblaciones de *P. kellyanus* que se practica es el químico. Se han realizado varios ensayos sobre el efecto de diferentes insecticidas químicos para el control del trips. Los insecticidas spinosad y clorpirifos son los que han demostrado mayor eficacia (Conti et al., 2001; Vassiliou, 2007; Tena et al., 2011). Debido al reiterado uso de clorpirifos contra *P. kellyanus* ya se han encontrado poblaciones resistentes en Australia (Purvis, 2003; Baker, 2006), aunque en el País Valenciano se ha demostrado que las poblaciones son sensibles al clorpirifos (Tena et al., 2009). Además del problema generado por las resistencias, el tratamiento químico de esta plaga presenta el inconveniente de que tiene que ser realizado en un momento, tras la floración, en el que están incrementándose los enemigos naturales que ejercen un control biológico sobre otras plagas importantes o potenciales de los cítricos (Baker et al., 2011; Tena et al., 2011).

1.10 Control biológico

En la actualidad se considera que la lucha integrada o el manejo integrado de plagas es el único sistema racional y capaz de dar soluciones a largo plazo y de forma sostenible a los problemas de plagas. De acuerdo con la definición de lucha integrada propuesta por la Organización Internacional de Lucha Biológica (O.I.L.B) se debe dar prioridad al empleo de elementos de regulación naturales de las poblaciones de fitófagos frente al empleo de plaguicidas (García-Marí y Ferragut, 2002). Además, debido a las limitaciones legales a las nuevas sustancias biocidas, es de prever que se potencien más aun las técnicas “blandas” como el control biológico (Jacas y Urbaneja, 2008).

En el caso de *P. kellyanus*, debido a su comportamiento de trips invasor, es de esperar que en el ecosistema receptor falten los enemigos naturales

especialistas que puedan responder de una manera densidad-dependiente para mantener reducidos sus niveles poblacionales. Los enemigos naturales residentes que suelen atacar a los trips son depredadores generalistas que se alimentan de gran variedad de artrópodos (Hoddle y Robinson, 2004; Morse y Hoddle, 2006). La información disponible sobre los enemigos naturales de *P. kellyanus* es muy escasa debido a que es una plaga reciente a nivel mundial y hay muy pocos estudios sobre ella (Vassiliou, 2007). En Australia y Nueva Zelanda se ha citado como enemigos naturales en la parte arbórea al parasitoide *Ceranisus menes* (Walker) (Hymenoptera: Eulophidae), a diferentes especies pertenecientes al género *Spilomena* (Hymenoptera: Sphecidae) y a *Megaphragma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). En cuanto a depredadores generalistas, se ha citado a míridos, crisópidos, coccinélicos, trips depredadores como algunas especies de *Haplothrips* (Thysanoptera: Phlaeothripidae), y al ácaro depredador *Anystis baccarum* (Linnaeus) (Prostigmata: Anystidae) (Baker et al., 2002; 2004; Collof et al., 2003; Morton y Proebst, 2003). Pero según dichos autores no parece que estos enemigos naturales tengan un impacto muy importante en la abundancia de las poblaciones de *P. kellyanus*. En Italia se ha encontrado al fitoseido *Amblyseius degenerans* (Berlese) (Mesostigmata: Phytoseiidae) alimentándose del trips (Conti et al., 2001), pero no se tiene información sobre la eficacia en el control.

Debido a que *P. kellyanus* pupa en su totalidad en el suelo (Jamieson y Stevens, 2006; Webster et al., 2006) han despertado interés los posibles depredadores que se encuentran en ese hábitat. En Australia se han realizado ensayos de laboratorio y semicampo donde se ha visto que algunas especies de ácaros depredadores del suelo pueden reproducirse utilizando a *P. kellyanus* como dieta (Barbour, 2003; Crisp y Baker, 2011). Además, hay indicios de que mayores poblaciones de ácaros del suelo en campo (sobre todo del orden Mesostigmata) pueden relacionarse con menores abundancias de *P. kellyanus* en las parcelas (Barbour, 2003; Collof et al., 2003; Jamieson y Stevens 2006; Baker et al., 2011).

1.11 Ácaros depredadores presentes en el suelo

Los ácaros del suelo normalmente escapan a nuestra atención debido a su pequeño tamaño y a que el suelo es un medio muy engorroso para su estudio (Walter y Proctor, 1999). Sin embargo, la acarofauna en el suelo es muy diversa y abundante, llegándose a observar de 50.000 a 250.000 ácaros por metro cuadrado en los primeros 10 cm de suelo (Petersen, 1982; Walter y Proctor, 1999). Los ácaros depredadores que predominan en el suelo pertenecen a los órdenes Prostigmata (**Fig. 7A**) y Mesostigmata (**Fig. 7B**). Los depredadores

Prostigmata presentan una gran variabilidad en su comportamiento de búsqueda. Por otro lado, muchos Mesostigmata se caracterizan por sus movimientos incesantes de forma que pueden localizar fácilmente presas sedentarias o menos móviles como nematodos, huevos de insectos y estados inmaduros de microartrópodos, entre ellos trips (**Fig. 7C**) (Koehler, 1997; Koehler, 1999; Walter y Proctor, 1999; Lindquist et al., 2009).

Algunas especies de Mesostigmata de la familia Laelapidae han demostrado ampliamente su éxito en el control de nematodos, moscas esciáridas (Diptera: Sciaridae) y ácaros de los bulbos *Rhizoglyphus* spp. (van de Bund, 1972; Wright y Chambers, 1994; Koehler, 1997; Enkegaard et al., 1997; Lesna et al., 2000). En el caso concreto de los trips, se han publicado recientemente varios trabajos en los que los laelápidos están mostrando eficacia contra el trips *F. occidentalis* (Berndt et al., 2004; Wiethoff et al., 2004; Thoeming y Poehling, 2006).

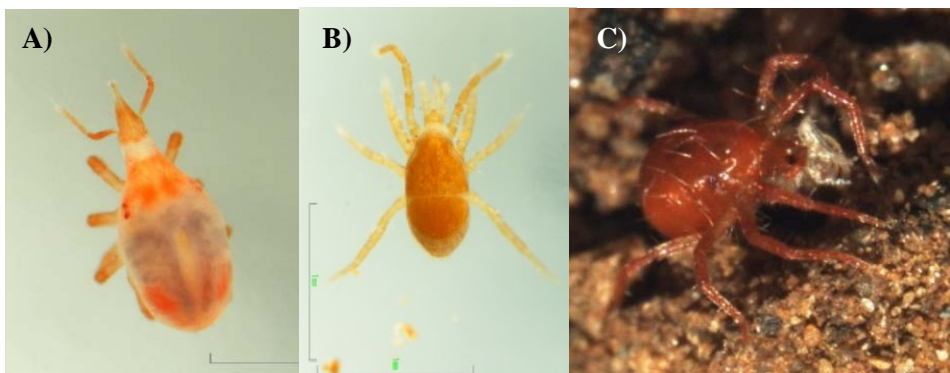


Fig. 7. Ácaro del orden Prostigmata (Familia Bdellidae) (A), ácaro del orden Mesostigmata (Familia Parasitidae) (B) y ácaro mesostigmático depredando una pupa de *Pezothrips kellyanus*.

En cuanto a prospecciones de estos artrópodos depredadores en parcelas de cítricos, se han realizado estudios sobre los ácaros presentes en el suelo en Egipto y en Estados Unidos (California) con el objetivo de buscar depredadores de nematodos fitófagos (Walter y Kaplan 1990a, 1990b, El-Banhawy et al., 2006). En Australia y Sudáfrica se han identificado algunas especies de ácaros presentes en parcelas donde está también *P. kellyanus* u otros trips problemáticos como *S. aurantii* (Grout y Ueckermann, 1999; Halliday, 2003; Baker et al., 2004; Jamieson y Stevens, 2006).

Estamos pues ante un grupo de enemigos naturales prometedor pero poco integrado actualmente en las estrategias de control de plagas. Para poder integrarlos es necesario identificarlos, determinar su abundancia y analizar como les afectan las prácticas agrícolas, en particular el manejo del suelo. La aplicación de mantillo, compost o la presencia de cobertura vegetal perenne en las parcelas se ha relacionado con una mayor mortalidad de trips como *P. kellyanus* o *Scirtothrips perseae* Nakahara, aunque no está claro si la causa es una mayor presencia de depredadores en el suelo u otros factores (Hoddle et al., 2002; Collof et al., 2003; Jamieson y Stevens, 2006). Por otro lado, según varios autores, la deriva al suelo de los tratamientos foliares con clorpirifos reduce considerablemente la abundancia de estos ácaros depredadores que se desarrollan en el suelo (Baker et al. 2004; Baker, 2006).

1.12 Referencias

- Bagnall, R. S. 1916.** Brief descriptions of new Thysanoptera VIII. Ann. Magaz. Nat. Hist. 17: 397-412.
- Baker, G. J. 2006.** Kelly citrus thrips management. Fact sheet. Government of South Australia, primary industries and resources SA.
http://www.sardi.sa.gov.au/_data/assets/pdf_file/0010/44875/kctfact_sheet.pdf
Acceso 16 Julio 2012.
- Baker, G. J., D. J. Jackman, M. Keller, A. MacGregor, y S. Purvis. 2002.** Development of an integrated pest management system for thrips in Citrus. HAL Final Report CT97007.
http://www.sardi.sa.gov.au/pestsdiseases/horticulture/horticultural_pests/kelly_citrus_thrips/research_report_1997-2000. Acceso 16 julio 2012.
- Baker, G. J., M. Keller, P. Crisp, S. Purvis, D. J. Jackman, y D. Barbour. 2004.** The Biological Control of Kelly's Citrus Thrips in Australian Citrus Orchards. Poster at the XXII International Congress of Entomology, 15–21 August 2004, Brisbane, Australia.
- Baker, G. J., M. Keller, P. Crisp, D. J. Jackman, D. Barbour, y S. Purvis. 2011.** The biological control of Kelly's Citrus Thrips, in Australian citrus orchards. IOBC/WPRS Bull. 62: 267-274.
- Barbour, D. 2003.** An evaluation of the predacious behaviour of mites as predators of Kelly's citrus thrips (*Pezothrips kellyanus*). B. Sc. Hons. Thesis, School of Agriculture and Wine. The University of Adelaide, Australia.
- Bayer agroservicios, 2012.** <http://www.agroservicios.bayercropscience.es>. Acceso 17 agosto 2012.
- Bedford, E. C. G. 1998.** Thrips, wind and other blemishes. Citrus Pests in the Republic of South Africa (ed. by E.C.G. Bedford, M.A. van den Berg and E.A. de Villiers), pp. 170-183. ARC-Institute for Tropical and Subtropical Crops, Nelspruit, South Africa.
- Bellam, I. y S. Synda Boulahia-Kheder. 2012.** Inventory of Thrips Species in Citrus Orchards and Assessment of Scarring Fruits in two Citrus-Producing Regions of Tunisia. Tunisian journal of Plant Protection. 7: 1-9.
- Berndt, O., H. -M. Poehling, y R. Meyhöfer. 2004.** Predation capacity of two predatory laelapid mites on soil-dwelling thrips stages. Entomol. Exp. Appl. 112: 107-115.
- Bhatti, J. 1969.** The taxonomic status of *Megalurothrips* Bagnall (Thysanoptera: Thripidae). Orient. Insects 3: 239-244.
- Blank, R. H, y G. S. C. Gill. 1997.** Thrips (Thysanoptera: Terebrantia) on flowers and fruit of citrus in New Zealand. N. Z. J. Crop Hort. Sci. 25: 319-332.

- Chapman, R. F. 1998.** The Insects: structure and function. 4th ed. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Colloff, M. J., G. Fokstuen, y T. Boland. 2003.** Toward the Triple Bottom Line in Sustainable Horticulture: Biodiversity, Ecosystem Services and an Environmental Management System for Citrus Orchards in the Riverland of South Australia. CSIRO Entomology, Canberra. Australia.
- Conti, F., R. Tumminelli, C. Amico, R. Fiscaro, C. Frittitta, G. Perrotta, y R. Marullo. 2001.** Monitoring *Pezothrips kellyanus* on citrus in eastern Sicily, pp. 207-210. Thrips and tospoviruses. *En: Proceedings of the 7th International Symposium on Thysanoptera*, 1-8 July 2001, Reggio Calabria, Italy.
- Conti, F., R. Tumminelli, R. Fiscaro, G. Perrotta, R. Marullo, y G. Liotta. 2003.** An IPM system for new citrus thrips in Italy. IOBC/WPRS Bull. 26: 203-208.
- Costa, L., C. Mateus, R. zur Strassen, y J. Franco. 2006.** Thrips (Thysanoptera) associated to lemon orchards in the Oeste region of Portugal. IOBC/WPRS Bull. 29: 285-291.
- Crisp, P., y G. J. Baker. 2011.** Soil mediated conservation biological control of Kelly's citrus thrips *Pezothrips kellyanus* pupae. IOBC/WPRS Bull. 62: 239-246.
- Del Rivero, J. M. 1988.** Diagnóstico diferencial de algunas lesiones en la corteza de los cítricos y su interés. *Fruticultura Profesional*, 19: 85, 87- 90.
- Ebeling, W. 1959.** Subtropical fruit pests. University of California. Division of agricultural sciences. California, USA.
- El-Banhawy, E. M., A. K. Nasr, and S. I. Afia. 2006.** Survey of predacious soil mites (Acari: Mesostigmata) in citrus orchards of the Nile Delta and Middle Egypt with notes on the abundance of the citrus parasitic nematode *Tylenchulus semipenetrans* (Tylenchida: Tylenchulidae). *Int. J. Trop. Insect Sci.* 26: 64-69.
- Enkegaard, A., M. Sardar, y H. Brødsgaard. 1997.** The predatory mite *Hypoaspis miles*: biological and demographic characteristics on two prey species, the mushroom sciarid fly, *Lycoriella solani*, and the mould mite, *Tyrophagus putrescentiae*. *Entomol. Exp. Appl.* 82: 135-146.
- [EPPO] European Plant Protection Organisation Reporting Service. 2005.** *Scirtothrips aurantii*, *Scirtothrips citri*, *Scirtothrips dorsalis*. EPPO Bull. 35: 353-356.
- [EPPO] European Plant Protection Organisation Reporting Service. 2006.** *Pezothrips kellyanus* (http://www.eppo.org/QUARANTINE/Pest_Risk_Analysis/PRAdocs_insects/06-12760%20DS%20PEZTKE.doc). Acceso 18 junio 2012
- EPPO Global Database.** <http://gd3.eppo.int/organism.php/PEZTKE/distribution/CL>. Acceso 10 septiembre 2012.
- FAO. 2006.** Frutos Cítricos Frescos y Elaborados. Estadísticas anuales 2006. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación.

<http://www.fao.org/es/esc/common/ecg/243/en/bull2006.pdf>. Acceso 14 diciembre de 2011.

- Froud, K. J. 1999.** Evaluation of different coloured sticky traps for monitoring Kelly's citrus thrip (*Pezothrips kellyanus*), pp. 277. *En* Proceedings of the 52nd New Zealand Plant Protection conference, 10-12 August 1999, Auckland, New Zealand.
- Froud, K. J., P. S. Stevens, y D. Steven. 2001.** Survey of alternative host plants for Kelly's citrus thrips (*Pezothrips kellyanus*) in citrus growing regions. *New Zealand Plant Protection* 54: 15-20.
- García-Marí, F. 2012.** Plagas de los cítricos. *Gestión Integrada en los países de clima mediterráneo*. Ed. Phytoma. Valencia, España.
- García-Marí, F., y F. Ferragut Pérez. 2002.** Las plagas agrícolas. 3^a edición. Phytoma, Valencia.
- García-Marí, F., y J. Palacios. 1999.** Las manchas o lesiones irregulares sobre los frutos de cítricos son producidas por el viento, no por trips. *Levante Agrícola* 348: 370-378.
- Grout, T. G., y E. A. Ueckermann. 1999.** Predatory mites (Acari) found under citrus trees in the Southern African lowveld. *Int. J. Acarol.* 25: 235-238.
- Halliday, R. B. 2003.** Appendix 7. Key to some soil- inhabiting Mesostigmata from citrus orchards in the Riverland of South Australia. *En* Colloff, M.J., Fokstuen, G., Boland, T., 2003. Towards the triple bottom line in sustainable horticulture: biodiversity, ecosystem services and an environmental management system for citrus orchards in the Riverland of South Australia. CSIRO Entomology, Canberra, Australia
- Hawaii Department of Agriculture. 2006.** Plant pest control branch. Annual Report. Appendix IV. (http://www.hear.org/species/pezothrips_kellyanus/). Acceso 18 abril 2012.
- Hoddle, M. S., S. Nakahara, y P. A. Phillips. 2002.** Foreign exploration for *Scirtothrips perseae* Nakahara (Thysanoptera: Thripidae) and associated natural enemies on avocado (*Persea americana* Miller). *Biol. Control* 24: 251-265.
- Hoddle, M. S., y L. Robinson. 2004.** Evaluation of factors influencing augmentative releases of *Chrysoperla carnea* for control of *Scirtothrips perseae* in California avocado orchards. *Biol. Control* 31: 268-275.
- Jacas, J. A. y A. Urbaneja. 2008.** Capítulo 1. Origen de las plagas e historia del control biológico. *En* Jacas J.A. y A. Urbaneja (eds.). *Control Biológico de Plagas Agrícolas*. Phytoma España, Valencia, España.
- Jackman, D., M. Keller, G. Baker, A. MacGregor, y S. Purvis. 2011.** The key to controlling Kelly's citrus thrips is finding them early. http://www.sardi.sa.gov.au/_data/assets/pdf_file/0011/45002/control_kct.pdf. Acceso 20 enero 2012.

- Jamieson, L. E., y P. S. Stevens. 2006.** The effect of mulching on adult emergence of Kelly's citrus thrips (*Pezothrips kellyanus*). New Zealand Plant Prot. 59: 42-46.
- Kirk, W. D. J. 1987.** A Key to the Larvae of Some Common Australian Flower Thrips (Insecta, Thysanoptera), With a Host-Plant Survey. Aust. J. Zool. 35: 173-185.
- Koehler, H. H. 1997.** Mesostigmata (Gamasina, Uropodina), efficient predators in agroecosystems. Agric. Ecosyst. Environ. 62: 105-117.
- Koehler, H. H. 1999.** Predatory mites (Gamasina, Mesostigmata). Agric. Ecosyst. Environ. 74: 395-410.
- Lacasa A, y J. M. Llorens. 1998.** Trips y su control biológico II. Ed.: Pisa Ediciones. Alicante, España.
- Lacasa, A., J. M. Llorens, y J. A. Sánchez. 1996.** Un *Scirtothrips* (Thysanoptera: Thripidae) causa daños en los cítricos en España. Bol. San.Veg. Plagas 22: 79-95.
- Lesna, I., C. G. M. Conijn, M. W. Sabelis, y N. M. van Straalen. 2000.** Biological control of the bulb mite, *Rhizoglyphus robini*, by the predatory mite, *Hypoaspis aculeifer*, on lilies: Predator-prey dynamics in the soil, under greenhouse and field conditions. Biocontrol Sci. Technol. 10: 179-193.
- Lewis, T. 1997.** Pest thrips in perspective, pp. 1-13. En T. Lewis (ed.), Thrips as crop pests. CAB International, Wallingford, UK.
- Lindquist, E. E., G. W. Krantz, y D. E. Walter. 2009.** Order Mesostigmata. A Manual of Acarology, Third Edition. Texas Tech University Press, Lubbock, Texas, USA.
- Longo S, 1986.** Thrips on citrus groves. p. 209-216. En: R Cavalloro. and E. Di Martino (Eds). CEC Proc. experts' meeting, Acireale, 26-29 marzo 1985. Integrated pest control in citrus groves. Balkema, Rotterdam, Boston.
- Marullo, R. 1998.** *Pezothrips kellyanus*, un nuovo tripide parassita delle colture meridionali. Informatore Fitopatologico 48: 72-75.
- Milne, J. R., M. Milne, y G. H. Walter. 1997.** A key to larval thrips (Thysanoptera) from Granite Belt stonefruit trees and a first description of *Pseudanaphothrips achaetus* (Bagnall) larvae. Aust. J. Entomol. 36: 319-326.
- Moritz, G. 1997.** Structure, Growth and Development. Chapter 2: 15-64. , pp. 1-13. En T. Lewis (ed.), Thrips as crop pests. CAB International, Wallingford, UK.
- Moritz, G., L. A. Mound, D. C. Morris y A. Goldarazena. 2004.** Pest Thrips of the World on CD-ROM: An Identification and Information System Using Molecular and Microscopical Methods. Lucid. The University of Queensland.
- Morse, J. G., y M. S. Hoddle. 2006.** Invasion biology of thrips. Annu. Rev. Entomol. 51: 67-89.
- Morton, A. y D. Proebst. 2003.** Organic citrus resource guide. Nova Zelândia: Soil and Health Association of New Zealand Inc. and Bio Dynamic Association in New Zealand Inc. (<http://www.organicnz.org/growing-farmers/>). Acceso 2 marzo 2012.

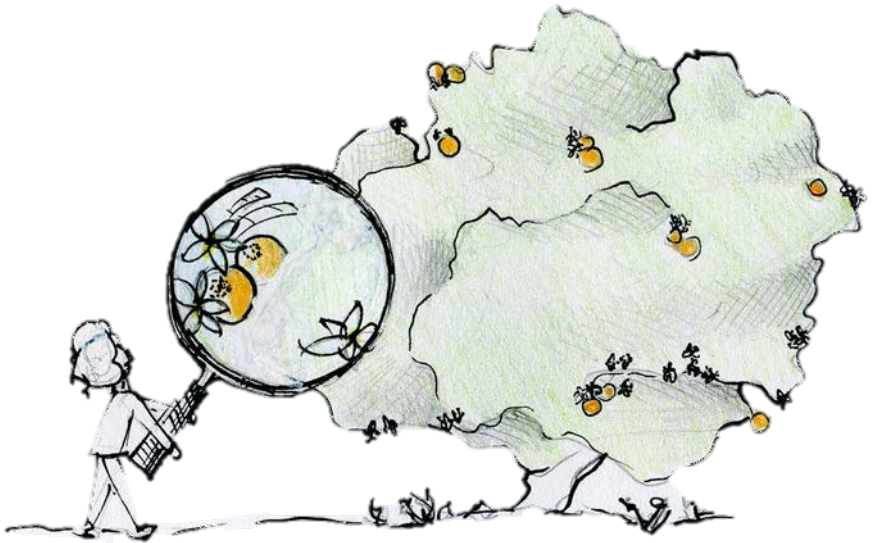
- Mound, L. A. 2007.** Thysanoptera (Thrips) of the World – a checklist. (<http://www.ento.csiro.au/thysanoptera/intro.php>). Acceso 15 febrero 2012.
- Mound, L. A., y P. Gillespie. 1997.** Identification guide to thrips associated with crops in Australia. NSW Agriculture. Orange & CSIRO Entomology, Canberra, Australia.
- Mound, L. A, y D. J. Jackman. 1998.** Thrips in the economy and ecology of Australia, pp. 472-478. *En: Pest Management – Future Challenges, Proceedings of the Sixth Australian Applied Entomological Research Conference* (eds MP Zalucki, RAI Drew & GG White), pp. 472–478. University of Queensland, St Lucia, Australia.
- Mound, L. A, y R. Marullo. 1996.** The thrips of Central and South America (Insecta: Thysanoptera): an introduction. *Mem. Entomol. Int.* 6:1-487.
- Mound, L. A., y A. K. Walker. 1982.** Terebrantia (Insecta: Thysanoptera). *Fauna of New Zealand.* 1: 1-113.
- Navarro Campos, C., C. Marzal, A. Aguilar, y F. Garcia Marí. 2010.** Presencia del microlepidóptero *Anatrachyntis badia* en cítricos: Descripción, comportamiento y daños al fruto. *Levante Agrícola* 402: 270-276.
- Navarro, C., T. Pastor, F. Ferragut, y F. Garcia. 2008.** Trips (Thysanoptera) asociados a parcelas de cítricos en la Comunidad Valenciana: abundancia, evolución estacional y distribución espacial. *Bol. San.Veg. Plagas* 34: 53-64.
- Parker, B. L., y M. Skinner. 1997.** Integrated pest management (IPM) in tree crops, pp. 615-638. *En* T. Lewis (ed.), *Thrips as crop pests.* CAB International, Wallingford, UK.
- Pedigo, L. P. 1999.** *Entomology and Pest Management*, 3rd edn. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA.
- Perrotta, G., y F. Conti. 2008.** A threshold hypothesis for an integrated control of thrips infestation on citrus in South-Eastern Sicily. *IOBC/WPRS Bull.* 38: 204-209.
- Perrotta G, R. Fiscaro, S. Vecchio, D. Cartabellotta, y C. C. Pedrotti. 2004.** Citrus Thrips Monitoring Methods in Eastern Sicily. *Proc. Int. Soc. Citriculture*, 900-903.
- Petersen, H. 1982.** Structure and size of soil animal populations. *Oikos* 39: 306-329.
- Purvis, S. 2002.** Talking Thrips in citrus. Issue 1. http://www.sardi.sa.gov.au/_data/assets/pdf_file/0003/44922/talking_thrips_1.pdf. Acceso 25 marzo 2012
- Purvis, S. 2003.** Talking Thrips in citrus. Issue 3. http://www.sardi.sa.gov.au/_data/assets/pdf_file/0005/44924/talking_thrips_3.pdf. Acceso 25 marzo 2012.
- Reynaud, P. 2010.** Thrips (Thysanoptera). Chapter 13.1. *BioRisk* 4(2): 767–791 (doi: 10.3897/biorisk.4.59) (www.pensoftonline.net/biorisk). Acceso 15 febrero 2012
- Quayle, H. J. 1938.** *Insects of citrus and other subtropical fruits.* Comstock, Ithaca, New York. USA.

- Stern, V. M., R. F. Smith, R. van der Bosch, y K. S. Hagen. 1959.** The Integrated Control Concept. *Hilgardia* 29: 81-101.
- Stevens, P. S., D. Steven, y K. J. Froud. 1998.** Kelly's citrus thrips—a tough customer. *The Orchardist* 71: 58-61.
- Tanigoshi, L. K., y D. S. Moreno. 1981.** Traps for monitoring populations of the citrus thrips, *Scirtothrips citri* (Thysanoptera: Thripidae). *The Canadian Entomologist* 113: 9-12.
- Tena, A., J. Catalán, C. Monzó, J. A. Jacas, y A. Urbaneja. 2009.** Control químico de *Pezothrips kellyanus*, nueva plaga de los cítricos, y sus efectos sobre la entomofauna auxiliar. *Levante Agrícola* 397: 281-289.
- Tena A, J. Catalán, C. Monzó, J. A. Jacas, and A. Urbaneja. 2011.** Chemical control of *Pezothrips kellyanus* in citrus and its side-effects on some important natural enemies. *IOBC/WPRS Bull.* 62: 247–253.
- Thoeming, G., and H. -M. Poehling. 2006.** Integrating soil-applied azadirachtin with *Amblyseius cucumeris* (Acari: Phytoseiidae) and *Hypoaspis aculeifer* (Acari: Laelapidae) for the management of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Environ. Entomol.* 35: 746-756.
- Van de Bund, C. 1972.** Some observations on predatory action of mites on nematodes. *Zasz. Probl. Postepow Nauk Roln* 129: 103-110.
- Vance, T. C. 1974.** Larvae of the Sericothripini (Thysanoptera: Thripidae), with reference to other larvae of the Terebrantia, of Illinois. *Ill. Nat. Hist. Surv. Bull.* 31: 145-208.
- Varikou, K., I. Tsitsipis, V. Alexandrakis, y M. Hoddle. 2009.** Effect of Temperature on the Development and Longevity of *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 102: 835-841.
- Varikou, K., J. A. Tsitsipis, V. Alexandrakis, y L. A. Mound. 2002.** *Pezothrips kellyanus* (Bagnall) (Thysanoptera: Thripidae), a new pest of citrus trees in Crete, p. 33. *En: Proceedings of the VIIth European Congress of Entomology, 7–13 October 2002, Thessaloniki, Greece.*
- Vassiliou, V. A. 2007.** Chemical control of *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae) in citrus plantations in Cyprus. *Crop Prot.* 26: 1579-1584.
- Vassiliou, V. A. 2010.** Ecology and Behavior of *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae) on Citrus. *J. Econ. Entomol.* 103: 47-53.
- Vierbergen, G., H. Kucharczyk, y W. D. J. Kirk. 2010.** A key to the second instar larvae of the Thripidae of the Western Palearctic region. *Tijdschr. Entomol.* 153: 99-160.
- Walter, D. E., y D. T. Kaplan. 1990a.** A guild of thelytokous mites (Acari: Mesostigmata) associated with citrus roots in Florida. *Environ. Entomol.* 19: 1338-1343.
- Walter, D. E., y D. T. Kaplan. 1990b.** Antagonists of plant-parasitic nematodes in Florida citrus. *J. Nematol.* 22: 567-573.

- Walter, D. E., y H. C. Proctor. 1999.** Mites: ecology, evolution and behaviour. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Webster, K. W., P. Cooper, y L. A. Mound. 2006.** Studies on Kelly's citrus thrips, *Pezothrips kellyanus* (Bagnall) (Thysanoptera: Thripidae): sex attractants, host associations and country of origin. *Aust. J. Entomol.* 45: 67-74.
- Wiethoff, J., H. –M. Poehling, y R. Meyhöfer. 2004.** Combining plant- and soil-dwelling predatory mites to optimise biological control of thrips. *Exp. Appl. Acarol.* 34: 239-261.
- Wright, E. M., y R. J. Chambers. 1994.** The biology of the predatory mite *Hypoaspis miles* (Acari: Laelapidae), a potential biological control agent of *Bradysia paupera* (Dipt.: Sciaridae). *Biocontrol* 39: 225-235.
- zur Strassen, R. 1986.** Thysanopteren auf Inseln der Nördlichen Sporaden in der Ägäis (Griechenland) (Insecta: Thysanoptera). *Senckenb. Biol.* 6: 85-129.
- zur Strassen, R. 1996.** Neue daten zur Systematik und Verbreitung einiger westpaläarktischer Terebrantia-Arten (Thysanoptera). *Entomologische Nachrichten und Berichte* 40: 111-118.
- zur Strassen, R. 2003.** Die Terebranten Thysanoptera Europas und des Mittelmeer-Gebietes. *Die Tierwelt Deutschlands* 74: 1-277.

CAPÍTULO 2

Justificación y objetivos



2 Justificación y Objetivos

Pezothrips kellyanus se ha convertido en los últimos años en una nueva plaga para los cítricos del Mediterráneo, causando cicatrices o escarificaciones circulares sobre los frutos que reducen considerablemente su valor comercial. La mayor problemática en el control de este trips es reducir sus poblaciones y daños evitando eliminar los enemigos naturales que mantienen bajo control otras plagas del cultivo.

En la actualidad los avances en la protección de cultivos están basados en las prácticas de la Producción Integrada, que son más eficaces a largo plazo y más responsables frente a las consecuencias ambientales desfavorables. Estas prácticas requieren un conocimiento mayor de las plagas a combatir. Respecto a *P. kellyanus*, al ser una plaga reciente incluso a escala global, se dispone de escasa información publicada sobre su biología y ecología. Se desconocen aspectos importantes de su manejo y control, como el momento del año en que se produce su incremento poblacional o el lugar y la forma en la que pasa los periodos desfavorables. También son desconocidos los factores que pueden influir en la evolución estacional de su abundancia y de los daños producidos.

Ante la necesidad de información sobre el comportamiento de las poblaciones de *P. kellyanus* en nuestras condiciones de cultivo y con el propósito de aportar soluciones para reducir los daños finales a la cosecha de cítricos, se han propuesto los siguientes objetivos:

i - En primer lugar, estudiar la presencia de *P. kellyanus* y la evolución de su abundancia relativa respecto a otras especies de trips en las parcelas de cítricos del País Valenciano.

ii - Proporcionar herramientas para diferenciar *P. kellyanus* del resto de especies de trips presentes en los cítricos, describiendo los estadios larvarios de *P. kellyanus* y realizando una clave que permita reconocer esta especie así como las otras especies plagas de cítricos.

iii - Determinar las abundancias estacionales del trips, en flores o frutitos de cítricos a lo largo del año

iv - Identificar plantas que puedan servir de lugar de reproducción a *P. kellyanus* y que se encuentren en el ecosistema del cultivo de los cítricos

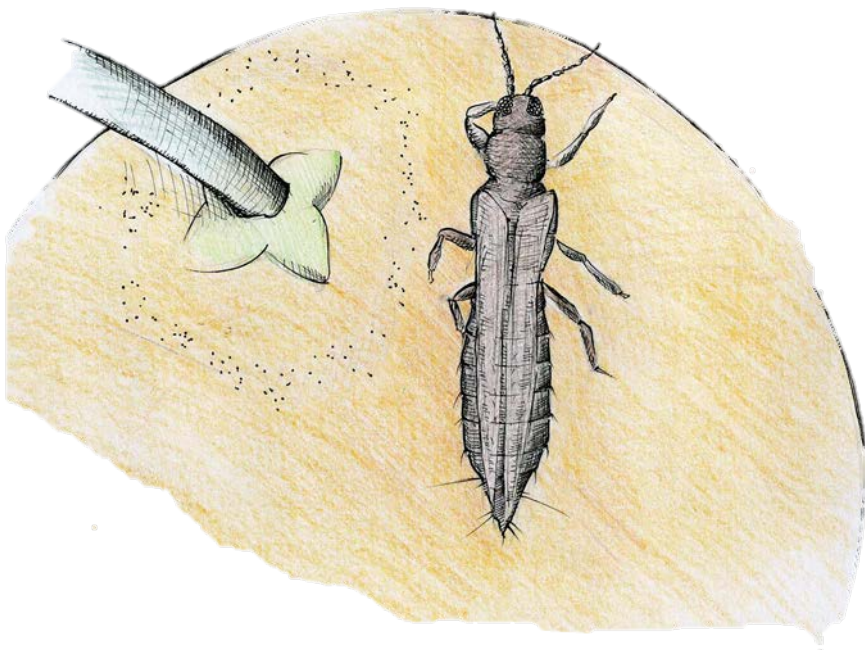
v- Determinar el momento y la cuantía en que se producen los daños y su variación interanual. Estudiar los factores implicados en las variaciones encontradas en los daños finales en cosecha.

vi- Establecer un plan de muestreo y determinar el número de muestras necesarias tanto en el muestreo enumerativo como el de presencia-ausencia y finalmente obtener el umbral económico y el umbral económico ambiental por encima de los cuales se produce daño económico.

vii- Identificar los ácaros depredadores en el suelo de cítricos así como los trips presa que pueda haber en el suelo, estudiando sus abundancias a lo largo del año. También, evaluar el efecto de la aplicación de estiércol y de la deriva de clorpirifos sobre las poblaciones de los ácaros depredadores.

CAPÍTULO 3

Especies de trips en el cultivo de los cítricos;
clave para distinguir la nueva plaga, *Pezothrips*
kellyanus, de otras especies de trips



3 Especies de trips en el cultivo de los cítricos; clave para distinguir la nueva plaga, *Pezothrips kellyanus*, de otras especies de trips

Navarro-Campos, C., A. Aguilar, F. Garcia-Marí. Trips en el cultivo de cítricos: clave para distinguir la nueva plaga, *Pezothrips kellyanus*, de otras especies de trips. Levante Agrícola 410: 119-127.

Resumen: El trips *Pezothrips kellyanus* se identificó por primera vez en el cultivo de los cítricos del este de la Península Ibérica en el año 2005. Cinco años después, el trips se ha convertido en plaga importante de cítricos en varias comarcas de la zona citrícola citada. Los daños ocasionados en el fruto por este insecto consisten en cicatrices circulares alrededor del pedúnculo que afectan a su comercialización. Presentamos en este trabajo un listado de las especies de trips más abundantes entre 2005 y 2009 en parcelas de cítricos de la comarca de La Ribera donde *P. kellyanus* causa daños. Se observa como en el año 2005 el trips más abundante capturado en trampas pegajosas colocadas en los árboles cítricos era *Frankliniella occidentalis* (representando un 69% de los trips encontrados), mientras que en 2008 y en 2009 *P. kellyanus* pasa a ser el trips más abundante (56% en 2008 y 85% en 2009). Esta situación se ha dado en general en todas las parcelas de cítricos del este de la Península. Debido a que los daños los producen las larvas de trips a partir de la caída de pétalos, es destacable el hecho de que en ese momento la práctica totalidad de larvas de trips encontradas (97%) corresponde a *P. kellyanus*. Con el objetivo de diferenciar *P. kellyanus* - y otras especies que han sido citadas como plaga en nuestros cítricos como *Heliethrips haemorrhoidalis* y *Scirtothrips inermis* -, de otras muchas especies de trips que pueden encontrarse en las parcelas de cítricos y que no causan daños, se ha realizado una clave para la separación de las especies de trips encontradas en mayor proporción. La clave se acompaña de fotografías de los caracteres que permiten la identificación.

3.1 Introducción

La especie *Pezothrips kellyanus* fue identificada por primera vez en cítricos de nuestro país en el año 2005. La identificación se publicó en un estudio sobre las especies de trips presentes en 100 parcelas de cítricos distribuidas a lo largo de toda la Comunitat Valenciana (Navarro et al., 2008a). En 1996 se había citado la especie sobre otra planta en Catalunya (zur Strassen, 1996).

Los daños causados por el trips *P. kellyanus* en frutos cítricos se empezaron a observar en el año 2007 (Navarro et al., 2008b). El tipo de lesión que produce este insecto en los frutos varía según el estado de crecimiento del fruto. El daño más importante es el realizado por las larvas al alimentarse del tejido tierno del frutito en crecimiento, sobretudo en la zona protegida bajo el cáliz (Blank y Gill, 1997; Baker et al., 2002; Navarro-Campos et al., 2011). A medida que el fruto crece la zona dañada se va desplazando hacia el exterior haciéndose entonces aparente una cicatriz circular alrededor del pedúnculo. Además, pueden aparecer otras lesiones en la base y parte central del fruto que pueden ser confundidas con el daño causado por el viento (Blank y Gill, 1997). Una vez que el fruto va creciendo y endureciéndose ya no es susceptible de ser dañado por los trips. Esto ocurre aproximadamente a partir de los 4 cm de diámetro (Blank y Gill, 1997). Al madurar los frutos, la piel vuelve a ser sensible a los ataques de este trips produciendo un daño diferente que consiste en decoloraciones o zonas plateadas, generalmente en las zonas de contacto entre frutos o entre el fruto y hojas cercanas (Blank y Gill, 1997; Marullo, 1998). Este daño es menos común pero más severo, pudiendo llegar a cubrir el fruto enteramente (Vassiliou, 2007).

Debido al incremento de los daños observados por esta plaga y al hecho de que en Portugal se había observado que *P. kellyanus* había pasado rápidamente a ser el trips más abundante en parcelas de limoneros en el año 2006 (Costa et al., 2006), se inició un estudio para determinar la abundancia de esta especie en el cultivo de los cítricos con respecto a los otros trips. En el presente trabajo se presenta la abundancia relativa de las especies de trips vinculadas al cultivo de los cítricos en 2008 y 2009, comparándola con los datos obtenidos en 2005 cuando aun no se habían detectado los daños del trips en las parcelas.

Cinco años después de observarse los primeros daños, *P. kellyanus* se ha convertido en plaga importante de cítricos en varias áreas de la citricultura valenciana, como en las comarcas de La Ribera Alta, La Ribera Baixa y La Safor. Los métodos de control en la actualidad se limitan al uso de insecticidas

organofosforados, los cuales a menudo proporcionan pobres resultados, por lo que se están ensayando otros insecticidas, entre ellos productos de origen natural aptos para su uso en cultivos ecológicos (Colloff et al., 2003; Tena et al., 2009; Tena et al., 2011; Vassiliou, 2011). Para saber si es necesario realizar un tratamiento se aconseja realizar muestreos semanales desde la caída de pétalos hasta que el fruto alcanza los 4 cm de diámetro aproximadamente. En estos muestreos se evaluará que porcentaje de 310 frutitos recolectados al azar están ocupados por larvas de trips. Únicamente si se supera el 12% de frutitos ocupados será necesario realizar el tratamiento (Navarro-Campos et al., 2012b). En cuanto a los enemigos naturales, varias especies de ácaros depredadores han sido relacionados con la mortalidad de los estadios del ciclo biológico de *P. kellyanus* que se desarrollan en el suelo (Baker et al., 2004, Navarro-Campos et al., 2012a).

En las parcelas de cítricos de nuestro país se pueden encontrar muchas especies de trips además de *P. kellyanus* (Lacasa y Llorens, 1998; Navarro et al., 2008a). La mayoría de estas especies son fitófagas pero su presencia no está relacionada con daños en el cultivo (Teksam y Tunç, 2009). Las distintas especies de trips pueden competir por el polen y/o néctar presente en las flores de cítricos (Blank y Gill, 1997) y por tanto la introducción de una nueva especie en el ecosistema agrícola puede alterar la composición de especies previamente existente (Marullo, 2009). Con el fin de estudiar la evolución en la composición de las especies, se ha analizado la abundancia relativa de los trips capturados en trampas desde que se identificó por primera vez *P. kellyanus* en cítricos de nuestro país. Además, se ha estudiado cuales de las especies de trips presentes en las parcelas de cítricos, están también en las flores y frutitos junto a *P. kellyanus* y cuales de ellas están criándose en estos órganos. Ya que, la presencia de larvas de trips en una planta, es un indicativo de que la especie se está reproduciendo en ella (Mound y Marullo, 1996).

Por otro lado, pensamos que es de gran interés proporcionar herramientas para poder distinguir las especies que están alimentándose de las flores pero sin dañar el cultivo de las que sí ocasionan pérdidas económicas en cítricos como *P. kellyanus* y también, aunque en menor medida, *Heliothrips haemorrhoidalis* y *Scirtothrips inermis* (Gomez-Clemente, 1951; Longo, 1986; Lacasa et al., 1996; EPPO, 2005). Hay una clave muy completa sobre especies de trips de cítricos que además contiene otros trips que no están presentes en España (Lacasa y Llorens, 1998), pero no incluye a *P. kellyanus* debido a su reciente aparición. Las claves que incluyen a *P. kellyanus* o están en otros idiomas (inglés y alemán), o requieren elevados conocimientos de taxonomía de trips (Mound y Walker, 1982; zur Strassen, 2003; Moritz et al., 2004). Por ello, se ha procedido

a realizar una clave simplificada a partir de las claves existentes y observaciones propias. En la clave aparecen solamente las especies que hemos encontrado en mayor abundancia en los cítricos del este de la Península. El objetivo de la clave es describir y reconocer las especies dañinas: *P. kellyanus*, *H. haemorrhoidalis* y *S. inermis*.

3.2 Material y métodos

Los trips se han muestreado mediante dos procedimientos distintos: muestreo de trampas blancas pegajosas y recolección de los trips en flores y frutitos de cítricos. En cuanto al muestreo de trampas pegajosas, se presentan datos de las abundancias de trips capturados en parcelas de cítricos en las comarcas de la Ribera alta y La Ribera Baixa durante el año 2005, cuando aun no se habían detectado daños producidos por *P. kellyanus* y durante los años 2008 y 2009, cuando en dichas comarcas ya se observaban elevados porcentajes de frutos dañados por el trips. Los datos provienen de dos estudios distintos. En primer lugar, los datos referentes al año 2005 se han obtenido de trampas que formaban parte del procedimiento de actuación e inspección establecido por la Red de Vigilancia Fitosanitaria Citrícola de la Comunidad Valenciana, cuyos objetivos eran la detección de organismos de cuarentena no presentes en la Comunidad Valenciana y el seguimiento de plagas comunes e información de las mismas. En esta red existían 100 parcelas fijas establecidas a lo largo de todo el territorio citrícola valenciano, que es aproximadamente de 180.000 ha. Las trampas eran tipo Delta, de cartón blanco, con una superficie engomada horizontal de 20 x 19 cm. Como atrayente tenían feromona específica de *Ecdytolopha aurantiana* (Lima) (según Navarro et al. 2008a, la feromona no influye en las capturas de trips). Las trampas estaban colgadas de las copas de los árboles, a una altura de 1,5 m, en la cara sur y colocada cada trampa en un árbol distinto. Se han seleccionado las trampas colocadas desde marzo a junio del 2005, muestreadas con una periodicidad de 14 días, en 19 parcelas de cítricos situadas en las comarcas de la Ribera Alta y La Ribera Baixa por estar en las mismas zonas que las parcelas muestradas durante 2008 y 2009. Como comprobamos en un trabajo anterior (Navarro et al. 2008a) las abundancias relativas de los distintos trips son muy parecidas a las encontradas de una forma global en todo el este de la Península.

En segundo lugar, los datos referentes al año 2008 proceden de trampas blancas pegajosas muestreadas semanalmente desde marzo a junio en 14 parcelas de cítricos situadas todas ellas en Alzira (Valencia) donde se encontró el foco original. Las parcelas eran de naranjo, *Citrus sinensis* (L.) Osbeck [incluyendo las variedades Valencia late (cuatro parcelas) y Navel Lane late

(cuatro parcelas)], clementino, *Citrus reticulata* Blanco (dos parcelas), y del híbrido Ortanique, *C. sinensis* (L.) x *C. reticulata* (cuatro parcelas). Las parcelas tenían una superficie comprendida entre 0.5 ha y 2 ha. No se realizaron tratamientos plaguicidas durante los seis meses anteriores al estudio ni durante el periodo de muestreo. Posteriormente en 2009 se siguieron muestreando cuatro de estas parcelas (las que presentaban mayor población de *P. kellyanus*, dos parcelas de Valencia Late y dos parcelas de Ortanique) así como cuatro parcelas más en Polinyà y Riola donde también se habían observado daños (dos parcelas de Navel Lane Late y dos parcelas de Navelina). En cada parcela se colocaban dos trampas blancas pegajosas como las descritas anteriormente.

El muestreo de trips en flores y frutitos se ha realizado semanalmente desde marzo a junio en los años 2008 y 2009 en las mismas parcelas en las que se han muestreado las trampas. Se recolectaban 50 flores y/o frutitos por semana de forma individualizada en cada parcela (14 parcelas en 2008 y 8 parcelas en 2009).

Los trips obtenidos tanto del muestreo de trampas pegajosas como del muestreo de flores y frutitos eran identificados después de su digestión y montaje. Además, para extraer los trips de las trampas pegajosas se utilizaba el disolvente orgánico xileno (si había mucho pegamento en la trampa) o el Histoclear®. Para su digestión se empleaba el líquido de Nesbitt cuyos componentes son agua destilada (25 ml), hidrato de cloral (40 g) y ácido clorhídrico (2,5 ml). El insecto se sumergía en la disolución durante unas horas hasta que observáramos que se había completado el proceso. Para el montaje del insecto se empleaba como solución adhesiva líquido de Heinz, compuesto de alcohol polivinílico (10 g), ácido láctico (35 ml), fenol 15% (25ml), glicerina (10ml), hidrato cloral (20g) y agua destilada (60-80 ml). El examen de los insectos montados se realizó bajo microscopio óptico y con la ayuda de diversas claves de trips: Mound et al., 1976; Mound y Walker, 1982; Kirk, 1987; Milne et al., 1997; Lacasa y Llorens, 1998; Mound y Kibby, 1998; zur Strassen, 2003; Moritz et al., 2004 y Vierbergen et al., 2010. Para la realización de la clave se ha utilizado esta misma bibliografía.

3.3 Resultados y discusión

3.3.1 Abundancia relativa de las especies de trips en cítricos

Al comparar las especies capturadas en trampas blancas entre 2005, 2008 y 2009 vemos que en 2005 la especie más abundante era *F. occidentalis*, mientras que en 2008 y 2009 *P. kellyanus* había pasado a ser la más abundante

(**Tabla 1**). Algo parecido ha ocurrido en otros países mediterráneos como Italia, Grecia o Portugal (Varikou et al., 2002; Conti et al., 2003, Costa et al., 2006; Perrotta y Conti, 2008).

Tabla 1. Trips adultos capturados en trampas blancas pegajosas colocadas en parcelas de cítricos y muestreadas periódicamente desde marzo a junio en 2005 (19 parcelas), 2008 (14 parcelas) y 2009 (8 parcelas). Todas las parcelas muestreadas se encuentran en las comarcas de la Ribera Alta y La Ribera Baixa.

Trampas 2005		Trampas 2008		Trampas 2009	
Especie de trips	%	Especie de trips	%	Especie de trips	%
<i>Frankliniella occidentalis</i>	69.1	<i>Pezothrips kellyanus</i>	55.6	<i>P. kellyanus</i>	84.8
<i>Thrips tabaci</i>	10.7	<i>F. occidentalis</i>	35.9	<i>F. occidentalis</i>	7.3
<i>Chirothrips</i> spp.	9.2	<i>T. tabaci</i>	5.7	<i>T. tabaci</i>	4.6
<i>Melanthrips fuscus</i>	4.5	<i>Aeolothrips</i> spp.	0.7	<i>Chirothrips</i> spp.	0.9
<i>Thrips major</i>	2.0	<i>Chirothrips</i> spp.	0.5	<i>T. major</i>	0.8
<i>Oxythrips ajugae</i>	1.4	<i>T. major</i>	0.5	<i>Thrips fuscipennis</i>	0.4
<i>Aeolothrips</i> spp.	1.3	<i>T. angusticeps</i>	0.4	<i>M. fuscus</i>	0.3
<i>Limothrips cerealium</i>	0.8	<i>M. fuscus</i>	0.3	<i>O. ajugae</i>	0.3
<i>Thrips meridionalis</i>	0.4	<i>Limothrips cerealium</i>	0.2	<i>S. inermis</i>	0.3
<i>Tenothrips frici</i>	0.3	<i>O. ajugae</i>	0.1	<i>Aeolothrips</i> spp.	0.1
<i>Limothrips angulicornis</i>	0.2	<i>T. frici</i>	0.1	<i>Haplothrips</i> sp.	0.1
<i>Thrips angusticeps</i>	0.1	<i>Scirtothrips inermis</i>	0.1	<i>Anaphothrips obscurus</i>	0.1
Otras especies	0.1	Otras especies	0.0	Otras especies	0.0
N total de trips	1620	N total de trips	3090	N total de trips	758

Respecto al resto de especies, encontramos que *Thrips tabaci* presenta un abundancia relativa importante, manteniéndose en segundo lugar en 2005 y en tercero en 2008 y 2009, pero siempre en menor proporción que *F. occidentalis*. Seguidamente, hay varias especies que han sido capturadas en las trampas en proporciones considerables como *Chirothrips* spp, *Thrips major*, *Melanthrips fuscus*, *Aeolothrips* spp y *Oxythrips ajugae*. Estas especies presentan comportamientos alimentarios muy distintos entre sí. Las especies de *Chirothrips* capturadas (*Ch. manicatus* y *Ch. aculeatus*) están asociadas a gramíneas espontáneas y cultivadas (Lacasa y Llorens 1996). *Thrips major* es una especie polífaga que suele encontrarse en cítricos del Mediterráneo (Longo,

1986; Costa et al., 2006; Teksam y Tunç, 2009), incluso en el pasado ha sido relacionada con daños a los frutos cítricos (Bournier, 1963). *Melanthrips fuscus* coloniza las flores de muchas especies de plantas aunque muestra preferencia por las crucíferas, siendo muy abundante en la planta espontánea *Diplotaxis erucooides* (Lacasa y Llorens, 1996). Las especies del género *Aeolothrips* son depredadoras y colonizan las flores de muy diversas plantas para alimentarse tanto de polen como de presas que se encuentren en ellas (ácaros, huevos de pequeños artrópodos u otros trips) (Lacasa y Llorens, 1998). Finalmente, el trips *Oxythrips ajugae* va ligado a la fructificación de *Pinus* spp. (Mound et al., 1976; Goldarazena et al., 1999). Es importante destacar el hecho de que aunque las especies de trips anteriores hayan sido capturadas en trampas situadas en las copas de los árboles cítricos no significa que estén alimentándose del árbol y menos aun actuando como plaga.

Tabla 2. Abundancia relativa de adultos y larvas de trips encontrados en flores y frutitos de cítricos muestreados semanalmente en 14 parcelas en 2008 y en ocho parcelas en 2009. Las parcelas estaban todas situadas en las comarcas de la Ribera Alta y La Ribera Baixa.

Muestreo de flores 2008-2009			Muestreo de frutitos 2008- 2009		
Especies de trips	% adultos	% larvas	Especies de trips	% adultos	% larvas
<i>P. kellyanus</i>	71.4	90.4	<i>P. kellyanus</i>	94.0	97.8
<i>F. occidentalis</i>	20.4	4.1	<i>T. tabaci</i>	3.8	0.2
<i>T. tabaci</i>	5.3	3.4	<i>F. occidentalis</i>	1.7	1.6
<i>T. major</i>	2.4	1.4	<i>T. major</i>	0.1	0.3
<i>T. angusticeps</i>	0.5	0.0	<i>T. angusticeps</i>	0.1	0.0
<i>T. meridionalis</i>	0.1	0.0	<i>Chirothrips</i>	0.1	0.0
<i>Haplothrips</i> sp.	0.1	0.1	<i>Stenothrips</i>	0.1	0.0
<i>M. fuscus</i>	0.0	0.2	<i>M. fuscus</i>	0.0	0.0
N total de trips	4589	3110	N total de trips	768	974

En la **tabla 2** podemos observar las abundancias relativas de los adultos y larvas de trips capturados en las flores y frutitos de cítricos durante el 2008 y 2009. Las especies que encontramos en mayor proporción son *P. kellyanus*, *F. occidentalis*, *T. tabaci* y *T. major*. También hemos encontrado estadios inmaduros de estas especies (**Tabla 2**), por lo que claramente se están alimentando y criando en los cítricos. Ahora bien, de acuerdo con Teksam y

Tunç (2009) los únicos trips que dañan los frutos de cítricos son los que se alimentan de los frutos en desarrollo durante o justo después de la caída de pétalos. En este sentido, podemos ver en la tabla como casi la totalidad de trips encontrados en frutos corresponden a *P. kellyanus* (el 90% de adultos y el 98% de larvas). Se ha demostrado que, en el caso de *P. kellyanus*, los estadios larvarios son los mayores responsables del daño producido en cítricos (Baker et al. 2002 y Navarro-Campos et al., 2011), por lo que es muy significativo que sea despreciable la cantidad de larvas encontradas en frutos de otras especies que estaban presentes en las flores como *F. occidentalis*, *T. tabaci* y *T. major*.

3.3.2 Identificación de las especies de trips de cítricos

A continuación se presenta una clave para identificar los adultos de las especies de trips del orden Terebrantia que más comúnmente se pueden encontrar en cítricos de la Comunitat Valenciana.

Antes de iniciar la clave es conveniente tener varios individuos de la especie a identificar y si es posible de los dos sexos. La clave está realizada para identificar las hembras, pero en algunos casos se describen características de los machos. En cada paso se tiene que escoger entre los dos párrafos correspondientes a cada número. Al final de la clave hay fotografías del aspecto general de las especies más comunes.

Debido a que en la presente clave no están incluidas todas las especies de trips que se pueden encontrar en los cítricos, existe la posibilidad de que se llegue a una especie teniendo individuos de otra especie. Para evitar esto es conveniente asegurarse de que cumple todas las características indicadas en la clave. Los caracteres que más nos pueden servir para confirmar la especie, según nuestra opinión, son el número y disposición de las setas situadas sobre la nervadura principal del ala, la forma y disposición de las microsetas en el borde posterior de segmento abdominal VIII y el patrón que se observa en el metanoto, ya que es como una huella dactilar de la especie. El observar la forma de las áreas glandulares de abdomen del macho también será de gran utilidad. Si aun así existen dudas con la identificación, sería recomendable comprobarla con una clave más completa como la de Lacasa y Llorens (1998).

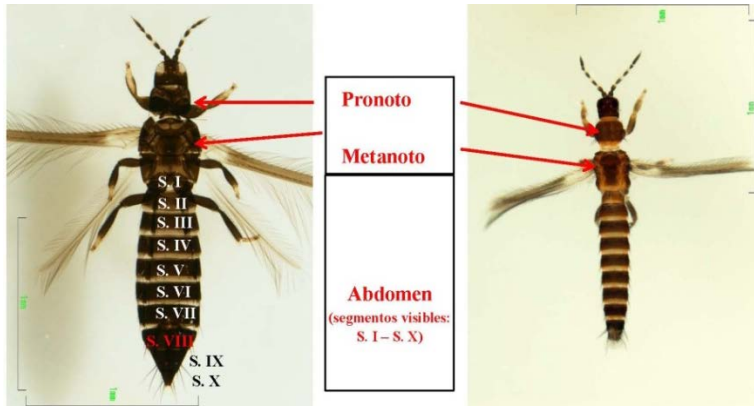


Fig. 1. *P. kellyanus* hembra

Fig. 2. *P. kellyanus* macho

1. Extremo del abdomen en forma de tubo en los dos sexos (**Fig. 3 y 4**), alas (si están presentes) sin nervaduras longitudinales (**Fig. 5**).....orden TUBULIFERA

Parte final del abdomen **NO** en forma de tubo, en las hembras presenta forma apuntada y con un oviscapto en forma de sierra (**Fig. 1 y 23**) y en los machos termina en forma roma (**Fig. 2 y 26**) (no confundir el oviscapto de la **Fig. 23** con el edeago del macho de la **Fig. 26**)..... orden TEREBRANTIA (2)

2. Antena con 9 segmentos, en ocasiones es necesario fijarse bien para distinguir los tres últimos (**Fig. 6**). Ala anterior ancha con las nervaduras muy marcadas, presentando varias transversales (**Fig. 7**) (3)

Antena con 7-8 segmentos (**Fig. 8**). Ala anterior estrecha con 1 sola nervadura transversal difícil de ver (**Fig. 9**) (4)

3. Pronoto (parte superior del tórax) sin setas largas (**Fig. 10**). Alas con varias bandas transversales oscuras (**Fig. 11**) *Aeolothrips* sp.

Pronoto con setas largas (**Fig. 12**). Alas uniformemente oscurecidas excepto en la base (**Fig. 7**)..... *Melanthrips fuscus*

4. Segmento terminal de la antena alargado (**Fig. 13**). Cabeza y tórax con toda la superficie con pequeñas protuberancias (**Fig. 14**). Cuerpo oscuro y patas amarillas. El macho es difícil de ver *Heliothrips haemorrhoidalis*

Sin las características anteriores..... (5)

5. Superficie de los segmentos abdominales con numerosas microsetas y con 1 línea de color marrón oscuro entre los segmentos (**Fig. 15**). Antena con 8 segmentos de color gris oscuro excepto el primero que es más claro (el primero es difícil de ver) (**Fig. 16**). Cabeza y pronoto con estrías muy juntas entre sí. (**Fig. 17**) Color amarillo claro, tamaño < 1.5 mm*Scirtothrips inermis*

Sin las características anteriores.....(6)

6. Base del pronoto ensanchada y con dos pares de largas setas, cabeza más pequeña que el pronoto (**Fig. 18**), patas anteriores ensanchadas y alas muy finas *Chirothrips* spp.

Sin las características anteriores..... (7)

7. Pronoto rectangular con **0 o 1** seta larga en cada ángulo posterior del pronoto (**Fig. 19 y 21**).....(8)

Pronoto con 2 setas en el ángulo posterior de cada lado del pronoto (si el espécimen está deteriorado puede faltar alguna seta pero se distinguirá el poro grande) (**Fig. 22**).....(10)

8. Pronoto sin ningún par de largas setas en el borde posterior (**Fig. 19**).....
.....*Anaphothrips* spp

Pronoto con 1 par de largas setas en el borde posterior del pronoto(9)

9. Hembra con 2 espinas gruesas en la parte final del abdomen (**Fig. 20**), cabeza igual de larga que ancha (**Fig. 21**). Macho áptero *Limothrips* spp.

Sin las características anteriores. Coloración variable del claro a marrón. Segmento abdominal VIII sin setas en el borde posterior (**Fig. 23**). Normalmente en flores de arboles forestales..... *Oxythrips* sp. (**Figuras 24 y 25: Oxythrips ajugae** hembra, **Fig. 26: O. ajugae** macho)

10. Laterales del segmento abdominal VIII con setas alineadas en **una única** estructura en forma de peine a cada lado (**Fig. 28, 31, 37, 41 y 44**)(11)

Laterales del segmento abdominal VIII sin formar una estructura en forma de peine a cada lado, si hay setas están formando varias filas de setas o grupos irregulares (**Fig. 49, 50, 51 y 55**).....(17)

11. Alas anteriores con una fila **continua** de setas sobre la nervadura principal (1ª nervadura)(**Fig. 27**). Laterales del segmento abdominal VIII con las

estructuras en forma de peine situadas sobre el espiráculo, cercanas a la parte superior del segmento (**Fig. 28**). Pronoto con grandes setas en la parte superior (**Fig. 29**). Antena con 8 segmentos..... *Frankliniella* (12)

Alas anteriores con una fila interrumpida de setas sobre la nervadura principal (**Fig. 30**). Laterales del segmento abdominal VIII con las estructuras en forma de peine situadas bajo el espiráculo, cercana a la base del segmento abdominal (**Fig. 31**). Pronoto sin grandes setas en la parte superior (**Fig. 32**). Antena con 7-8 segmentos *Thrips* (13)

12. Coloración del cuerpo variable, segmento antenal I más claro que el II (**Fig. 29**). Base del segmento abdominal VIII portando una fila completa de microsetas con la base ensanchada (**Fig. 28**). Cabeza corta no expandida enfrente de los ojos. Metanoto con dos poros y con reticulación en el centro (**Fig. 33**)..... *Frankliniella occidentalis*

Cuerpo de color oscuro, segmentos antenales I y II oscuros. Segmento abdominal VIII con la fila de setas diferente al anterior. Metanoto sin poros y con una pauta distinta al de la **Fig 33** otras especies de *Frankliniella*

13. Segmentos del abdomen en su parte ventral con setas solo en el borde posterior (**Fig. 34**). Antenas con 7 segmentos (14)

Segmentos del abdomen en su parte ventral con setas en la zona central del además de en el borde posterior (**Fig. 35**). Antenas con 7-8 segmentos (16)

14. Antena con segmento I más claro que el II (**Fig. 36**). Ala con 3-6 setas en la parte distal de la vena principal, siendo lo usual 4, Borde posterior del segmento del abdomen VIII con una fila completa de largas microsetas (**Fig. 37**). La coloración del cuerpo puede variar de amarillo a marrón. Metanoto con el patrón de la **figura 38**). El macho presenta unas áreas glandulares en el abdomen de 6-10 veces más largas que anchas (**Fig. 39**)..... *Thrips tabaci*

Antena con el primer segmento del mismo color que el segundo (15)

15. Antena con los dos primeros segmentos de color claro. Ala anterior con la parte distal de la nervadura principal llevando 2-3 setas. Borde posterior del segmento del abdomen VIII con una fila completa de largas microsetas. Cuerpo de color claro con las setas oscuras *Thrips flavus*

Antena con los dos primeros segmentos de color oscuro (**Fig. 32**). Ala con la parte distal de la vena principal llevando 3 setas (**Fig. 30**). Borde posterior del segmento del abdomen VIII con la fila de microsetas incompleta, faltando en su

parte central (**Fig. 31**). La coloración del cuerpo y de las alas es variable. Metanoto con el patrón de la figura (**Fig. 40**).....*Thrips major*

16. Antena con 7 segmentos, siendo el segmento III de color claro, cuerpo de color marrón o marrón oscuro en ambos sexos. Borde del segmento VIII del abdomen con varias microsetas surgiendo de forma agrupada de una base común (**Fig. 41**). Metanoto con estriaciones longitudinales sin poros en su zona posterior (**Fig. 42**)..... *Thrips angusticeps*

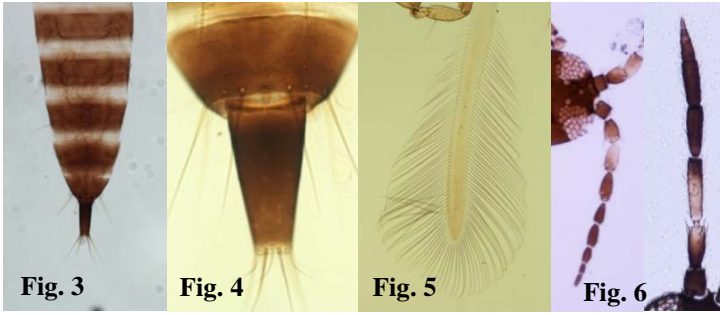
Antena con 8 segmentos, siendo el III de color más claro que el resto (**Fig. 43**). Borde del segmento VIII del abdomen con una fila continua de fuertes microsetas (**Fig. 44**). Metanoto con estriaciones longitudinales como en *T. angusticeps* pero llevando dos poros en su zona posterior (**Fig. 45**).....
.....*Thrips meridionalis*

17. Fila continua de setas en la nervadura principal del ala (**Fig. 46**). Parte interna de la tibia anterior con 1-2 ganchos o dientes. Segmento antenal VI con el cono sensorial con la base alargada, unido en toda su longitud al segmento (**Fig. 48**). Agrupaciones irregulares de setas en el segmento abdominal VIII (**Fig. 49**)*Odontothrips* sp.

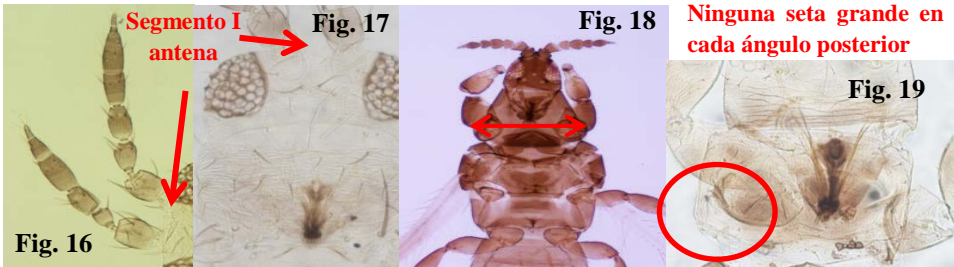
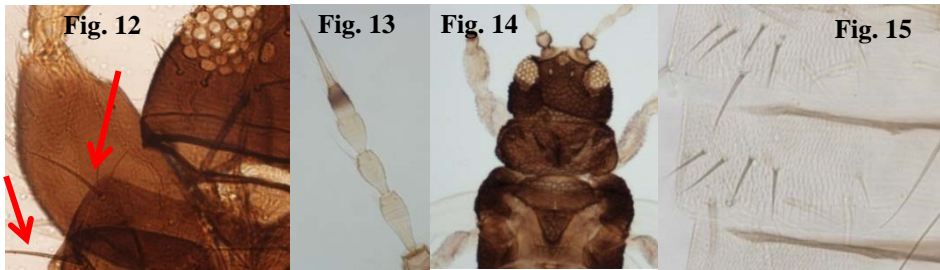
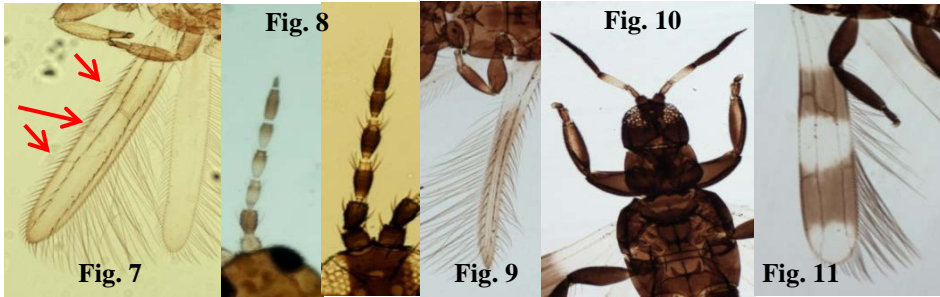
Fila de setas en la nervadura principal del ala incompleta (**Fig. 47**). Segmento antenal VI con el cono sensorial sin la base alargada.....(18)

18. Agrupaciones irregulares de setas en cada lateral del segmento abdominal VIII (**Fig. 50** y **51**). Borde posterior de dicho segmento con una línea interrumpida de microsetas (**Fig. 50**). Antenas oscuras excepto las uniones de los segmentos que son transparentes (**Fig. 1** y **2**). Alas oscurecidas excepto en la base (**Fig. 1** y **2**). Macho con segmentos abdominales con muchas áreas pequeñas glandulares (**Fig. 52**) y segmento VI de la antena alargado (**Fig. 53**). Metanoto con poros y con la parte central débilmente reticulada (**Fig. 54**)
..... *Pezothrips kellyanus*

Agrupaciones irregulares de pocas setas en cada lateral del segmento abdominal VIII (**Fig. 55**). Patas anteriores con el fémur engrosado y las tibias más claras que el resto de patas (**Fig. 56**). Segmentos de la antena 1 y 2 y 6-8 más oscuro que el resto (**Fig. 57**). Metanoto con la reticulación gruesa (**Fig. 58**). Macho con pequeñas áreas glandulares en los segmentos abdominales III- VII
.....*Tenothrips frici*



} del 6° al 9° segmento



Segmento I antena

Ninguna seta grande en cada ángulo posterior

Fig. 20 1 seta grande en cada ángulo posterior

Fig. 22 2 setas grandes en cada ángulo posterior

Borde posterior sin setas

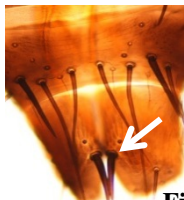


Fig. 20

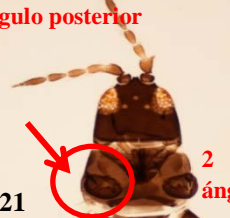


Fig. 21



Fig. 22

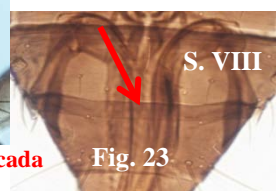
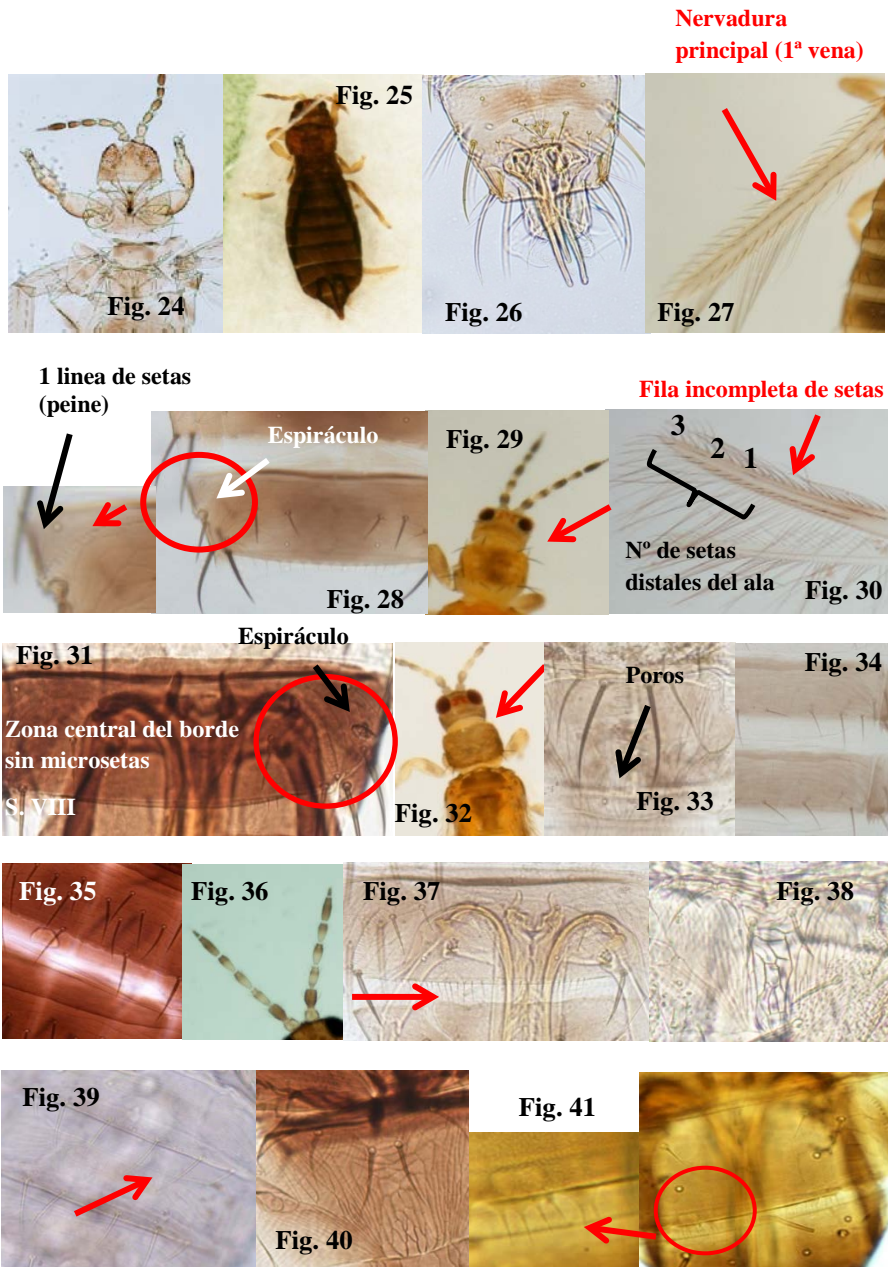
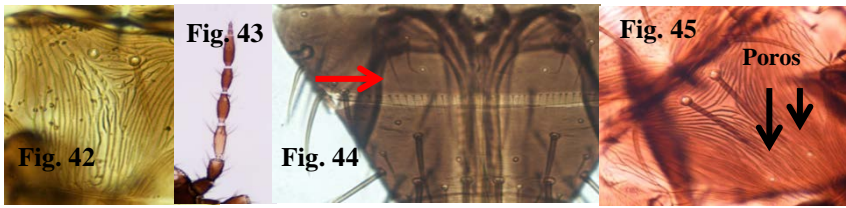


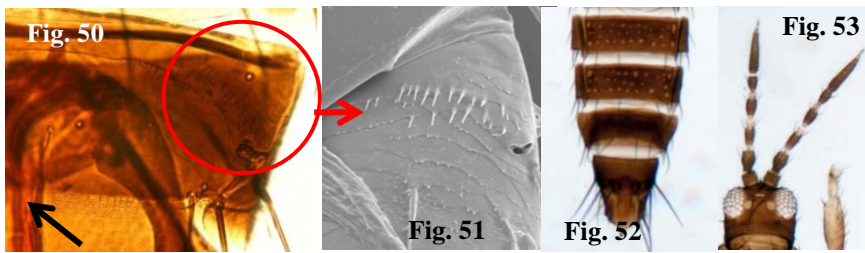
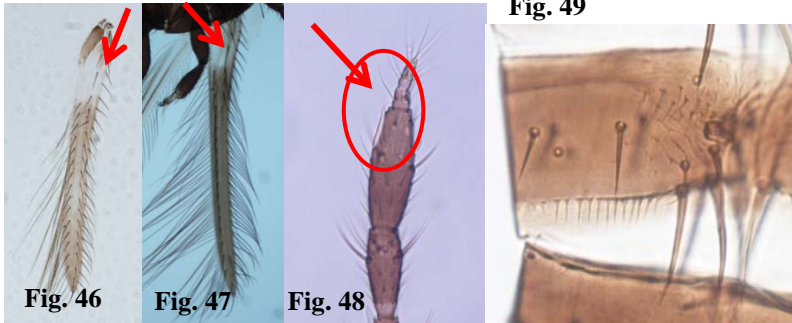
Fig. 23

S. VIII

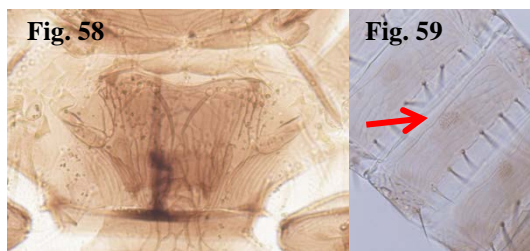
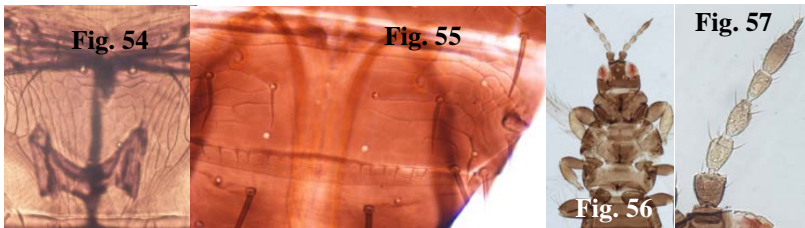




Nervadura principal



Zona central sin microsetas





Aeolothrips
hembra



Aeolothrips
macho



Frankliniella
occidentalis
hembra



F. occidentalis
macho



Heliothrips
haemorrhoidalis
hembra



Melanthrips
fuscus hembra



Scirtothrips
inermis hembra



Scirtothrips citri
hembra



Tenothrips frici
hembra



Tenothrips major
hembra



Thrips sp. macho



Thrips tabaci
hembra

Agradecimientos

Los autores agradecen a Altea Calabuig las sugerencias sobre la clave.

3.4 Referencias

- Baker, G. J., D. J. Jackman, M. Keller, A. MacGregor, y S. Purvis. 2002.** Development of an integrated pest management system for thrips in Citrus. HAL Final Report CT97007.
http://www.sardi.sa.gov.au/pestsdiseases/horticulture/horticultural_pests/kelly_citrus_thrips/research_report_1997-2000. Acceso 16 Julio 2012.
- Baker, G. J., M. Keller, P. Crisp, S. Purvis, D. J. Jackman, y D. Barbour. 2004.** The Biological Control of Kelly's Citrus Thrips in Australian Citrus Orchards. Poster at the XXII International Congress of Entomology, 15–21 August 2004, Brisbane, Australia.
- Blank, R. H, y G. S. C. Gill. 1997.** Thrips (Thysanoptera: Terebrantia) on flowers and fruit of citrus in New Zealand. *N. Z. J. Crop Hort. Sci.* 25: 319-332.
- Bournier, A. 1963.** Un nouveau déprédateur des agrumes en Afrique du Nord: *Thrips major* Uzel. *Re. Path. Veg.* 42: 119-125.
- Colloff, M. J., G. Fokstuen, y T. Boland. 2003.** Toward the Triple Bottom Line in Sustainable Horticulture: Biodiversity, Ecosystem Services and an Environmental Management System for Citrus Orchards in the Riverland of South Australia. CSIRO Entomology, Canberra, Australia.
- Conti, F., R. Tumminelli, R. Fiscaro, G. Perrotta, R. Marullo, y G. Liotta. 2003.** An IPM system for new citrus thrips in Italy. *IOBC/WPRS Bull.* 26: 203-208.
- Costa, L., C. Mateus, R. zur Strassen, y J. Franco. 2006.** Thrips (Thysanoptera) associated to lemon orchards in the Oeste region of Portugal. *IOBC/WPRS Bull.* 29: 285-291.
- [EPPO] European Plant Protection Organisation Reporting Service. 2005.** *Scirtothrips aurantii*, *Scirtothrips citri*, *Scirtothrips dorsalis*. *EPPO Bull.* 35: 353-356.
- Goldarazena, A., L. A. Mound, y R. Jordana. 1999.** Introducción a la fauna de los Tisanópteros (Insecta, Thysanoptera) del País Vasco, sus plantas hospedadoras y su distribución. *I Gipuzkoa. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Biol.)* 95: 51-57.
- Gomez-Clemente, F. 1952.** Un tisanóptero causante de daños en las naranjas de algunas zonas de Levante. *Bol.Pat. Veg. y Ent. Agr.* 19: 135-146
- Kirk, W. D. J. 1987.** A Key to the Larvae of Some Common Australian Flower Thrips (Insecta, Thysanoptera), With a Host-Plant Survey. *Aust. J. Zool.* 35: 173-185.
- Lacasa, A, y J. M. Llorens. 1996.** Trips y su Control Biológico I. Pisa Ediciones. Alicante, España.

- Lacasa, A., J. M. Llorens, y J. A. Sánchez. 1996.** Un *Scirtothrips* (Thysanoptera: Thripidae) causa daños en los cítricos en España. Bol. San.Veg. Plagas 22: 79-95.
- Lacasa A, y J. M. Llorens. 1998.** Trips y su control biológico II. Ed.: Pisa Ediciones. Alicante, España.
- Longo S, 1986.** Thrips on citrus groves. p. 209-216. En: R Cavalloro. and E. Di Martino (Eds). CEC Proc. experts' meeting, Acireale, 26-29 marzo 1985. Integrated pest control in citrus groves. Balkema, Rotterdam, Boston.
- Marullo, R. 1998.** *Pezothrips kellyanus*, un nuovo tripide parassita delle colture meridionali. Informatore Fitopatologico 48: 72-75.
- Marullo, R. 2009.** Host-plant ranges and pest potential: habits of some thrips species in areas of southern Italy. Bulletin of Insectology 62: 253-255.
- Milne, J. R., M. Milne, y G. H. Walter. 1997.** A key to larval thrips (Thysanoptera) from Granite Belt stonefruit trees and a first description of *Pseudanaphothrips achaetus* (Bagnall) larvae. Aust. J. Entomol. 36: 319-326.
- Moritz, G., L. A. Mound, D. C. Morris y A. Goldarazena. 2004.** Pest Thrips of the World on CD-ROM: An Identification and Information System Using Molecular and Microscopical Methods. Lucid. The University of Queensland. Australia.
- Mound, L. A, y R. Marullo. 1996.** The thrips of Central and South America (Insecta: Thysanoptera): an introduction. Mem. Entomol. Int. 6:1-487.
- Mound, L.A., G. D. Morison, B. R. Pitkin, J. M. Palmer. 1976.** Thysanoptera. Handbooks for the identification of British insects. Royal Entomological Society, London 1: 1-79.
- Mound, L. A., y A. K. Walker. 1982.** Terebrantia (Insecta: Thysanoptera). Fauna of New Zealand. 1: 1-113.
- Mound L.A., y K. Kibby. 1998.** Thysanoptera: An Identification Guide. Ed: C.A.B. International. 2nd edition. New York. USA.
- Navarro, C., T. Pastor, F. Ferragut, y F. Garcia. 2008a.** Trips (Thysanoptera) asociados a parcelas de cítricos en la Comunidad Valenciana: abundancia, evolución estacional y distribución espacial. Bol. San.Veg. Plagas 34: 53-64.
- Navarro, C., A. Aguilar, and F. Garcia Marí. 2008b.** *Pezothrips kellyanus*: trips causante de daños en frutos de cítricos. Levante Agrícola 392: 298-303.
- Navarro-Campos, C., A. Aguilar, and F. Garcia-Marí. 2011.** Population trend and fruit damage of *Pezothrips kellyanus* in citrus orchards in Valencia (Spain). IOBC/WPRS Bull. 62: 285-292.
- Navarro Campos C, A. Aguilar, y F. García Marí. 2012a** Acarofauna del suelo en parcelas de cítricos. Su potencial como enemigos naturales del trips *Pezothrips kellyanus*. Levante Agrícola 409: 64-68.

- Navarro-Campos, C., A. Aguilar, and F. Garcia-Marí. 2012b.** Aggregation Pattern, Sampling Plan and Intervention Threshold for *Pezothrips kellyanus* in Citrus Groves. *Entomol. Exp. Appl.* 142: 130-139.
- Perrotta, G., y F. Conti. 2008.** A threshold hypothesis for an integrated control of thrips infestation on citrus in South-Eastern Sicily. *IOBC/WPRS Bull.* 38: 204-209.
- Tena, A., J. Catalán, C. Monzó, J. A. Jacas, y A. Urbaneja. 2009.** Control químico de *Pezothrips kellyanus*, nueva plaga de los cítricos, y sus efectos sobre la entomofauna auxiliar. *Levante Agrícola* 397: 281-289.
- Tena A, J. Catalán, C. Monzó, J. A. Jacas, and A. Urbaneja. 2011.** Chemical control of *Pezothrips kellyanus* in citrus and its side-effects on some important natural enemies. *IOBC/WPRS Bull.* 62: 247-253.
- Teksam, I., and I. Tunç. 2009.** An analysis of Thysanoptera associated with citrus flowers in Antalya, Turkey: Composition, distribution, abundance and pest status of species. *Appl. Entomol. Zool.* 44: 455-464.
- Varikou, K., J. A. Tsitsipis, V. Alexandrakis, y L. A. Mound. 2002.** *Pezothrips kellyanus* (Bagnall) (Thysanoptera: Thripidae), a new pest of citrus trees in Crete, p. 33. *In: Proceedings of the VIIth European Congress of Entomology, 7–13 October 2002, Thessaloniki, Greece.*
- Vassiliou, V. A. 2007.** Chemical control of *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae) in citrus plantations in Cyprus. *Crop Prot.* 26: 1579-1584.
- Vassiliou, V. A. 2011.** Botanical Insecticides in Controlling Kelly's Citrus Thrips (Thysanoptera: Thripidae) on Organic Grapefruits. *J. Econ. Entomol.* 104: 1979-1985.
- Vierbergen, G., H. Kucharczyk, y W. D. J. Kirk. 2010.** A key to the second instar larvae of the Thripidae of the Western Palearctic region. *Tijdschr. Entomol.* 153: 99-160.
- zur Strassen, R. 1996.** Neue daten zur Systematik und Verbreitung einiger westpaläarktischer Terebrantia-Arten (Thysanoptera). *Entomologische Nachrichten und Berichte* 40: 111-118.
- zur Strassen, R. 2003.** Die Terebranten Thysanoptera Europas und des Mittelmeer-Gebeties. *Die Tierwelt Deutschlands* 74: 1-277.

CAPÍTULO 4

Population trend and fruit damage of *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae) in citrus orchards in Valencia (Spain)



4 Population trend and fruit damage of *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae) in citrus orchards in Valencia (Spain)

Navarro-Campos, C., A. Aguilar, F. Garcia-Mari. 2011. Population trend and fruit damage of *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae) in citrus orchards in Valencia (Spain). IOBC/WPRS Bulletin 38: 204-209.

Abstract: Damage produced by thrips (Thysanoptera) has been traditionally considered rare or absent in Spanish citrus orchards. However, *Pezothrips kellyanus* (Bagnall) was first observed in Alzira (Valencia province) in 2007 damaging citrus fruits. Since then, the pest has spread to other citrus areas in eastern Spain causing important damage. Worldwide, *P. kellyanus* has emerged as a citrus pest during the last decade. Its presence and fruit-scarring damage in citrus orchards has been recorded since the 1990s in Australia, New Zealand and some Mediterranean countries. Nowadays, some basic aspects of its biology, which are necessary for the adequate management of the pest, still remain poorly understood. In order to study the relationship between the seasonal trend of its different development stages and fruit damage, *P. kellyanus* populations were monitored in several citrus orchards using different sampling methods (aerial and ground sticky traps, Berlese funnels and visual inspection), during 2008 and 2009. Seasonal trends in relative abundances of different development stages were studied in oranges, lemons and jasmines. KCT populations were already established on the citrus trees prior to the flowering period, overwintering in the contact area between mature fruits. KCT individuals were captured on citrus orchards all year round, exploiting alternative hosts for breeding and feeding other than citrus flowers or mature citrus fruits, such as plants of *Jasminum officinale* L. The utility of different sampling methods to estimate the number of generations and to predict the damage to fruits is discussed.

4.1 Introduction

Kelly's citrus thrips (*Pezothrips kellyanus*, Bagnall; thereafter KCT), (Thysanoptera: Thripidae) became a serious pest of citrus fruits in southern Australia, New Zealand and parts of the Mediterranean basin during the last decade (Blank and Gill, 1997; Mound and Jackman, 1998; Conti et al., 2001; Varikou et al., 2002). KCT was first identified in Spain in 1996 (zur Strassen, 1996). But it was not until 2005 when was recorded in Spanish citrus orchards and fruit damage was first observed in 2007 (Navarro et al., 2008). Up to date, available information about the general biology, ecology, and population management of the species is scarce due to its novelty as international pest (Vassiliou, 2010).

KCT is a flower-living species. Adults appear to need to establish on flowers for breeding purposes (Blank and Gill, 1997). Females lay the eggs on the flower parts, mainly in the petals. The mature second-instar larvae drop from the citrus canopy to the leaf litter and soil (Baker et al., 2002). Feeding by KCT on young and mature fruit causes scurfing and rind blemish (Baker, 2006). Most of the scurfing damage is caused by its larval stages which were regularly observed feeding on small lemon, orange, and occasionally tangelo fruitlets (Blank and Gill, 1997). The period of greatest risk of scurfing occurs during the first four to five weeks after petal fall (Baker et al., 2002). Otherwise, KCT larvae were found on several non citrus hosts (Froud et al., 2001; Baker, 2006) but since these hosts are uncommon in orchards, it's seems that its populations in citrus are primarily cycling within the different citrus varieties (Baker, 2006). Nevertheless, in our study area, most of the orchards are situated near residential areas with lemon trees and ornamental hosts like *Jasminum sp.*, *Pittosporum tobira*, and *Lonicera japonica*, which are primary hosts of KCT (Mound and Jackman 1998, Froud et al., 2001, EPPO, 2006). Information on population trends in this type of agroecosystem is required.

Moreover, the efficacy of several trapping techniques was compared: thrips counts in flowers and fruitlets, colored-sticky traps, and ground traps. Direct fruit counting seems to be the best method for treatment decision but other methods are also required for evaluating KCT relative abundance when citrus is not fruitfulling (Stevens and Froud, 1998; Conti et al., 2003; Baker, 2006; Perrotta and Conti, 2008). White sticky cards provide a simple method of obtaining relative estimations of KCT population densities (Froud, 1999; Conti et al., 2001; Vassiliou, 2010). Further research is needed to analyze the relationship between trap captures and fruit scarring at the end of the season (Conti et al., 2001).

Therefore, the objectives of this work were: (1) to study the spread of KCT and fruit damage in Spanish citrus growing areas, (2) to determine population trends in citrus orchards, and finally (3) to compare different sampling methods in order to predict damage on fruits.

4.2 Material and methods

4.2.1 Geographical spread of KCT in Valencia region

The presence and spread of KCT was studied by an extensive survey carried out throughout the eastern Spain citrus belt from 2005 to 2008, whereas damage levels were studied in 2008. The survey was based on every week sampling of Delta white sticky traps placed in 100 commercial orchards. The 100 orchards belong to a network for pest surveillance in citrus of the Valencia Regional Government. KCT adults were counted and identified on sticky traps using a stereomicroscope.

4.2.2 Seasonal trend

4.2.2.1 Orchards

The sampling was conducted in 14 commercial orchards in 2008 and eight commercial orchards in 2009, all of them located in La Ribera, a citrus area 30 km south of the city of Valencia. This area was selected for being the initial area where intense damage by KCT was observed in some orchards the previous year. The orchards were of sweet orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), [of Valencia late (four orchards), Navel Lane late (six orchards), and Navelina (two orchards)], clementine mandarin, *Citrus reticulata* Blanco (two orchards), and the hybrid Ortanique, *C. sinensis* × *C. reticulata* (four orchards). Isolated lemons, present in eight orchards, and jasmine plants, in four orchards, were also sampled.

4.2.2.2 Sampling methods

Fruits and flowers

Fifty citrus flowers or small fruitlets (< 2 cm of diameter) were randomly picked from each orchard every week from late March to June (both years) and were individually kept in 70% ethanol. The proportion of flowers and fruitlets collected each week was equal to the relative availability of flowers and fruits at the citrus orchards. Thrips were extracted from flowers and fruits in the

laboratory under a stereomicroscope. Adults were identified on the basis of the descriptions of Mound and Walker (1982). Only a brief description of second-instar larvae of KCT is published by Kirk (1987), thus immature individuals were identified by comparing them with progeny reared from identified adults.

Fifty pairs of groups of two-three mature fruits in contact were observed weekly at each orchard from December 2009 to February 2010 and the percentage of groups with KCT damage was recorded. Thrips present in the contact area between fruits were captured by suction (with small aspirators) and identified in laboratory.

Traps

Two white aerial sticky traps and two ground traps were placed at each orchard and sampled from January 2008 to December 2009. Traps were also placed on lemon trees and jasmine plants. For the aerial sticky traps, transparent membranes (20 x 10 cm) were coated with Tanglefoot® and clipped on white plastic cards. Traps were located around 1.5 m above the ground in the southern external part of the canopy. Ground traps were falling/emergence traps designed to capture thrips larvae falling from the canopy and adults emerging from the soil on a sticky surface (based on Tanigoshi and Moreno (1981) and Jamieson and Stevens (2006)). Each trap consisted of a 100 mm-height PVC tube with a diameter of 130 mm. Two sheets of transparent acetate coated with Tanglefoot® were deposited on each ground trap, one acetate was placed sticky side facing up to capture larvae dropping from the tree to pupate and the other transparency was sticky side facing down to capture emergence adult. Cards were sampled weekly during spring and fortnightly the rest of the year. KCT individuals were counted under a stereomicroscope. Ground traps were changed at each sampling date to an adjacent tree in order to enable the continued monitoring of emerging adults.

Berlese funnel extraction

Adults and larvae of KCT inhabiting the soil were sampled. Four soil samples (consisting of a surface area core of 15 x 15 cm and 6 cm depth) were sampled monthly during 2009, at a random location beneath the tree canopy, from four citrus orchards. Soil samples were also collected under lemon trees and jasmine plants. The samples were placed on filter paper, transported to the

laboratory, and over a 72-h period all arthropods were extracted using Berlese funnels. The mobile organisms in the soil moved away from the light/heat source down the funnel and fell into a recipient with 70% ethanol where they were preserved for identification.

4.2.3 Data analysis

In order to evaluate their potential to predict damage at harvest, the different sampling methods were compared using correlation coefficients between damage at harvest and values of abundances of larvae and adults in the previous flowering and fruit setting periods. Fruit damage was estimated by calculating the average of the percentage of fruits with rind damage monitored weekly from July to September. Relative abundance of KCT larvae and adults were calculated as the maximum adult and larvae and as the maximum percentage of flowers or fruits infested by KCT on each orchard.

4.3 Results and discussion

4.3.1 Geographical spread

Pezothrips kellyanus has progressively spread throughout the citrus area of eastern Spain from 2005 to 2008 (**Fig. 1**). In 2005, it was only detected in 6% of the orchards, all of them located at the south of the area. In 2006 the percentage of orchards with KCT was 16%. In 2007 that percentage raised to 32%, reaching 45% of the orchards sampled in 2008. KCT damage in these orchards was very low between 2005 and 2007. Only 14 orchards had damages produced by thrips out of the 45 orchards where KCT was observed in flowers (**Fig. 2**). Thus, in many orchards we observed adults during the flowering period but there was no fruit damage at harvest.

The fact that harvest damage was restricted to some areas, while the species was present in the whole citrus growing area, shows that some explanatory variables still remain unknown, so further analyses focused on these irregular distribution patterns are necessary.

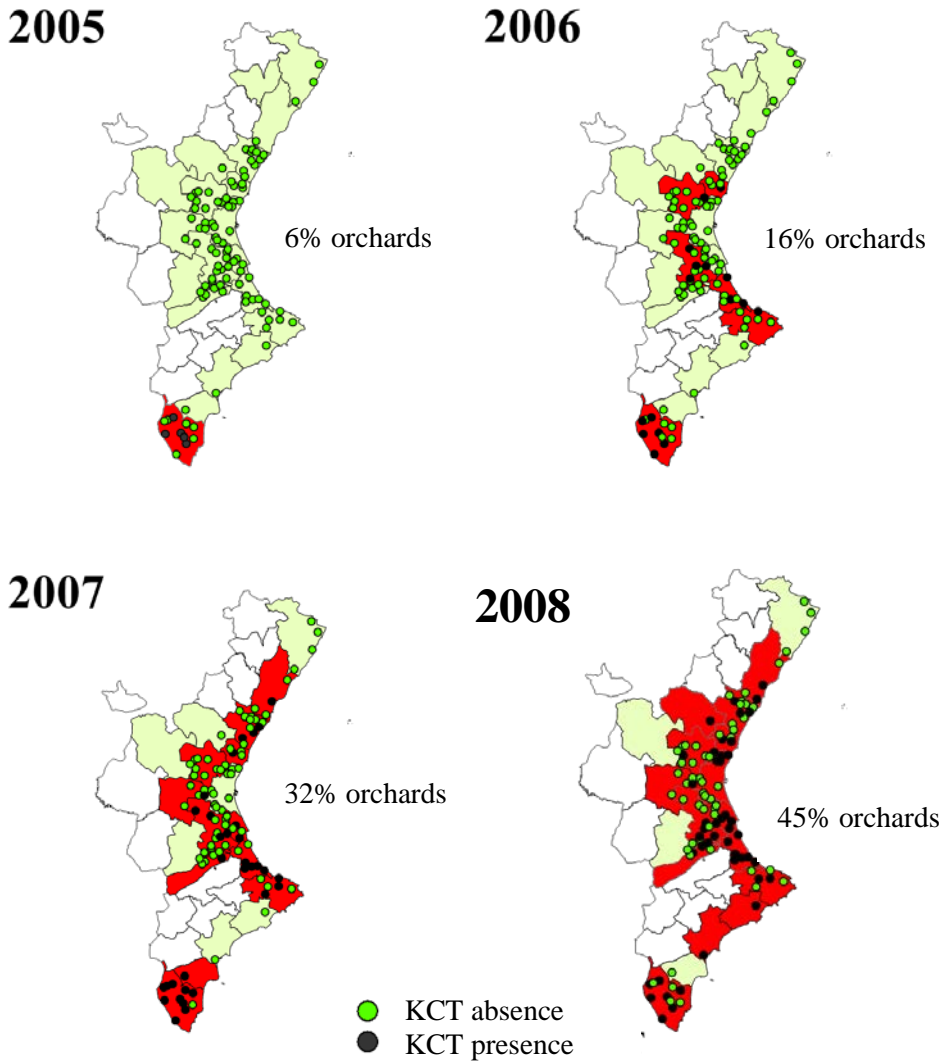


Fig. 1. Spread of KCT in eastern Spain from 2005 to 2008. Each point represents one of the 100 citrus orchard periodically sampled through the year by the network for pest surveillance in citrus of the Valencia Regional Government. The orchards where KCT was present are symbolized by a black dot and if KCT was not present by a green dot. Regions with presence of KCT are shown in red.

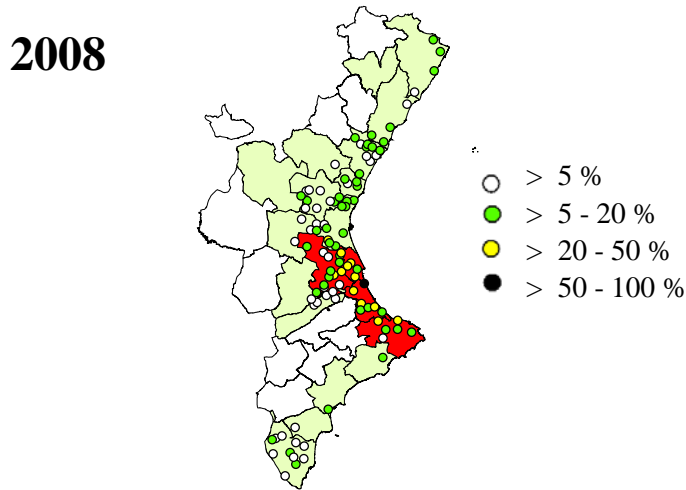


Fig. 2. Fruit damage by KCT in eastern Spain in 2008. Regions with fruit scarring > 20% are shown in red.

4.3.2 *Seasonal trend*

The relative abundance of KCT increases in citrus trees with flower availability, peaking at the end of the flowering period (**Fig. 3**). The presence of KCT decreases progressively until zero during the period of absence of flowers. According to our results, KCT populations develop principally on citrus flowers and to a lesser extent on young citrus fruits. The abundance of KCT populations in citrus orchards was strongly related with the spring flowering, as was previously observed by Costa et al. (2006), Perrotta and Conti (2008) and Vassiliou (2010). Like other thrips species, KCT requires pollen for its reproduction and larval growth (Kirk, 1984; Teulon and Penman, 1991; Baker et al., 2002). Citrus flowers provide a good source of pollen, and moreover, adequate breeding sites for KCT.

A consistent proportion of groups of mature fruits were found with KCT larvae and adults during winter 2009-2010 (**Fig. 4**). The presence of mature fruits during a long time at the orchard allows the thrips to develop at least one generation in the coldest months, prior to the flowering.

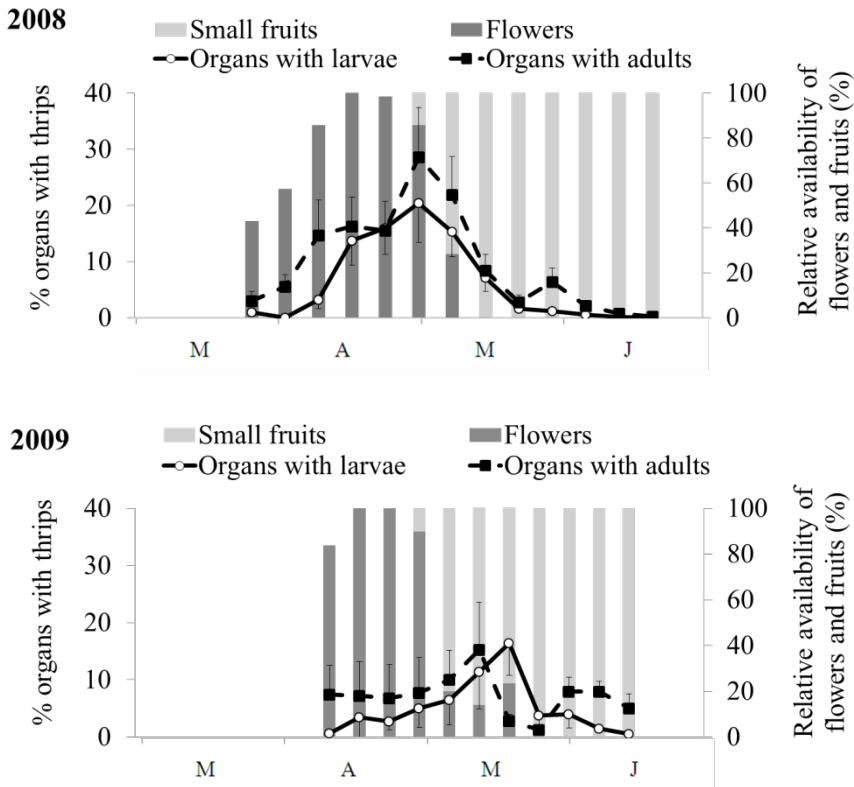


Fig. 3. Percentage of flowers or fruitlets with presence of KCT. Average values of data collected weekly from 14 orchards in 2008 and eight orchards in 2009. On each sampling date, larvae and adults of KCT were counted on 50 flowers or fruitlets per orchard.

Monitoring systems that stayed all the year round at the orchards (aerial sticky traps, soil sticky traps and soil extraction by Berlese) showed that individuals were captured in orange trees in high numbers only between April and June. However, in lemon trees and jasmines, KCT were captured more frequently throughout the year (**Fig. 5**). Interestingly, low population levels were recorded all year round in the three host plants. In ground and aerial traps the captures of KCT showed a similar trend, being low during winter, summer and fall, with the lowest captures of the year observed at the end of summer or beginning of autumn. On the other hand, captures employing Berlese funnels were more irregular.

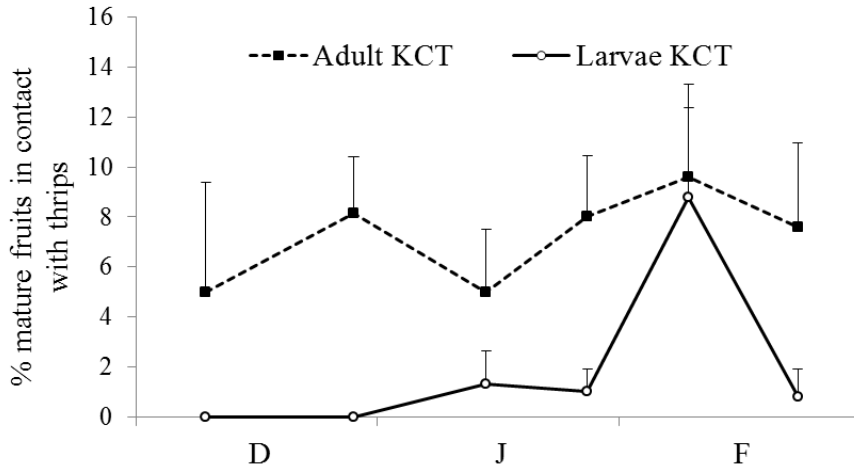


Fig. 4. Percentage of mature fruits in contact with presence of adult and larvae of KCT. Average values of data collected weekly from 8 orchards from December 2009 to February 2010. On each sampling date, larvae and adults of KCT were counted on 50 groups of mature fruits per orchard.

In summary, the highest KCT population densities in citrus orchards were registered in spring coinciding with the flowering period of orange trees. During petal fall and fruitlet development the percentage of occupied organs by KCT decreases. Thus, the insect is present on fruits during a short period of time at the beginning of its development in spring. On following months, in summer, small KCT populations were found on flowers of other hosts, as isolated lemon trees or jasmines located near citrus orchards. They are also observed in orange trees with out-of-season flowerings. We find again larvae and adults of KCT on citrus trees when fruits mature, in autumn and winter. Consequently, both immature and adults of KCT are present all year round, but alternating between different hosts. Under these conditions, KCT can complete many generations throughout the year and maintain persistent populations in citrus orchards.

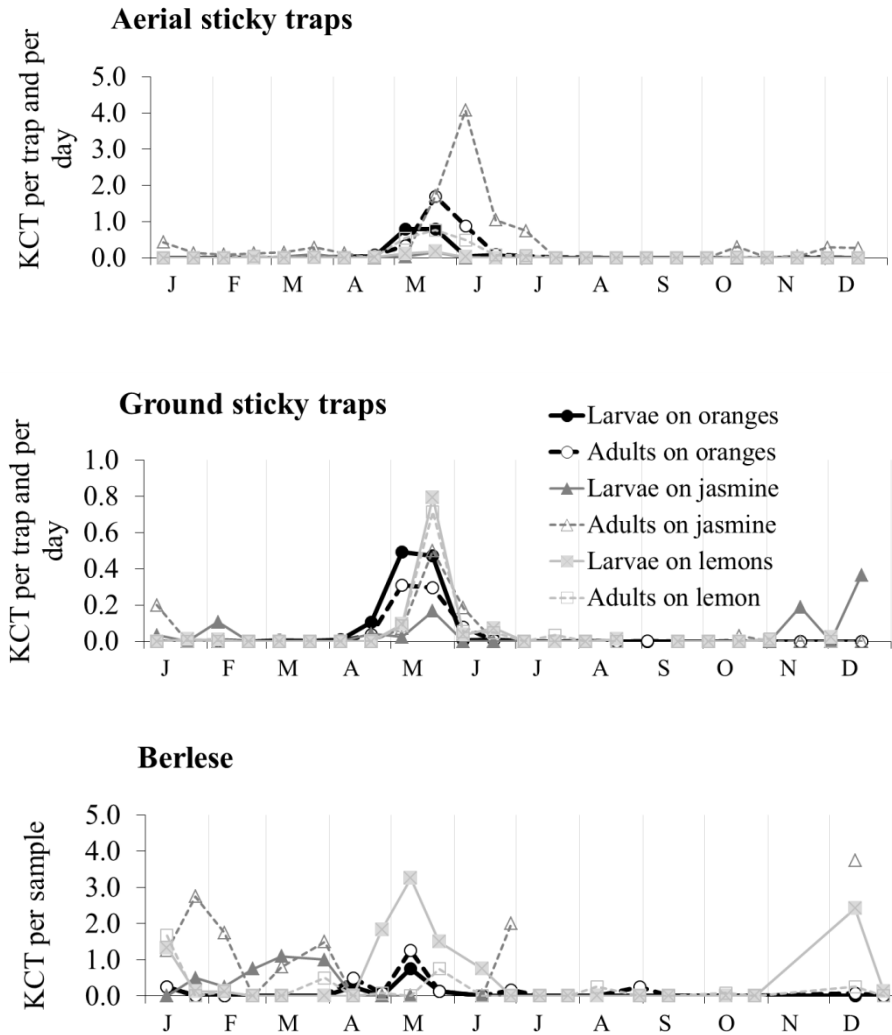


Fig. 5. Seasonal abundance of larvae and adult monitored with three different sampling methods on three host plants. Data from 14 orchards in 2008 and eight during 2009 sampled weekly during spring and fortnightly the rest of the year. No data of captures on jasmine plants were available from July to November.

4.3.3 Sampling methods

The predictive value of the different sampling methods was analyzed using correlation coefficients between values of abundances of larvae and adult and fruit damage at harvest (**Table 1**). Three sampling methods were the most adequate to predict damage on fruits, visual observation of larvae on fruitlets after petal fall, visual observation of larvae on flowers and observation of adults on soil sticky traps in spring. Perrotta and Conti (2008) obtained also a close correspondence between fruits damage at harvest and density of thrips larvae on the canopy of lemon trees. Moreover, as we observed, the same authors found that aerial sticky traps does not seem to be a useful tool for assessing thrips density and predicting fruit damage at harvest. However, ground sticky traps can be used to evaluate the earlier population density when bloom starts by studying the amount of larvae dropped from the canopy, adults emerging from the soil and compare these results with data from other years.

Table 1. Comparison of sampling methods using correlation coefficients between damage at harvest and values of abundances of larvae and adults of KCT. Data from 14 orchards in 2008 and eight in 2009.

KCT	Sampling methods			
	Flowers	Fruitlets	Soil sticky traps	Aerial sticky traps
Larvae	0.84**	0.88**	0.59**	0.55**
Adults	0.56**	0.43*	0.94**	0.58**

**Correlation coefficients significant ($P < 0.01$; $n = 22$)

*Correlation coefficients significant ($P < 0.05$; $n = 22$)

Acknowledgements

We thank Guillem Molina and Apostolos Pekas for his critical review and the Citrus Phytosanitary Survey Project for the trap samples. This study was supported by Ministerio de Ciencia e Innovación of Spain and by the Polytechnic University of Valencia.

4.4 References

- Baker, G. J. 2006.** Kelly citrus thrips management. Fact sheet. Government of South Australia, primary industries and resources SA.
http://www.sardi.sa.gov.au/_data/assets/pdf_file/0010/44875/kctfact_sheet.pdf.
Access 16 July 2011.
- Baker, G. J., D. J. Jackman, M. Keller, A. MacGregor, and S. Purvis. 2002.** Development of an integrated pest management system for thrips in Citrus. HAL Final Report CT97007.
http://www.sardi.sa.gov.au/pestsdiseases/horticulture/horticultural_pests/kelly_citrus_thrips/research_report_1997-2000. Access 16 July 2011.
- Blank, R. H., and G. S. C. Gill. 1997.** Thrips (Thysanoptera: Terebrantia) on flowers and fruit of citrus in New Zealand. *N. Z. J. Crop Hortic. Sci.* 25: 319-332.
- Conti, F., R. Tumminelli, C. Amico, R. Fiscaro, C. Frittitta, G. Perrotta, and R. Marullo. 2001.** Monitoring *Pezothrips kellyanus* on citrus in eastern Sicily, pp. 207-210. Thrips and tospoviruses. *In: Proceedings of the 7th International Symposium on Thysanoptera*, 1-8 July 2001, Reggio Calabria, Italy.
- Conti, F., R. Tumminelli, R. Fiscaro, G. Perrotta, R. Marullo, and G. Liotta. 2003.** An IPM system for new citrus thrips in Italy. *IOBC/WPRS Bull.* 26: 203-208.
- Costa, L., C. Mateus, R. zur Strassen, and J. C. Franco. 2006.** Thrips (Thysanoptera) associated to lemon orchards in the Oeste region of Portugal. *IOBC/WPRS Bull.* 29: 285-291.
- [EPPO] European Plant Protection Organisation Reporting Service. 2006.** *Pezothrips kellyanus*
(http://www.eppo.org/QUARANTINE/Pest_Risk_Analysis/PRAdocs_insects/06-12760%20DS%20PEZTKE.doc). Acces 16 July 2011
- Froud, K. J. 1999.** Evaluation of different coloured sticky traps for monitoring Kelly's citrus thrip (*Pezothrips kellyanus*), pp. 277. *In Proceedings of the 52nd New Zealand Plant Protection conference*, 10-12 August 1999, Auckland, New Zealand.
- Froud, K. J., P. S. Stevens, and D. Steven. 2001.** Survey of alternative host plants for Kelly's citrus thrips (*Pezothrips kellyanus*) in citrus growing regions. *New Zealand Plant Protection* 54: 15-20.
- Jamieson, L. E., and P. S. Stevens. 2006.** The effect of mulching on adult emergence of Kelly's citrus thrips (*Pezothrips kellyanus*). *New Zealand Plant Prot.* 59: 42-46.
- Kirk, W. D. J. 1984.** Pollen-feeding in thrips (Insecta: Thysanoptera). *J. Zool.* 204: 107-117.

- Kirk, W. D. J. 1987.** A Key to the Larvae of Some Common Australian Flower Thrips (Insecta, Thysanoptera), With a Host-Plant Survey. *Aust. J. Zool.* 35: 173-185.
- Mound, L. A., and D. J. Jackman. 1998.** Thrips in the economy and ecology of Australia, pp. 472-478. *In: Pest Management – Future Challenges, Proceedings of the Sixth Australian Applied Entomological Research Conference* (eds MP Zalucki, RAI Drew & GG White), pp. 472-478. University of Queensland, St Lucia, Australia.
- Mound, L. A., and A. K. Walker. 1982.** Terebrantia (Insecta: Thysanoptera). *Fauna of New Zealand.* 1: 1-113.
- Navarro, C., A. Aguilar, A. and F. Garcia Mari. 2008.** *Pezothrips kellyanus*: trips causante de daños en frutos de cítricos. *Levante Agrícola* 392: 298-303.
- Perrotta, G., and F. Conti. 2008.** A threshold hypothesis for an integrated control of thrips infestation on citrus in South-Eastern Sicily. *IOBC/WPRS Bull.* 38: 204-209.
- Stevens, P. S, D. Steven, and K. J. Froud. 1998.** Kelly's citrus thrips—a tough customer. *The Orchardist* 71: 58-61.
- Tanigoshi, L. K., and D. S. Moreno. 1981.** Traps for monitoring populations of the citrus thrips, *Scirtothrips citri* (Thysanoptera: Thripidae). *The Canadian Entomologist* 113: 9-12.
- Teulon, D., and D. Penman. 1991.** Effects of temperature and diet on oviposition rate and development time of the New Zealand flower thrips, *Thrips obscuratus*. *Entomol. Exp. Appl.* 60: 143-155.
- Varikou, K., J. A. Tsitsipis, V. Alexandrakis, and L. A. Mound. 2002.** *Pezothrips kellyanus* (Bagnall) (Thysanoptera: Thripidae), a new pest of citrus trees in Crete, pp. 7-13. *In Proceedings of the VIIth European Congress of Entomology, Thessaloniki (Greece)*, p. 33.
- Vassiliou, V. A. 2010.** Ecology and Behavior of *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae) on Citrus. *J. Econ. Entomol.* 103: 47-53.
- zur Strassen, R. 1996.** Neue daten zur Systematik und Verbreitung einiger westpaläarktischer Terebrantia-Arten (Thysanoptera). *Entomologische Nachrichten und Berichte* 40: 111-118.

CAPÍTULO 5

Aggregation pattern, sampling plan, and
intervention threshold for *Pezothrips kellyanus*
(Thysanoptera: Thripidae) in citrus orchards



5 Aggregation pattern, sampling plan, and intervention threshold for *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae) in citrus orchards

Navarro-Campos, C.; A. Aguilar, F. Garcia-Mari. 2012. Aggregation pattern, sampling plan, and intervention threshold for *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae) in citrus orchards. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 142 (2): 130–139.

Abstract: *Pezothrips kellyanus* (Bagnall) (Thysanoptera: Thripidae) has recently emerged as an international pest of citrus. It causes severe scarring of the fruit surface and commercial downgrading of fresh fruit production. The goals of this paper were to determine the aggregation patterns of *P. kellyanus* on citrus, to establish an efficient sampling plan to assess their population density, and to develop an environmental economic injury level (EEIL). The study was conducted in 14 citrus orchards in Valencia (Spain) during 2008 and in eight citrus orchards during 2009. On each orchard, population densities of thrips were monitored weekly on citrus flowers and fruitlets during the flowering and fruit setting period. Final damage was determined on developed fruits. *Pezothrips kellyanus* was the most abundant thrips species, with 73.5% of adults and 92.1% of larvae present, followed by *Frankliniella occidentalis* (Pergande), with 18.2 and 3.5%, respectively. First description of first instars of *P. kellyanus* is provided. Our results prove that thrips show clumped population distributions, with no differences in aggregation parameters between flowers and fruitlets, thrips species, larval stages, or sex of adults. Immature thrips showed a higher aggregation (Taylor's value of $b = 1.40 \pm 0.06$) than adults ($b = 1.19 \pm 0.04$). Fruit damage by *P. kellyanus* on developed fruits was strongly correlated with number of fruitlets with immature *P. kellyanus* ($r = 0.897$; $n = 22$). Based on the percentage of fruitlets occupied by immature thrips the economic injury levels (EIL) and EEIL were calculated (using chlorpyrifos as insecticide) obtaining values of 7 and 12%, respectively. Insecticide treatments will be necessary if more than 12% of fruitlets are infested by thrips larvae. Constant precision ($D = 0.25$) sampling plans developed show that 200 sample units should be observed in enumerative sampling, and 310 in binomial presence-absence sampling, at population levels of immatures on fruitlets around the EEIL.

5.1 Introduction

Thrips (Thysanoptera: Thripidae) are common insects that feed on a wide variety of plants and are frequently found associated with citrus (Quayle, 1941; Parker and Skinner, 1997). A great number of thrips species have been recorded on citrus trees, but only relatively few species are serious crop pests (Bodenheimer, 1951; Childers and Nakahara, 2006; Costa et al., 2006).

Kelly's citrus thrips, *Pezothrips kellyanus* (Bagnall), hereafter KCT, became a serious pest of citrus fruits during the last decade in southern Australia, New Zealand, and several countries of the Mediterranean basin namely Italy, Greece, Portugal, Turkey, Cyprus, and Spain (Blank and Gill, 1997; Marullo, 1998; Mound and Jackman, 1998; Orphanides, 1998; Conti et al., 2001; Varikou et al., 2002; Franco et al., 2006; Vassiliou, 2007; Navarro et al., 2008). Kelly's citrus thrips is a flower-living species and its abundance in citrus orchards peaks in spring during the main flowering period (Baker et al., 2002). Adults need to establish on flowers for breeding purposes (Blank and Gill, 1997). Kelly's citrus thrips causes a ring of scar tissue around the calyx and rind blemish on young and mature fruit (Blank and Gill, 1997; Baker, 2006). Most of the rind damage to fruitlets is apparently caused by larvae (Blank and Gill, 1997; Navarro-Campos et al., 2011). In cases of serious damage, the scarring can cover the entire fruit (Vassiliou, 2010). The period of greatest risk of injury occurs during the first 4-5 weeks after petal fall (Baker et al., 2002). The feeding activities of these arthropods cause no substantial degradation of the tissues consumed by humans (Hare, 1993), but have a major economic impact on fresh fruit production, as they downgrade the external appearance of the fruit, reducing or eliminating its market value (Gilbert and Bedford, 1998).

At the moment, the basic problem remains on how to control KCT (as well as other citrus thrips) effectively without destroying the very important natural enemy complex of scale insects, mealybugs, mites, and other citrus pests (Gilbert and Bedford, 1998). In that context, integrated pest management (IPM) is based on the idea that chemical control should only be used as a last resort. The decision to apply chemical insecticides is taken only when the population exceeds the economic injury levels (EIL). The EIL is defined as the lowest population density that will cause economic damage. Economic damage begins to occur when the cost (in terms of money) of suppressing insect-caused injury is equal to the potential monetary loss from a pest population (Stern et al., 1959; Pedigo, 1999). The EIL indicates when the management of a pest is

economically justified, but does not provide users with information of choosing the least environmentally hazardous pesticide when a pesticide must be used. Another intervention threshold, the environmental EIL (EEIL), incorporates both economic criteria and environmental risk criteria for IPM decision making (Higley and Winstersteen, 1996).

Thus, it is necessary to develop a methodology for sampling KCT populations and to obtain an EIL in order to facilitate decision-making regarding the management of this pest. Sampling programs are dependent on knowledge of the spatial distribution of the population being sampled (Kuno, 1991). Up to date, there is limited information available about the above aspects for KCT due to its recent appearance as an international pest (Vassiliou, 2010). Intervention thresholds have been established for other species of citrus thrips like *Scirtothrips citri* (Moulton) and *Scirtothrips aurantii* Faure. Flint et al. (1991) recommended a threshold level of 5-10% of fruits with presence of *S. citri* larvae. Regarding *S. aurantii*, treatment threshold was determined for using yellow traps as monitoring system (Samways et al., 1986; Grout and Richards, 1990). Subsequently, Grout and Stephen (2000) and Moore et al. (2008) referred a fruit infestation of 2% on oranges by *S. aurantii* larvae as an intervention threshold during the first 4 weeks after petal fall. In the case of KCT, direct fruit counting seems to be the best method for management decision-making (Conti et al., 2003; Baker, 2006; Perrotta and Conti, 2008). Monitoring of 100 fruits has been recommended in several technical documents (Baker, 2006; Jackman et al., 2011) and chemical treatment is recommended if more than 5-10% of fruits are occupied by thrips larvae (Perrotta et al., 2004; Baker, 2006). Nevertheless, these recommendations were not based on statistical data analysis.

Consequently, the goals of this paper were to determine the aggregation pattern of KCT on citrus trees, to develop an efficient and statistically accurate sampling plan to assess population changes, to relate thrips population density and economic damage, and to establish an EEIL for KCT in order to reduce crop vulnerability to this pest.

5.2 Materials and methods

5.2.1 Sampling orchards

The study was conducted in 14 orchards in 2008 and eight orchards in 2009. All of the orchards were commercial citrus plantations situated in an extensive citrus monoculture region in the south of the city of Valencia, Spain.

The eight orchards sampled in 2009 included four orchards sampled in 2008 and four new ones. The orchards were located in areas where high damage by KCT was observed the previous year. Orchards were selected trying to cover various environmental characteristics, as sampling plans should be developed from robust data sets covering the geographic area of the taxa and encompassing the range of environmental conditions likely to be encountered for particular species in specific environments (Naranjo and Hutchison, 1997). The orchards were of sweet orange, *Citrus sinensis* (L.) Osbeck [including the varieties Valencia late (four orchards), Navel Lane late (six orchards), and Navelina (two orchards)], clementine mandarin, *Citrus reticulata* Blanco (two orchards), and the hybrid Ortanique, *C. sinensis* × *C. reticulata* (four orchards). All the orchards had normally developed 11- to 15-year-old trees in full production. Their surface area ranged from 0.5 to 2 ha. The orchards had not been treated with pesticides for at least 6 months before sampling and were not treated during the sampling period.

5.2.2 Sampling procedures

On each orchard, 50 open fresh citrus flowers or fruitlets (five per tree from 10 trees) were haphazardly collected around the tree canopy. This sampling was repeated weekly from late March until the end of June during the 2 years of the study. Each flower or fruitlet sampled was immediately placed individually inside a plastic recipient containing 10 ml of 70% ethanol. In the laboratory, flowers and fruitlets were carefully searched and all postembryonal development stages of thrips were extracted and counted under a stereomicroscope. In total, 259 samples of 50 units per sample were collected: 107 samples of flowers and 152 samples of fruitlets.

5.2.3 Thrips identification

Adults and larvae were identified on the basis of the descriptions of Mound and Walker (1982) and Milne et al. (1997). Only a brief description of second instars of KCT is published by Kirk (1987), thus larvae of this species were identified by using our own keys based on progeny reared from KCT adults. Recently, during the writing of this manuscript, a new key of second instars of the Thripidae, with *P. kellyanus* included, has been published by Vierbergen et al. (2010). Nevertheless, first instars were not included. According to our keys, first instars (L1) of KCT were characterized by having the abdominal segment IX dorsally with a sclerotised band from the posterior margin to at least the insertion of setal pairs 1 and 2, which are knobbed. This abdominal segment presents several rows (4-5) in addition to the posterior

comb. The abdominal segment X of L1 presents a sclerotised band extending from the posterior margin to at least the insertions of setal pairs 1 and 2. Finally, the presence of minute microtriquia is another characteristic of this segment. Second instars (L2) were characterized by having one dorsal pair and two ventral pairs of large teeth laterally in the comb on the posterior margin of abdominal segment IX. Both abdominal segments IX and X are similar to segments of L1 in having sclerotised bands, but different in the absence of rows of microtriquia; see Navarro et al. (2009) for images of the abdominal segments.

5.2.4 Dispersion pattern

Aggregation indices were calculated using Taylor's power law (Taylor, 1961) and Iwao's patchiness regression (Iwao, 1968). Taylor's power law relates mean density to variance by the equation: $s^2 = a m^b$, where s^2 is the sample variance, m is the sample mean density, and a and b are Taylor's coefficients. Coefficient a is a scaling factor related to sample size and b is Taylor's index of aggregation. A simple regression after log-log transformation ($\log s^2 = \log a + b \log m$) is used to estimate the coefficients. Iwao's patchiness regression, $m^* = \alpha + \beta$, is based on the relationship between Lloyd's index of mean crowding (m^*) and mean density (m), where $m^* = m + [(s^2/m) - 1]$ (Lloyd, 1967). The intercept (α) is an index of basic contagion and the slope (β) has the same meaning as b in the Taylor's power law. The goodness-of-fit of the linear model was evaluated by the estimation of r^2 . Two-tailed t -tests ($df = n-2$, $\alpha = 0.05$) were used to determine whether the slopes of regression lines were significantly different from 1.0. Values of b over orchards, years of sampling, thrips life stages, and sample units were compared using 95% confidence interval.

Taylor's and Iwao's coefficients were calculated separately for each thrips life stage sampled (L1, L2, adult males, and adult females) and thrips species [KCT and western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande), hereafter WFT). KCT indices were calculated separately in flowers and fruitlets, whereas in the case of WFT we calculated only indices in flowers because this species was almost absent from fruitlets.

5.2.5 Economic injury levels

The EIL was calculated according to the formula of Norton (1976) as modified by Pedigo et al. (1986): $EIL = C/VIDK$, where C = cost of KCT control (€ha^{-1}), V = price of the fruit on origin (€ha^{-1}), I = injury unit per insect per production unit [proportion fruits scarred/(insect ha^{-1})], D = damage per unit

injury [(kg reduction ha⁻¹)/proportion fruits scarred], and K = reduction of damage with treatment (i.e., efficacy of the product, 0<K<1). I*D (yield loss per unit of pest) was obtained from the slope b of the damage function: $y = a + bx$, where y is the percentage of damaged fruits at harvest and x is the percentage of sample units (flowers or fruitlets) infested by thrips; therefore: $EIL = C/VIDK = C/VbK$.

To obtain the damage function, we calculated the correlation coefficients between fruit injury at each orchard and the percentage of flowers and fruitlets occupied by adult and immature KCT in the previous flowering and fruit setting period, using the program Statgraphics 5.1 (Statgraphics, 1994). Injury at each orchard was obtained directly from the average percentage of fruits with severe rind damage. We considered severe rind damage when the fruit had scars consisting of a complete ring around the calyx or a substantial partial ring with other lineal scars on the fruit surface. These fruits were considered totally lost from a commercial point of view. On each orchard, a random sample of 10 fruits per tree from 10 trees was taken weekly along the summer (from July to September). During this period, the damage remains constant as it is produced earlier, in late spring. The relative abundance of KCT larvae and adults on each orchard was calculated as the maximum percentage of sample units infested by KCT.

5.2.6 Enumerative sampling

The calculation of the minimum sample size (n) required to estimate density with a fixed coefficient of variation D was based on Green's (1970) method, which establishes the precision of the sample considering the standard error as a fixed proportion (D) of the sample mean. The variance was substituted by its expression according to Taylor's indices:

$$n = a m^{b-2} / D^2.$$

We used the value of D which is usually applied for extensive studies of insects populations (D = 0.25) (Southwood and Henderson, 2000).

5.2.7 Binomial sampling

A binomial sampling plan was developed with the aim of estimating the thrips density by counting the number of sample units infested. This method can only be applied if we know the relationship between the proportion of sample units infested with KCT and the mean number of thrips per sample unit. We checked the fit of our data to Wilson and Room's (1983) model:

$$p = 1 - \exp [-m \ln (a m^{b-1}) / (a m^{b-1} - 1)],$$

where p is the proportion of infested sample units, m is the thrips mean density, and a and b are Taylor's coefficients.

The sample size (n) required to estimate the thrips mean density (m) for a fixed relative precision (D) in the presence-absence sampling was calculated using the expression of the variance proposed by Kuno (1986):

$$n = D^{-2} (1 - p_o) p_o^{-(2/k)-1} [k (p_o^{-1/k} - 1)]^{-2},$$

where p_o is the proportion of non-infested sample units and k was calculated from the mean and the Taylor's indices by the equation:

$$k = m^2 / (a m^b - m).$$

5.3 Results and discussion

A total of 5,123 adult thrips were obtained from individually collected flowers and fruitlets of the 18 citrus orchards sampled during the years 2008 and 2009. The most abundant species was *P. kellyanus* (KCT) (73.5% of the specimens), followed by *F. occidentalis* (WFT) (18.5%), *Thrips tabaci* Lindeman (5.3%), and *Thrips major* Uzel (2.1%). Similarly, out of a total of 4,037 thrips larvae, the species percentages found were KCT (92.1%), WFT (3.5%), *T. tabaci* (2.7%), and *T. major* (1.2%). Similar percentages were found when considering the orchards and years of sampling separately. In every one of the 18 orchards sampled and on each of the 2 years KCT was the most abundant thrips species, followed by WFT.

5.3.1 Aggregation indices

The two most abundant species, KCT and WFT, include 92% of the adults sampled and 95.6% of the larvae. Although KCT is considered a more important pest, WFT is often found in citrus flowers. For that reason we determined initially the aggregation indices separately for the two species. Correlation coefficients of Taylor's power law were higher and less variable than values for Iwao's regression for all development stages, species of thrips, and units sampled. The coefficient of determination (r^2) of Taylor indices ranged from 0.88 to 0.98 for KCT and from 0.70 to 0.97 for WFT. For Iwao's patchiness regression, values of r^2 ranged from 0.28 to 0.65 in KCT and from 0.01 to 0.75 for WFT. Thus, Taylor's power law provided a consistently better fit for the relationship between the variance and the mean of thrips samples (**Table 1**). Therefore, only Taylor's power law parameters were used in the development of the sampling plan.

Table 1 Regression statistics generated by Taylor's power law for the relationship between the variance and mean of *Pezothrips kellyanus* and *Frankliniella occidentalis* sampled on citrus flowers and fruitlets.

Species	Sample unit	Life stage	n	a	b	r ²	t-value for slope = 1	Confidence interval (b)
KCT	Flower	Female	61	1.69	1.15	0.962	5.04	1.09-1.21
		Male	50	2.90	1.27	0.968	8.06	1.20-1.34
	Fruitlet	L1	41	4.25	1.38	0.946	7.12	1.27-1.48
		L2	44	6.12	1.47	0.943	8.49	1.36-1.59
		Female	81	2.44	1.22	0.891	4.65	1.13-1.32
		Male	49	1.63	1.12	0.976	4.61	1.07-1.17
WFT	Flower	L1	18	4.05	1.36	0.880	2.84	1.09-1.62
		L2	59	3.30	1.31	0.947	7.53	1.23-1.39
	Female	52	1.62	1.14	0.971	4.88	1.08-1.19	
	Male	25	1.69	1.16	0.957	3.08	1.05-1.26	
	L1	13	1.78	1.13	0.699	0.57 ¹	0.64-1.61	
	L2	19	4.01	1.37	0.887	3.11 ¹	1.12-1.61	
KCT	Flower	Adult ²	69	2.12	1.21	0.968	7.83	1.16-1.26
		Immature ²	56	5.41	1.44	0.950	9.81	1.35-1.53
	Fruitlet	Adult	91	2.05	1.18	0.924	4.92	1.11-1.25
		Immature	63	3.36	1.31	0.949	8.01	1.23-1.39
WFT	Flower	Adult	55	1.76	1.16	0.976	6.48	1.11-1.21
		Immature	26	3.98	1.38	0.867	3.42	1.15-1.60
KCT	Flower+fruitlet	Adult	160	2.09	1.19	0.956	9.31	1.15-1.23
		Immature	119	4.61	1.40	0.952	13.74	1.34-1.46

¹Indicates t-value for slope = 1 ($P > 0.01$).

²Adults = combined analysis for males + females; Immatures = data for L1 + L2.

The values of coefficient b of Taylor were almost always significantly >1 (two-tailed t tests: $P < 0.01$; **Table 1**) (except for L1 of WFT in flowers, probably due to the low number of samples), indicating an aggregated population distribution. For each thrips species, no significant differences in the value of b ($P > 0.05$) were found, neither between sexes nor between the two larval stages (**Table 1**). Consequently we calculated common b values for both sexes in adults and for both immature stages in larvae. Similarly, no significant differences of value b were obtained between flowers and fruitlets ($P > 0.05$), nor between KCT and WFT ($P > 0.05$). Therefore, common values were added to **Table 1**.

When considering separately developmental stages, plant sample units, and thrips species, immature stages of thrips showed always higher b values than adults. Values of b ranged from 1.31 to 1.47 for immatures (L1 or L2) (excluding L1 of WFT, see above), whereas in adults (females or males) they ranged from 1.12 to 1.27 (**Table 1**). Similarly, when all adults or all larvae were grouped together, b values were always numerically greater for larvae than for adults.

The final result of the Taylor aggregation index b for KCT in flowers and fruitlets together showed a value of 1.40 for larvae, significantly higher than the value of 1.19 for adults (**Table 1, Fig. 1**).

Similar results were found by Rhodes and Morse (1989) in *S. citri* in Navel oranges. They found, as in our experience, a higher value of the Taylor index b for larvae ($b = 1.31$) than for adults ($b = 1.13$). Lower dispersal activity of larvae compared to that of winged adults is the probable cause. On host plants other than citrus, several studies have analyzed the dispersion pattern of WFT populations, which change with the host plant considered. However, as in our results, when comparing immature and adult stages on the same host plant, populations of immature thrips are always more clumped than populations of adults (Steiner, 1990; Salguero-Navas et al., 1994; Wang and Shipp, 2001; Park et al., 2009). The b value of WFT in citrus flowers found in our study is considerably lower than the b value observed for the same thrips species in tomato and cucumber flowers by other authors. The b value of WFT is common to the b value of KCT in our study and similar to the b value for *S. citri* on citrus fruitlets (Rhodes and Morse, 1989). Thus, probably the pattern of aggregation on citrus is similar on other phytophagous thrips species as well.

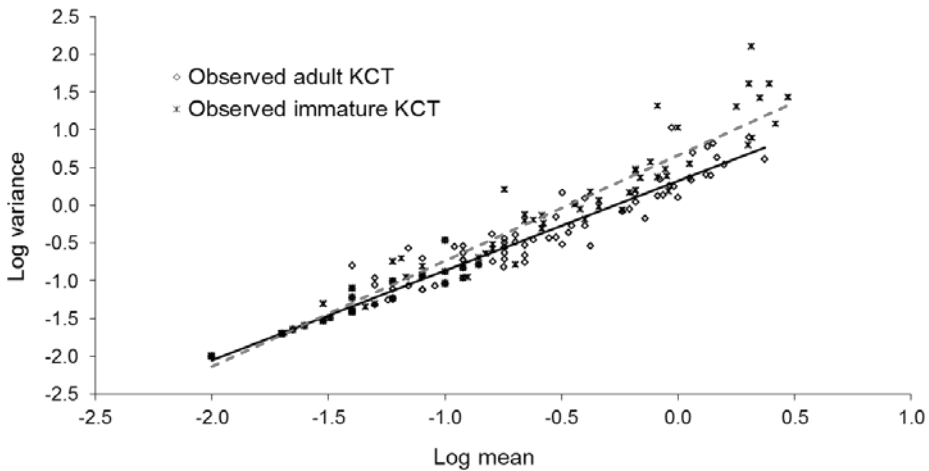


Fig. 1 Taylor's power law regression for adult and immature *Pezothrips kellyanus* on citrus flowers or fruitlets individually collected (50 units per sample); combined data from 18 orchards sampled during during 2008 and 2009. Lines represent expected immature (broken) and adult (solid) KCT.

It is remarkable that WFT was present in flowers but was almost absent from fruitlets. Moreover, WFT does not reproduce adequately in citrus orchards, as only 3.5% of all thrips larvae found were of WFT, whereas 18.5% of all adults identified belonged to this species. Thus, adults of WFT visit citrus flowers for feeding on pollen, but rarely reproduce on the flowers and are not attracted by the developing fruits. According to Teksam and Tunç (2009), the only thrips that damage citrus fruit are those that feed on the developing fruits, just as, or soon after, the petals fall, not those that feed on pollen and floral tissues in the flowers. Western flower thrips is not considered a pest of citrus in Italy (Marullo, 2001), Cyprus (Vassiliou, 2007), or Spain (Lacasa and Llorens, 1996). It was reported as a pest in Japan (Tsuchiya et al., 1995), but its damage consisted in young fruit rot as a result of fungal infection caused by WFT infesting flowers at the end of the flowering period, not in scarring of the fruit.

5.3.2 Enumerative sampling plan

The required number of sample units (sample size) to monitor KCT was calculated using Green's sequential sampling plan at a precision level of $D = 0.25$ (Fig. 2). The sample size was calculated separately for adults and larvae as they show significantly different aggregation patterns. The results are equally

applicable to flowers and fruitlets because it was generated from a common Taylor's power law regression.

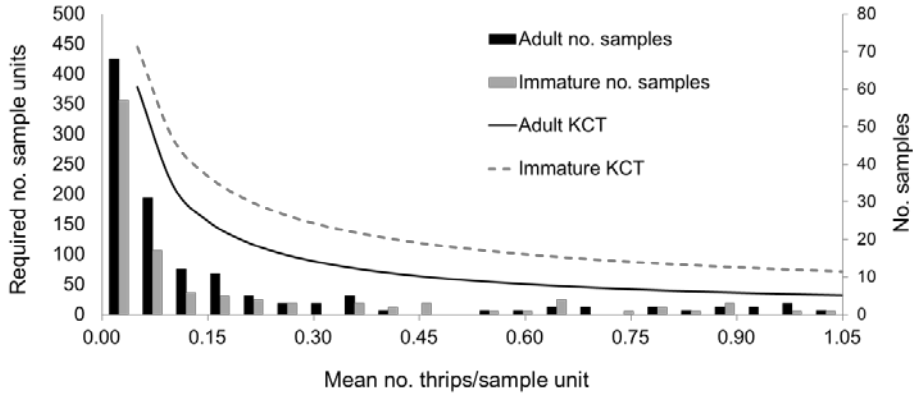


Fig. 2 Number of sample units required for sampling *Pezothrips kellyanus* (Kelly's citrus thrips, KCT) populations in citrus, based on the number of thrips per flower or fruitlet, to achieve a fixed precision level of 0.25. The number of real samples encountered at each population density is shown on a secondary axis.

5.3.3 Binomial sampling plan

The determination of the relationship between insect density per sample unit and percentage of infested sample units can reduce the time of sampling as it allows estimating density without counting all insects present on each sampling unit. The model by Wilson and Room's (1983) fits adequately the above relationship for both adult and immature KCT in flowers and fruitlets (**Fig. 3**). The equation describes our field data well, with $r^2 = 0.96$ for adults and $r^2 = 0.91$ for immatures. The number of required units to be sampled in order to obtain the precision level of 0.25 (SEM/mean) when using a binomial sampling plan is shown in **Fig. 4**.

5.3.4 Economic injury levels

The relationships between the percentage of damage on developed fruit and the percentage of flowers or fruitlets infested by immature or adult KCT are shown in **Table 2**. We included in these correlations all citrus species or varieties sampled in this work, as they showed similar trends in all cases. Higher correlation coefficients are associated with immatures and the highest

value corresponds to immatures on fruitlets. Other authors had previously observed that KCT damage is produced mostly by larvae feeding on fruitlets (Blank and Gill, 1997; Navarro-Campos et al., 2011). Consequently, EIL's were developed for the percentage of fruitlets infested by immature KCT.

Table 2 Equations relating, on each citrus orchard, the percentage of developed citrus fruits with severe scarring by *Pezothrips kellyanus* (Kelly's citrus thrips, KCT) (y) with the maximum percentage of flowers or fruitlets infested by adults or immature KCT (x). Data obtained from 14 orchards in 2008 and eight orchards in 2009.

Sample unit	KCT life stage	Equation ¹	r ²	n	P
Flower	Adult	y = 0.3544x	0.64	22	< 0.0001
	Immature	y = 0.5461x	0.81	22	< 0.0001
Fruitlet	Adult	y = 0.6594x	0.51	22	< 0.001
	Immature	y = 0.8968x	0.92	22	< 0.0001

¹The intercepts are not significantly different from zero ($P > 0.05$)

To calculate an EIL as percentage of citrus fruitlets occupied by immature KCT we used the formula: $EIL = C/VIDK = C/VbK$. The cost of control C (285 €ha⁻¹) was composed by cost of the product (135 €ha⁻¹) and cost of the application (150 € ha⁻¹). Monetary values were taken from published assays with chlorpyrifos (96 g l⁻¹ of water) as treatment for KCT (Collof et al., 2003; Tena et al., 2009). The price of the crop was fixed at:

$$V = 0.22 \text{ €kg}^{-1} \times 30,000 \text{ kg ha}^{-1} = 6,600 \text{ €ha}^{-1},$$

according to official national statistics about prices on origin for navel oranges (MARM, 2011). The efficacy (K) of the product chlorpyrifos in controlling KCT in orange orchards was taken as K = 0.68, an average among values obtained from two studies (Vassiliou, 2007; Tena et al., 2009). The slope b of the correlation between the maximum percentage of fruitlets infested by immature KCT and the average damage on fruits at harvest was taken from the equation in Table 2: $EIL = C/VIDK = C/VbK = 285 \text{ €ha}^{-1} / (6,600 \text{ €ha}^{-1} \times 0.8968 \times 0.68) = 7.1\%$ fruitlets infested by immature KCT.

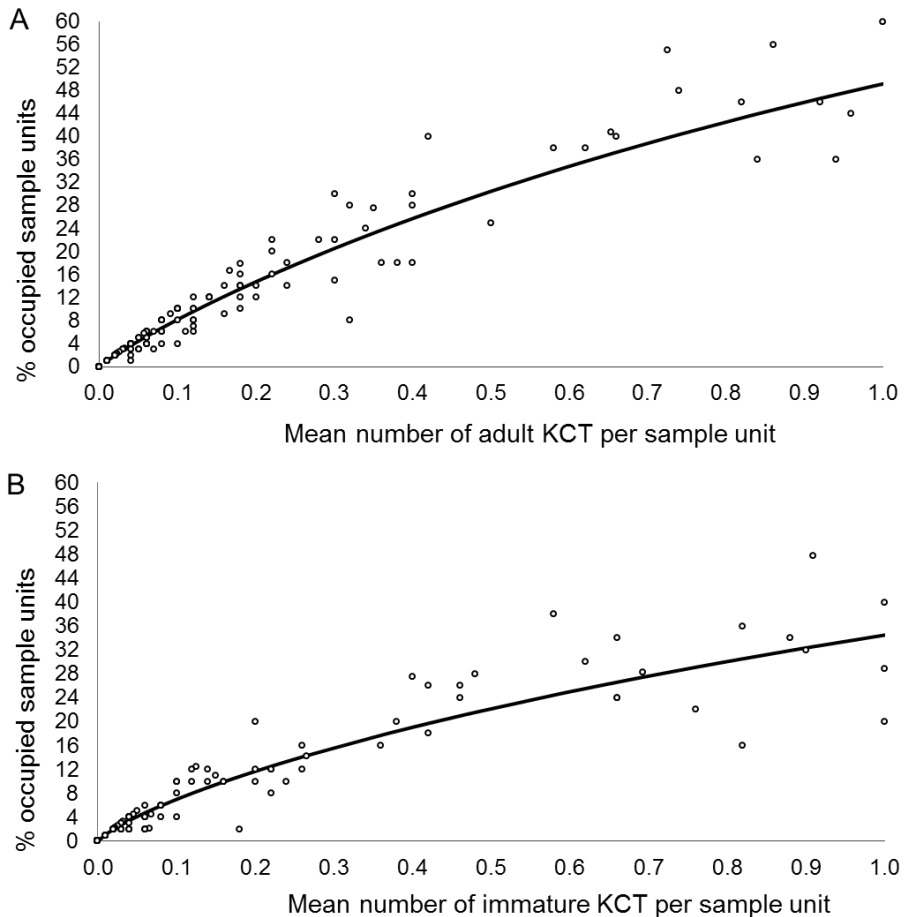


Fig. 3 Relationship between the % sample units infested with (A) adult and (B) immature KCT and the mean number of thrips per sample units. X-axis truncated at 1 (approximately 95% of samples have a mean number of thrips per unit <1).

The EEIL using chlorpyrifos as insecticide can be approximated as $1.7 \times$ EIL according to Higley and Wintersteen (1996). Therefore: EEIL = 12% of fruits occupied by immature KCT. This percentage corresponds to a population density of 0.20 immature thrips per fruit (**Fig. 3**). As economic and dynamic biological parameters determined the EIL, few studies have concentrated on the development of EIL in perennial crops after its first theoretical definition (Damos and Savopoulou-Soultani, 2010). The IPM guidelines of the University of California recommended a threshold for treatment with Sabadilla for *S. citri*

in Valencia oranges, of 10% infestation by immature thrips without predaceous mites, and 20% if predaceous mites are present. For navel oranges, a 5% infestation of immatures without predaceous mites may warrant treatment and 10% when predaceous mites are present above a threshold of 0.2 predaceous mites per leaf (Flint et al., 1991).

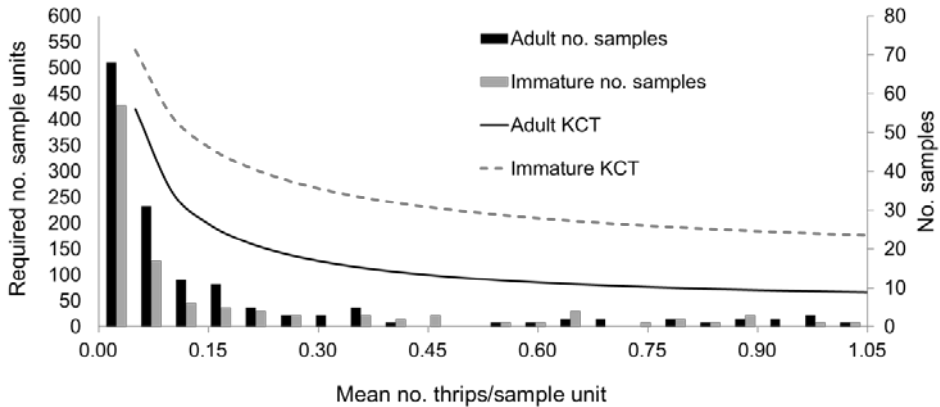


Fig. 4 Number of sample units required for sampling *Pezothrips kellyanus* (Kelly’s citrus thrips, KCT) populations in citrus, based on the percentage of flowers or fruitlets infested, to achieve a fixed precision level of 0.25. The number of real samples encountered at each population density is shown on a secondary axis.

5.3.5 Sample size

The estimated sample size depends on the population density of the species. According to our results, the EEIL of 12% corresponds to a population density of 0.20 immature thrips per fruit. Thus, when the population density is 0.20 thrips per sample unit, the number of units to be sampled, according to the enumerative sampling plan, would be 125 for adult thrips and 200 for immature thrips (Fig. 2). This is the minimum number of units to be sampled if we wish to attain the desired precision level of $D = 0.25$ at population densities around the EEIL. On the other hand, according to the binomial sampling plan, the number of units to be sampled when the population density is 0.20 thrips per unit would be 160 for adult thrips and 310 for immature thrips (Fig. 4). These sample sizes are considerably larger than earlier recommendations (Baker, 2006; Jackman et al., 2011). At higher population densities, fewer sample units

are required. For instance, to estimate a mean density of 0.6 thrips per unit, 50 sample units are required for adults and 100 for larvae (**Fig. 2**).

In summary, after the study of dispersion parameters of KCT and WFT, we have shown that these phytophagous thrips have patterns of aggregation similar between species and between citrus unit sampled – flowers or fruitlets –, but differing between immatures and adults. Sample sizes needed to estimate population densities for KCT and WFT in citrus flowers or fruitlets with pre-established precision levels were developed. The curves that relate sample size with thrips population, either for enumerative or presence-absence sampling, will be useful to estimate population densities of KCT or WFT from citrus flowers/fruitlets. From these results, and considering that binomial or presence-absence sampling (counting plant sample units with thrips present) is considerably easier and less time-consuming than counting all thrips on each unit, a binomial sampling plan is recommended for monitoring KCT in IPM programs to determine whether the pest reaches the EEIL. Not less than 300 fruitlets should be monitored weekly from petal fall until the fruits reach 4 cm in diameter. Fruits that are 4 cm or larger in diameter are rarely scarred by citrus thrips (Flint et al., 1991; Blank and Gill, 1997). Insecticide treatment will only be necessary if more than 12% of fruitlets are occupied by larvae.

Acknowledgments

We thank Apostolos Pekas for his useful comments on previous versions of the manuscript. We thank also the citrus producers who provided the orchards for the study. Finally, we are grateful to two anonymous referees for their careful review and helpful comments. The first author was awarded an FPI fellowship from the Universitat Politècnica de València to obtain her PhD degree.

5.4 References

- Baker, G. J. 2006.** Kelly citrus thrips management. Fact sheet. Government of South Australia, primary industries and resources SA.
http://www.sardi.sa.gov.au/data/assets/pdf_file/0010/44875/kctfact_sheet.pdf.
Access 16 July 2011.
- Baker, G. J., D. J. Jackman, M. Keller, A. MacGregor, and S. Purvis. 2002.** Development of an integrated pest management system for thrips in Citrus. HAL Final Report CT97007.
http://www.sardi.sa.gov.au/pestsdiseases/horticulture/horticultural_pests/kelly_citrus_thrips/research_report_1997-2000. Access 16 July 2011.
- Blank, R. H., and G. S. C. Gill. 1997.** Thrips (Thysanoptera: Terebrantia) on flowers and fruit of citrus in New Zealand. *N. Z. J. Crop Hortic. Sci.* 25: 319-332.
- Bodenheimer, F. S. 1951.** Citrus Entomology in the Middle East. The Hague, The Netherlands.
- Childers, C. C., and S. Nakahara. 2006.** Thysanoptera (thrips) within citrus orchards in Florida: Species distribution, relative and seasonal abundance within trees, and species on vines and ground cover plants. *J. Insect Sci.* 6: 1-19.
- Colloff, M. J., G. Fokstuen, and T. Boland. 2003.** Toward the Triple Bottom Line in Sustainable Horticulture: Biodiversity, Ecosystem Services and an Environmental Management System for Citrus Orchards in the Riverland of South Australia. CSIRO Entomology, Canberra, Australia.
- Conti, F., R. Tumminelli, C. Amico, R. Fiscaro, C. Frittitta, G. Perrotta, and R. Marullo. 2001.** Monitoring *Pezothrips kellyanus* on citrus in eastern Sicily, pp. 207-210. Thrips and tospoviruses. *In: Proceedings of the 7th International Symposium on Thysanoptera*, 1-8 July 2001, Reggio Calabria, Italy.
- Conti, F., R. Tumminelli, R. Fiscaro, G. Perrotta, R. Marullo, and G. Liotta. 2003.** An IPM system for new citrus thrips in Italy. *IOBC/WPRS Bull.* 26: 203-208.
- Costa, L., C. Mateus, R. zur Strassen, and J. Franco. 2006.** Thrips (Thysanoptera) associated to lemon orchards in the Oeste region of Portugal. *IOBC/WPRS Bull.* 29: 285-291.
- Damos, P., and M. Savopoulou-Soultani. 2010.** Population dynamics of *Anarsia lineatella* in relation to crop damage and the development of economic injury levels. *J. Appl. Entomol.* 134: 105-115.
- Flint, M. L., B. Kobbe, J. K. Clark, S. H. Dreistadt, and J. E. Pehrson, D. L. Flaherty, N. V. O'Connell, P. A. Phillips, and J. G. Morse. 1991.** Integrated Pest Management for Citrus, 2nd ed. University of California, Oakland, CA, USA.

- Franco, J.C., F. Garcia-Marí, A. P. Ramos, and M. Besri. 2006.** Survey on the situation of citrus pest management in Mediterranean countries. IOBC/WPRS Bull. 29: 335–346.
- Gilbert, M. J., and E. C. G. Bedford. 1998.** Citrus thrips, *Scirtothrips aurantii* Faure. Citrus Pests in the Republic of South Africa (ed. by E. C. G. Bedford, M. A. van den Berg and E. A. de Villiers), pp. 164-170. ARC-Institute for Tropical and Subtropical Crops, Nelspruit, South Africa.
- Green, R. H. 1970.** On fixed precision level sequential sampling. Res. Popul. Ecol. 12: 249-251.
- Grout, T. G., and G. I. Richards. 1990.** Monitoring citrus thrips, *Scirtothrips aurantii* Faure (Thysanoptera, Thripidae), with yellow card traps and the effect of latitude on treatment thresholds. J. Appl. Entomol. 109: 385-389.
- Grout, T. G. and P. R. Stephen. 2000.** Intervention thresholds for citrus thrips *Scirtothrips aurantii* on citrus fruit. SA Fruit Journal 1: 18-19.
- Hare, J. D. 1993.** Sampling arthropod pests in citrus. Handbook of Sampling Methods for Arthropods in Agriculture (ed. by L. P. Pedigo and G. D. Buntin), pp. 417-432. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Higley, L. G. and W. K. Wintersteen. 1996.** Threshold and environmental quality. Economic Thresholds for Integrated Pest Management (ed. by L. G. Higley and L. P. Pedigo), pp. 249-274. University of Nebraska Press, Lincoln, NE, USA.
- Iwao, S. 1968.** A new regression method for analyzing the aggregation pattern of animal populations. Res. Popul. Ecol. 10: 1-20.
- Jackman, D., M. Keller, G. J. Baker, A. MacGregor, and S. Purvis, S. 2011.** The key to controlling Kelly's citrus thrips is finding them early. South Australian Research and Development Institute.
http://www.sardi.sa.gov.au/pestsdiseases/horticulture/horticultural_pests/kelly_citrus_thrips. Access 25 January 2011.
- Kirk, W. D. J. 1987.** A Key to the Larvae of Some Common Australian Flower Thrips (Insecta, Thysanoptera), With a Host-Plant Survey. Aust. J. Zool. 35: 173-185.
- Kuno, E. 1986.** Evaluation of statistical precision and design of efficient sampling for the population estimation based on frequency of occurrence. Res. Popul. Ecol. 28: 305-319.
- Kuno, E. 1991.** Sampling and analysis of insect populations. Annu. Rev. Entomol. 36: 285-304.
- Lacasa, A, and J. M. Llorens. 1996.** Trips y su Control Biológico I. Pisa Ediciones, Alicante, Spain.
- Lloyd, M. 1967.** Mean crowding. Journal of Animal Ecology 1-30.

- MARM. 2011.** Ministerio de Medio ambiente y Medio Rural y Marino. <http://www.marm.es>. Access 25 January 2011.
- Marullo, R. 1998.** *Pezothrips kellyanus*, un nuovo tripide parassita delle colture meridionali. *Informatore Fitopatologico* 48: 72-75.
- Marullo, R. 2001.** Impact of an introduced pest thrips on the indigenous natural history and agricultural systems. Thrips, Plants, Tospoviruses: Proceedings of the 7th International Symposium on Thysanoptera, University Reggio Calabria, Reggio Calabria, Italy (ed. by L. A. Mound and R. Marullo), pp. 285-288. CSIRO Entomology, Canberra, Australia.
- Milne, J. R., M. Milne, and G. H. Walter. 1997.** A key to larval thrips (Thysanoptera) from Granite Belt stonefruit trees and a first description of *Pseudanaphothrips achaetus* (Bagnall) larvae. *Aust. J. Entomol.* 36: 319-326.
- Moore, S. D., T. G. Grout, V. Hattingh, and J. H. Hofmeyr. 2008.** Thresholds and guidelines for intervention against citrus pests. *SA Fruit Journal* 9: 77-81.
- Mound, L. A, and D. J. Jackman. 1998.** Thrips in the economy and ecology of Australia, pp. 472-478. *In: Pest Management – Future Challenges, Proceedings of the Sixth Australian Applied Entomological Research Conference* (eds MP Zalucki, RAI Drew & GG White), pp. 472–478. University of Queensland, St Lucia, Australia.
- Mound, L. A., and A. K. Walker. 1982.** Terebrantia (Insecta: Thysanoptera). *Fauna of New Zealand*. 1: 1-113.
- Naranjo, S. E., and W. D. Hutchison. 1997.** Validation of arthropod sampling plans using a resampling approach: software and analysis. *Am. Entomol.* 43: 48-57.
- Navarro, C., A. Aguilar, and F. Garcia Marí. 2008.** *Pezothrips kellyanus*: trips causante de daños en frutos de cítricos. *Levante Agrícola* 392: 298-303.
- Navarro, C., A. Aguilar, and F. Garcia-Marí. 2009.** Reconocimiento de inmaduros y adultos de *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae) y caracterización de sus daños en cítricos. *Phytoma España* 214: 16-17.
- Navarro-Campos, C., A. Aguilar, and F. Garcia-Marí. 2011.** Population trend and fruit damage of *Pezothrips kellyanus* in citrus orchards in Valencia (Spain). *IOBC/WPRS Bull.* 62: 285-292.
- Norton, G. A. 1976.** Analysis of decision making in crop protection. *Agro-Ecosystems* 3: 27-44.
- Orphanides, G. 1998.** Thrips on citrus. *Annual Review for 1997. Agricultural Research Institute, Nicosia, Cyprus.*
- Park, J. J., D. H. Lee, K. I. Shin, J. H. Lee, and K. Cho. 2009.** Analysis of spatial and temporal associations of adult and immature *Frankliniella occidentalis* Pergande

- (Thysanoptera: Thripidae) in cucumber greenhouses. *Appl. Entomol. Zool.* 44: 569-577.
- Parker, B. L., and M. Skinner. 1997.** Integrated pest management (IPM) in tree crops, pp. 615-638. *En* T. Lewis (ed.), *Thrips as crop pests*. CAB International, Wallingford, UK.
- Pedigo, L. P. 1999.** *Entomology and Pest Management*, 3rd edn. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA.
- Pedigo, L. P., S. H. Hutchins, and L. G. Higley. 1986.** Economic injury levels in theory and practice. *Annu. Rev. Entomol.* 31: 341-368.
- Perrotta, G., and F. Conti. 2008.** A threshold hypothesis for an integrated control of thrips infestation on citrus in South-Eastern Sicily. *IOBC/WPRS Bull.* 38: 204-209.
- Perrotta G, R. Fiscaro, S. Vecchio, D. Cartabellotta, and C. C. Pedrotti. 2004.** Citrus Thrips Monitoring Methods in Eastern Sicily. *Proc. Int. Soc. Citriculture*, 900-903.
- Quayle, H. J. 1938.** *Insects of citrus and other subtropical fruits*. Comstock, Ithaca, New York. USA.
- Rhodes, A. A., and J. G. Morse. 1989.** *Scirtothrips citri* sampling and damage prediction on California navel oranges. *Agric. Ecosyst. Environ.* 26: 117-129.
- Salguero Navas, V. E., J. E. Funderburk, T. P. Mack, R. J. Beshear, and S. M. Olson. 1994.** Aggregation indices and sample size curves for binomial sampling of flower-inhabiting *Frankliniella* species (Thysanoptera: Thripidae) on tomato. *J. Econ. Entomol.* 87: 1622-1626.
- Samways, M. J. 1986.** Spatial distribution of *Scirtothrips aurantii* Faure (Thysanoptera: Thripidae) and threshold level for one per cent. damage on citrus fruit based on trapping with fluorescent yellow sticky traps. *Bull. Entomol. Res.* 76: 649-659.
- Southwood, T. R. E. and P. A. Henderson. 2000.** *Ecological Methods*, 3rd. edn. Blackwell, Oxford, UK.
- Statgraphics. 1994.** Version 5.1 Plus. Statistical Graphics System by Statistical Graphics Corporation. Manugistics, Rockville, MD, USA.
- Steiner, M. Y. 1990.** Determining population characteristics and sampling procedures for the western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) and the predatory mite *Amblyseius cucumeris* (Acari: Phytoseiidae) on greenhouse cucumber. *Environ. Entomol.* 19:1605-1613.
- Stern, V. M., R. F. Smith, R. van den Bosch, and K. S. Hagen. 1959.** The Integrated Control Concept. *Hilgardia* 29: 81-101.

- Taylor, L. R. 1961.** Aggregation, variance and the mean. *Nature* 189: 732-735.
- Tena, A., J. Catalán, C. Monzó, J. A. Jacas, and A. Urbaneja. 2009.** Control químico de *Pezothrips kellyanus*, nueva plaga de los cítricos, y sus efectos sobre la entomofauna auxiliar. *Levante Agrícola* 397: 281-289.
- Teksam, I., and I. Tunç. 2009.** An analysis of Thysanoptera associated with citrus flowers in Antalya, Turkey: Composition, distribution, abundance and pest status of species. *Appl. Entomol. Zool.* 44: 455-464.
- Tsuchiya, M., M. Togawa, K. Furuhashi, and S. Masui. 1995.** Infestation and damage caused by western flower thrips (*Frankliniella occidentalis* Pergande) on satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.). *Jap. J. Appl. Entomol. Zool.* 39:.
- Varikou, K., J. A. Tsitsipis, V. Alexandrakis, and L. A. Mound. 2002.** *Pezothrips kellyanus* (Bagnall) (Thysanoptera: Thripidae), a new pest of citrus trees in Crete, p. 33. *In: Proceedings of the VIIth European Congress of Entomology, 7–13 October 2002, Thessaloniki, Greece.*
- Vassiliou, V. A. 2007.** Chemical control of *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae) in citrus plantations in Cyprus. *Crop Prot.* 26: 1579-1584.
- Vassiliou, V. A. 2010.** Ecology and Behavior of *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae) on Citrus. *J. Econ. Entomol.* 103: 47-53.
- Vierbergen, G., H. Kucharczyk, and W. D. J. Kirk. 2010.** A key to the second instar larvae of the Thripidae of the Western Palearctic region. *Tijdschr. Entomol.* 153: 99-160.
- Wang, K., and J. L. Shipp. 2001.** Sequential sampling plans for western flower thrips (Thysanoptera : Thripidae) on greenhouse cucumbers. *J. Econ. Entomol.* 94: 579-585.
- Wilson, L. T., and P. M. Room. 1983.** Clumping patterns of fruit and arthropods in cotton, with implications for binomial sampling. *Environ. Entomol.* 12: 50-54.

CAPÍTULO 6

Factors influencing citrus fruit scarring
caused by *Pezothrips kellyanus*
(Thysanoptera: Thripidae)



6 Factors influencing citrus fruit scarring caused by *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae)

Navarro-Campos, C., A. Pekas, A. Aguilar, F. Garcia-Marí. Factors influencing citrus fruit scarring caused by *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae). (Submitted to Journal of Pest Science)

Abstract: Kelly's citrus thrips (KCT) *Pezothrips kellyanus* (Bagnall) (Thysanoptera: Thripidae) is a recently reported citrus pest worldwide. Due to the detrimental effects caused on fruits by KCT, we wanted to study some of the factors influencing fruit scarring. Specifically, the objectives were: (1) to identify alternative host-plants, (2) to determine the moment/s when citrus fruits are damaged by KCT and the population structure of KCT during this period, and finally, (3) to study the influence of temperature on intensity of damage. KCT populations on flowers and fruitlets as well as the percentage of damaged fruits were sampled in four citrus orchards from 2008 to 2010. Moreover, different potential hosts for KCT were sampled inside or in the vicinity of the same orchards looking for the presence of KCT larvae. *Araujia sericifera* was found as a new host for KCT. For all three years, the damage started to increase at about 350-650 degree-days (DD), coinciding with the peak abundance of the second larval stages. Overall, the maximum percentage of larval stages of KCT was observed in the three years at about 500 DD, a critical period which corresponds to the end of May or early June. Variation in fruit scarring was apparently related to air temperature, which could affect the synchronization between the peak of KCT larvae and the period when fruitlets are susceptible to thrips feeding. The yearly climatic trend can also influence the survival and development of KCT populations in citrus and other host plants present in the citrus agro-ecosystem.

6.1 Introduction

Since the decade of 1990, Kelly's citrus thrips (*Pezothrips kellyanus* (Bagnall)) (Thysanoptera: Thripidae) (thereafter KCT) has been reported as a new important economic pest of citrus in southern Australia, New Zealand, and several countries of the Mediterranean basin, namely Italy, Greece, Portugal, Turkey, Cyprus (Blank and Gill, 1997; Marullo, 1998; Mound and Jackman, 1998; Orphanides, 1998; Varikou et al., 2002; Franco et al., 2006; Vassiliou, 2007). Given that KCT has only recently become economically relevant, there is limited knowledge about basic aspects of its ecology and damage potential. Adults and larvae of KCT are normally found in large numbers in the flowers of various citrus varieties (Blank and Gill, 1997; Conti et al., 2001; Costa et al., 2006; Teksam and Tunç, 2009; Navarro-Campos et al., 2011). Mature second-instar larvae of KCT drop from the citrus canopy to the leaf litter and soil, where they pupate in the upper 2 cm soil-layer (Baker et al., 2002). Newly emerged adults, paler in color than the black mature adults, move up from the soil into the tree canopy to feed and reproduce (Mound and Jackman, 1998). In contrast with *S. citri* and *S. aurantii*, two other thrips species also damaging citrus which insert their eggs into young and soft tissues of leaves, stems or fruits (Horton, 1918; Grout et al., 1986; EPPO, 2005), KCT inserts its eggs generally in flower parts, mostly in the petals, or in mature fruits (Baker et al., 2002). Given that these breeding sites for KCT are not available all year round, it is crucial to identify alternative breeding hosts in the citrus ecosystem that may contribute to the survival of KCT between the flowering periods of two consecutive years.

KCT adults have been found in numerous plant species (Froud et al., 2001; EPPO, 2006; Webster et al., 2006; Vassiliou, 2010). However, in thrips it is important to differentiate between incidental and breeding host plants (Reitz et al., 2011). Many plants serve as incidental hosts for thrips supplying refuge and food for adults, but a plant is defined as a breeding host only if both adults and larvae are present (Mound and Marullo, 1996; Froud et al., 2001). Records of breeding KCT larvae have been registered only in a few unrelated plant species, usually with white and sweetly scented flowers, including *Hymenosporum flavum* F. Muell., *Pittosporum tobira* (Thunb.) W.T. Aiton, *Westringia fruticosa* (Willd.) Druce, *Jasminum* spp., *Lonicera* spp., and *Gardenia jasminoides* Ellis (Kirk, 1987; Mound and Jackman, 1998; Froud et al., 2001; Baker, 2006; Vassiliou, 2010).

In Spain, citrus fruit damage by *P. kellyanus* was first observed in 2007 (Navarro-Campos et al., 2011). Until that time, only *Heliothrips*

haemorrhoidalis (Bouche) and *Scirtothrips inermis* Priesner (Thysanoptera: Thripidae) had occasionally caused damage to citrus fruits in localized areas of Spain (Gomez-Clemente, 1952; Lacasa et al., 1996; EPPO, 2005). The fruit damage caused by *H. haemorrhoidalis* consists of grey scars, generally between mature fruits in contact, which are sprinkled with black spots of excreta (Blank and Gill, 1997; Smith et al., 1997). On the other hand, *S. inermis* causes rind scarring on citrus fruits, a symptom which is similar to those produced by other species of *Scirtothrips*, such as *Scirtothrips citri* (Moulton) or *Scirtothrips aurantii* Faure, and also by KCT (Lacasa et al., 1996; Smith et al., 1997).

The rind scarring caused by thrips in citrus is mostly produced by the second larvae after petal fall (Wiesenborn and Morse, 1986; Rhodes and Morse, 1989). Larvae congregate under the calyces of the young fruitlets where they feed. The resultant damage to the rind appears in the form of silvery scars under the calyx. As the fruit grows this damaged area expands across the surface of the fruit (Baker, 2006). The mature fruits are consequently downgraded for the fresh market (Blank and Gill, 1997). In the case of KCT, the period when damage occurs is not accurately determined. The determination of this period throughout the growing season, and, most importantly, its association with yearly climatic data, i.e. sum of degree days above the developmental threshold of KCT, will enable us to predict years with higher damage and eventually act preventively against this pest. Moreover, there is little information on the abundance and the population structure (life stages) of KCT when damage occurs. Knowledge of this information would be of additional help for KCT pest management.

Interannual variation in fruit scarring has commonly been observed in thrips damaging citrus (Lewis, 1935; Grout et al., 1986). It has been related with air temperatures in the case of *S. citri*. Cool weather during early March and warm weather during bloom were associated with higher percentages of scarred fruit (Schweizer and Morse, 1997). Interannual variation has also been observed in KCT (Perrotta and Conti, 2008; Vassiliou, 2010). In this species, temperatures could influence KCT in a different manner because adults establish in flowers in order to breed, whereas *S. citri* and *S. aurantii* are leaf-living species which establish on new foliage as well as on young fruit (Horton, 1918; Grout et al., 1986, Blank and Gill, 1997).

Thus, the objectives of this study were threefold: (1) to identify potential alternative host-plants used by KCT for reproduction, (2) to determine the moment/s throughout the growing season when citrus fruits are damaged by KCT and the population abundance and structure of KCT during this period,

and finally, (3) to study the influence of temperature on KCT populations and intensity of fruit scarring.

6.2 Material and methods

6.2.1 Sampling sites

Thrips populations and damage were studied in four citrus orchards from 2008 to 2010. All the orchards were commercial citrus plantations, with normally developed 11 to 15-yr-old trees in full production, situated in an extensive citrus monoculture region in the south of the city of Valencia, in eastern Spain (39° 11' N, 0° 22' O, 11 m altitude). The climate is Mediterranean with mild winters and dry summers. The orchards were selected for having high thrips damage, consisting in scars around the calyx, the previous year. Two orchards were of sweet orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) (Valencia Late variety) and two orchards were of hybrid Ortanique (*C. sinensis* x *C. reticulata*). The area of each orchard ranged from 0.5 to 2 ha. The area of the orchard where samplings were carried out (5 x 5 trees in each orchard) had not been treated with pesticides for at least six months before samplings and was not treated during the sampling period.

6.2.2 Fruit damage caused by KCT

The percentage of fruits damaged by KCT was recorded by randomly sampling 50 fruits from the exterior of the canopy per orchard (five per tree from 10 different trees). This sampling was carried out weekly from the beginning of the fruit development period (May 12th in 2008, May 17th in 2009 and June 11th in 2010) until the end of June, and fortnightly from July to October. Fortnightly samplings started in July because no damage is expected to occur from July in our study conditions, since abundance of KCT populations on citrus fruits decreases up to zero in July (Navarro-Campos et al., 2011). Fruit damage was recorded as any kind damage (mild or severe) and only severe damage. Damage was considered when fruits showed any scar caused by KCT, including slight scars. Severe damage was considered when scars on the fruit consisted of a complete ring around the calyx or a wide partial ring with other minor scars on the fruit surface. Fruit damage caused by KCT was differentiated from similar damage caused by other insects like *Anatrachyntis badia* Hodges (Lepidoptera: Cosmopterigidae) or from fruit scars caused by wind according to Lacasa et al. (1996), Bedford (1998) and Navarro-Campos et al. (2010).

6.2.3 *KCT population sampling procedure*

On each orchard, fifty newly opened citrus flowers or fruitlets were randomly collected from the exterior part of the canopy (five per tree from 10 different trees). Each flower or fruitlet was immediately placed individually inside a 20 ml plastic container with a screw top having 10 ml of 70% ethanol. This sampling was repeated weekly from the beginning of the flowering period (March 13th in 2008, March 26th in 2009 and April 6th in 2010) until the end of June during the three years of the study. In total, 2,450 flowers and 3,746 fruitlets were collected. In the laboratory, flowers and fruitlets were carefully searched and all postembryonic developmental stages of thrips were extracted using a fine brush and identified under a stereomicroscope. Microscope slides were used in order to identify KCT larvae (Heinze PVA). Male and female adults and second instar larvae were identified on the basis of the descriptions of Mound and Walker (1982), Kirk (1987), Milne et al. (1997) and Vierbergen et al. (2010). First instar larvae were identified according to the description by Navarro-Campos et al. (2012).

6.2.4 *Climatic data*

Daily air temperature data were obtained from four meteorological stations situated in the area of study. The sum of degree-days was calculated by accumulated daily mean temperature above 10.2°C starting on January 1st for each year, according to the developmental threshold for KCT established by Varikou et al. (2009) (**Fig. 1**).

6.2.5 *Alternative host plants for KTC*

When available, flowers of plant species grown inside the citrus orchards or in adjacent roadsides were collected and examined for the presence of KCT immature and adults during the three years of the study. The number of samples collected from each plant species ranged from two to eight. Each sample consisted of 5-20 flowers, collected in paper bags and carried to the laboratory. The flowers were placed in Berlese funnels during 48 h. Adults and larvae of KCT moved away from the light/heat source down the funnel and fell into a 20 ml black plastic container with 70% ethanol. Afterwards, KCT larvae and adults were identified (see above) and counted under a stereomicroscope.

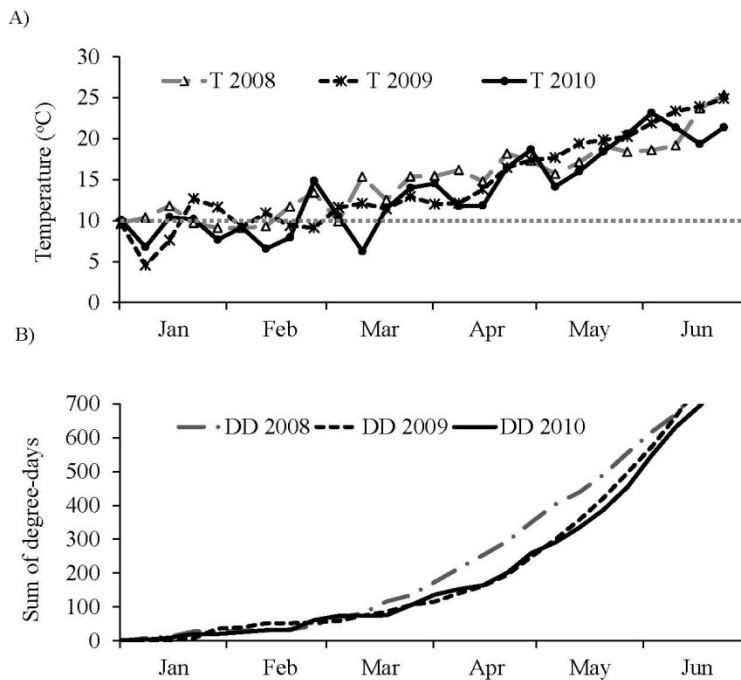


Fig. 1. (A) Mean weekly temperatures and (B) sum of degree-days calculated as the sum of the daily mean temperature above 10.2°C from January to June in 2008, 2009 and 2010. Mean temperature values obtained from four weather stations located in the study area.

6.2.6 Statistical analysis

We used two-way analysis of variance (ANOVA) to compare the percentage of damaged and severely damaged fruits at the end of the fruit growing period (mean from August to September) between the three years studied, including orchard as a factor. Percentages were arcsine transformed before analyses in order to meet the normality criteria and variance homogeneity. We also used two-way ANOVA to compare the KCT abundance per flower and per fruitlet between years, including orchard as a factor. Data were $\log_{10}(x + 1)$ transformed before analyses. For both analyses, means were compared using Fisher's least significant difference (LSD) test with significance level set at $\alpha = 0.05$. All Statistical analyses were performed using Statgraphics 5.1 software (Statgraphics 1994).

6.3 Results

6.3.1 Appearance of fruit damage caused by KCT and population structure during this period

The appearance of fruit damage caused by KCT differed between the three years of the study. Symptoms appeared earlier in 2008 and 2009 (350-450 degree-days (DD) corresponding to May) than in 2010 (650 DD, June) (**Fig. 2**). The percentage of damaged fruits increased progressively from May to July, between 350 and 1200 DD. Between August and October the percentage of damaged fruits remained more or less constant resulting in the final damage observed at harvest in October.

The proportion of larval stages in KCT populations varied considerably during the period when thrips were present on flowers and fruitlets, but in general was higher in 2008 and 2009 compared with 2010 (**Fig. 3**). Overall, the maximum percentage of larval stages of KCT was observed in the three years at about 500 DD, a period which corresponds to the end of May or early June.

The percentage of immature stages decreased afterwards dropping almost to zero as fruit growing progressed. The proportion of males fluctuated also widely during this period, being higher than the proportion of females during or at the end of the petal fall period, at about 300 DD, the three years of study (**Fig. 3**).

6.3.2 Internannual variation in fruit damage caused by KCT

The percentage of fruit damage per orchard at harvest ranged in the four orchards sampled from 41.2 ± 2.0 to 77.8 ± 1.9 in 2008, from 23.0 ± 3.0 to 67.5 ± 3.3 in 2009, and from 10.0 ± 2.1 to 23.5 ± 3.0 in 2010. Pooling data from all the orchards, the mean percentage of fruits damaged or severely damaged by KCT at harvest was the highest in 2008, intermediate in 2009 and the lowest in 2010 ($F = 16.68$; $df = 2, 11$; $P = 0.003$ and $F = 14.27$; $df = 2, 11$; $P = 0.006$, for damaged and severely damaged fruits, respectively. Used orchard as a factor) (**Table 1**).

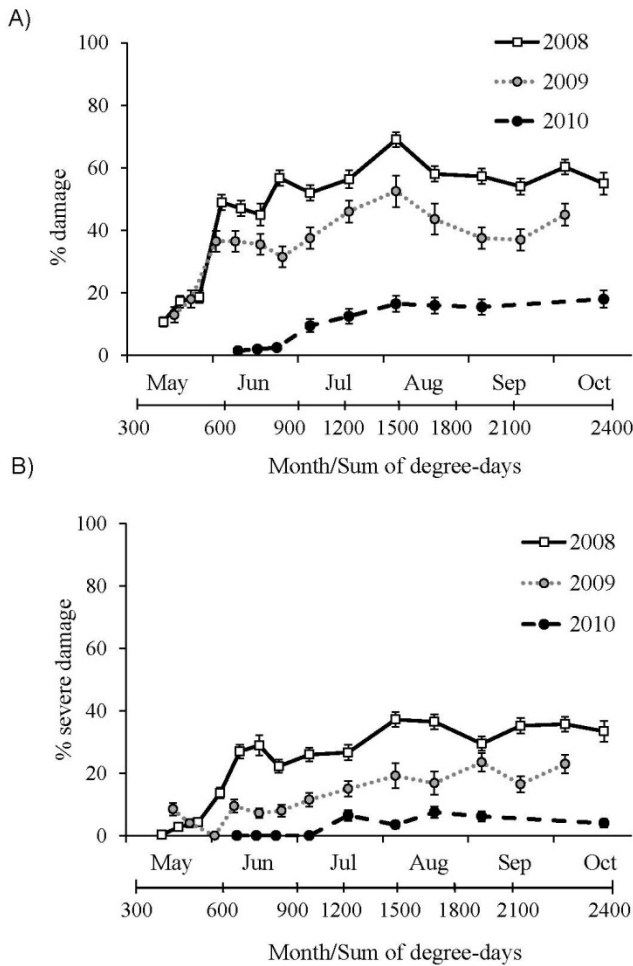


Fig. 2. Percentage (mean \pm SE) of fruits (A) damaged or (B) severely damaged by KCT in 2008, 2009 and 2010. Data collected from four citrus orchards in eastern Spain sampled weekly from the beginning of fruit development period to end of June, and fortnightly, from July to October. On the secondary horizontal axis the mean of sum of degree-days for the three years of study is presented (calculated starting from January 1st, > 10.2° C).

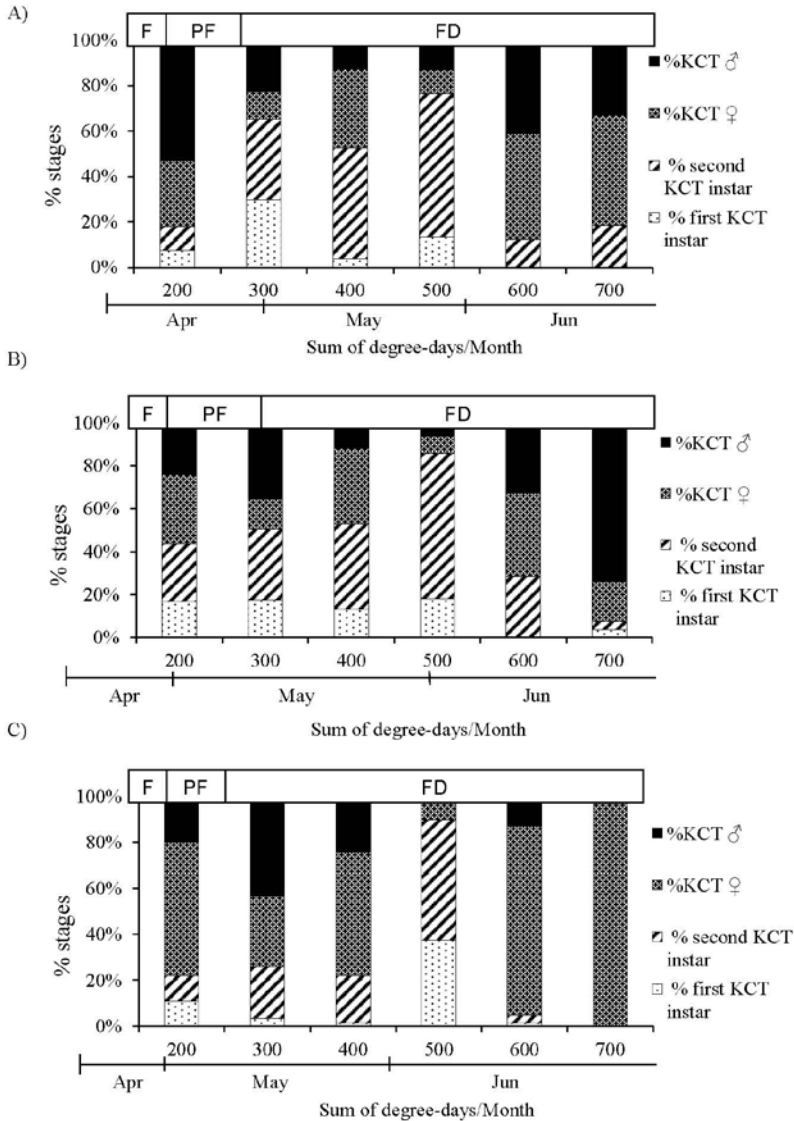


Fig. 3. Proportion of instars and sexes of KCT on citrus flowers and fruitlets sampled in four orchards in eastern Spain in (A) 2008, (B) 2009 and (C) 2010. On the horizontal axes the degree-days (calculated starting from January 1st) and the corresponding months are presented. Above each graph the length of the flowering period (F), petal fall period (PF) and fruit developing period (FD) is presented. Note that these periods are different between the years.

Table 1. Percentage (mean \pm SE) of citrus fruits damaged or severely damaged by KCT and number (mean \pm SE) of KCT individuals (adults and larvae) per sample unit (flower or fruitlet) for 2008, 2009 and 2010. Data obtained from four citrus orchards sampled from August to October in eastern Spain. Inside each column, means followed by different letters differ significantly at $P < 0.05$ (Fisher protected LSD).

Year	Fruit damage by KCT		KCT abundance	
	% damaged	% severely damaged	Flower	Fruitlet
2008	60.78 \pm 9.66 a	35.46 \pm 4.74 a	2.21 \pm 1.08 a	0.39 \pm 0.15 a
2009	41.88 \pm 9.22 a	20.25 \pm 4.99 b	2.26 \pm 1.46 a	0.20 \pm 0.08 ab
2010	16.63 \pm 2.83 b	5.00 \pm 0.79 c	0.35 \pm 0.20 b	0.04 \pm 0.02 b

The population abundance of KCT (adults and larvae) in flowers and fruitlets was significantly different in the three years studied (**Table 1**). The mean number of thrips per flower, observed at about 200-350 DD, was much higher in 2008 and 2009 than in 2010 ($F = 5.78$; $df = 2, 11$; $P = 0.04$). KCT populations on fruitlets, observed within the period from 250 to 700 DD, were significantly higher in 2008 than in 2010, being intermediate in 2009 ($F = 7.05$; $df = 2, 11$; $P = 0.03$).

A relationship was observed between the sum of degree-days on January 1st and the percentage of severe fruit damage at harvest ($r = 0.98$, $df = 2$, $P < 0.05$). The highest sum of degree-days was observed in 2008 (618 DD), the year when most severe damage was observed (35%), followed by 2009 (573 DD) when damage was intermediate (20%), whereas the lowest sum of degree-days was observed in 2010 (548 DD) when only 5% of damage was detected.

6.3.3 *Alternative host plants in the citrus agro-ecosystem*

Breeding populations of KCT were detected in several non-citrus host plants located inside or in the vicinity of the citrus orchards sampled (**Table 2**). Both larval instars and adult KCT were found in great numbers on jasmine (*Jasminum officinale* L.), Japanese honeysuckle (*Lonicera japonica* Thunb.), Japanese cheesewood (*P. tobira*) and white bladderflower (*Araujia sericifera* Brot.). Among these plant species, *A. sericifera* is a new host record for KCT.

Four second instar larvae (L2) of KCT were encountered in a sample of 20 flowers of Bermuda buttercup (*Oxalis pes-caprae* L.), a common and widespread cover crop in Mediterranean citrus orchards during the winter

period. Since no L1 was found, and given that plants were situated under citrus trees, from where L2 might have accidentally fallen down on flowers of this plant, we did not consider the Bermuda buttercup as a breeding host for KCT (Mound and Marullo, 1996; Froud *et al.* 2001). Only adults of KCT were found on *Narcissus* sp., *Passiflora edulis* Sims., *Nerium oleander* L., *Diplotaxis erucoides* (L.) DC. and *Malus domestica* Borkh. Since immature thrips were not present in the flowers of these five plant species, they should be considered as incidental rather than breeding hosts for KCT (**Table 2**).

Table 2. Adult and immature KCT (mean \pm SE) extracted from plant samples (with 5 to 20 flowers per sample) located inside or in the vicinity of citrus orchards.

Host species	Flowering period	No. of samples	No. of flowers	adult KCT/flower	immature KCT/flower	% samples with KCT larvae
<i>Jasminum officinale</i> L.	Apr-Nov	5	57	23.05 \pm 7.11	5.54 \pm 3.28	100 ^a
<i>Lonicera japonica</i> Thunb.	May-Aug	4	35	29.37 \pm 6.93	4.25 \pm 1.61	100 ^a
<i>Pittosporum tobira</i> (Thunb.) W.T. Aiton	Mar-Apr	5	50	11.16 \pm 5.13	2.36 \pm 1.12	100 ^a
<i>Araujia sericifera</i> Brot.	Mar-Oct	5	50	1.58 \pm 0.75	0.52 \pm 0.24	80 ^a
<i>Oxalis pes-caprae</i> L.	Sep-May	8	110	0.09 \pm 0.05	0.04 \pm 0.03	12.5 ^b
<i>Narcissus tazetta</i> L.	Dic-Apr	2	10	3.2 \pm 1.60	0	0
<i>Passiflora edulis</i> Sims.	Apr-May	3	15	1.47 \pm 1.01	0	0
<i>Nerium oleander</i> L.	May-Sep	8	80	0.37 \pm 0.19	0	0
<i>Diplotaxis erucoides</i> (L.) DC.	Jan-Dec	7	70	0.11 \pm 0.09	0	0
<i>Malus domestica</i> Borkh.	Apr-May	2	35	0.07 \pm 0.07	0	0
<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	Sep-Jan	4	45	0	0	0

^a First and second larval instars were present

^b Only second instar

6.4 Discussion

For all three years of the study, the fruit damage caused by KCT started to increase during the beginning of the fruit growing period, at about 350-650 DD. Interestingly, the relative abundance of the immature KCT stages, and particularly of L2, peaked at around 300-500 DD. L2 is considered the KCT stage responsible for damages caused to small fruits (Baker et al., 2002; Navarro-Campos et al., 2012). Thus, damage by KCT is expected to occur mostly at the period from 300 to 500 DD. Regarding the phenological stage of the citrus trees, petal fall occurs between 200 and 300 DD. In this period a week corresponds to approximately 50 DD. Thus, damage by KCT is most likely produced from the first until the fifth week after petal fall. In that period it is crucial to monitor the abundance of KCT larvae on fruitlets in order to decide the necessity of an insecticide treatment. Baker et al. (2002) also reported that most of the rind damage caused by KCT in Australia occurred during the four to five weeks following petal fall. Likewise, the economic damage caused by *S. citri*, a citrus thrips species that causes a similar damage to KCT, was highly correlated to the second instar activity during the first 3-6 weeks after petal-fall (Rhodes and Morse, 1989).

The intensity of the fruit damage caused by KCT differed between the three years of the study being highest in the year 2008 followed by 2009, whereas 2010 showed the lowest level of damage. Fruit scarring by KCT was also variable between years in Italy (Perrotta and Conti, 2008) and Cyprus (Vassiliou, 2010). In parallel with fruit damage, KCT populations in flowers and fruitlets were significantly higher during 2008, intermediate in 2009, and lower in 2010.

High number of weeks with temperature below 10.2°C might reduce thrips damage. According to Varikou et al. (2009; 2012), in laboratory conditions KCT abundance is affected by air temperature. Regarding our observations of temperatures in field conditions, weekly means of daily air temperatures during winter and early spring varied between the years studied. In 2010, when a lower level of damage was observed, there were more weeks in which mean temperatures were below +10.2 °C, the developmental threshold for KCT (Varikou et al., 2009) (**Fig. 1A**). This could strongly reduce the population development of KCT adults overwintering on citrus orchards or alternative host plants. Additionally, temperature might explain differences in the relative abundance of immature KCT instars (the most harmful stages) between the three years studied. At the end of May, the sum of degree-days was approximately 100 degree-days higher in 2008 compared with 2010. Given that

75.8 degree-days above the temperature threshold of 10.2°C are required for immature development in KCT (Varikou et al., 2009), one more generation of KCT larvae could develop until that critical moment in 2008 with respect to 2010, and consequently, more damage would be expected. The correlation between the sum of degree-days on June 1st and the percentage of severe fruit damage at harvest corroborate the relationship between temperatures and final fruit scarring.

It is important to highlight the differential effect of weather conditions on KCT and *S. citri*. According to Schweizer and Morse (1997), cool weather during early March and warm weather during citrus blooming are associated with high levels of fruit scarring caused by *S. citri*. They argue that cold weather in early March may ensure timely hatching of diapausing eggs and could also prolong the period during which the young citrus leaves are suitable for *S. citri* feeding and survival during the first larval generation. But *S. citri* develops only on soft tissue of young fruit, tender leaves and shoots of citrus and overwinters in the egg stage inside the leaf tissue (Horton, 1918; Schweizer and Morse, 1997), whereas KCT develops primarily on citrus flowers, and to a lesser extent on small fruitlets and mature fruits (Baker et al., 2002; Perrotta and Conti, 2008). Moreover, KCT overwinters on mature fruits or alternative hosts. In addition, according to Lovatt et al. (1984) who modeled the blooming phenology of Washington Navel oranges using a threshold of 9.4°C, KCT (with a threshold of 10.2°C) follows the phenological stages of the host plant more closely than *S. citri*, which has a higher developmental threshold of 14.6 °C (Tanigoshi et al., 1980).

Our results suggest that the final amount of fruit scarring caused by KCT is influenced by the synchronization of two factors, the peak of larvae proportion in the population and the suitability of fruitlets for thrips feeding. Interestingly, this synchronization varied between three years of our study. The period when most of damage was produced by KCT (300-500 DD) occurred in an earlier date in 2008, the year with the highest fruit damage, and later in 2010, the year with the lowest fruit damage (the situation was intermediate in 2009). Coincidentally, the period in which thrips were present on flowers and fruitlets and the proportion of larvae was maximum (at around 500 DD), occurred earlier in 2008 and later in 2010, being intermediate in 2009 (**Fig. 1B**). Moreover, in 2008 and 2009 the percentage of KCT immature stages during the petal fall period was > 60%, whereas it was 20% during the same period in 2010. Similarly, the percentage of KCT immatures on developing fruits remained high (> 50%) in 2008 and 2009, but not in 2010. The synchronization was also

important regarding fruit scarring caused by *S. citri* in citrus in California (Schweizer and Morse, 1997).

Other factors that might also contribute to the variation in the abundance of KCT populations on flowers and fruitlets include strong wind and precipitations during the critical period when damage is produced. Both factors were not determined in the present study, but their influence has been observed for other citrus thrips species (Lewis, 1935; Lewis, 1997). Finally, the presence of adequate feeding-breeding sites located near citrus orchards could also determine major abundances of the thrips on citrus flowers or fruitlets (Perrotta and Conti, 2008; Varikou et al., 2009; Vassiliou, 2010).

In non-annual crops, early season thrips populations depend largely on the capacity of resident adults to overwinter within the crop (Lewis, 1997). Furthermore, the migration of polyphagous thrips pests from non-crop surrounding hosts into the cropping systems has been documented by several authors (Chellemi et al., 1994; Northfield et al., 2008; Schellhorn et al., 2010). Adjacent plants that could act as reservoirs of KCT populations can increase the percentage of citrus damage registered in citrus orchards. Navarro-Campos et al. (2011) highlighted the importance of alternative breeding hosts for KCT such as mature citrus fruits, isolated lemon trees and jasmine plants inside or in the surroundings of the citrus orchards. According to Vassiliou (2010), in Cyprus, lemon trees situated in residential areas close to citrus orchards are important feeding sources and refuges for KCT populations. Several non-crop species have been cited as host of KCT (Froud et al., 2001; EPPO, 2006; Webster et al., 2006; Vassiliou, 2010). Ours is the first study to report the invasive plant species *A. sericifera* as a breeding host for KCT. According to Varikou et al. (2009), host plants other than citrus inside or in the vicinity of citrus orchards can sustain breeding KCT populations year-round because of their frequent blooming, and reinvasion into orange orchards could also occur from these reservoirs. As can be seen in **Table 2**, the plants that we have identified as host plants for KCT show a more extended flowering period than orange or hybrids trees. Some of these plants, as *J. officinale*, presented flowers until the end of autumn. Thus, this plant could act as a breeding site for KCT when the flowering period of oranges and hybrids has finished.

In conclusion, the occurrence and intensity of damage caused by KCT varied considerably between the three years of the study. These differences in population abundance and damage caused by KCT are, at least in part, related to air temperature during late winter and early spring that affects the synchronization between the abundance of larval stages of KCT and the period

when fruitlet is susceptible to be damaged, as well as to the survival and development of KCT populations in citrus and other hosts plant present in the citrus agro-ecosystem. The relationships shown between temperature (degree-days) and both the moment when fruits are damaged and the population structure of KCT, provides relevant and useful information to assist with managing the pest.

Acknowledgements

The authors thank Alejandro Tena for his valuable suggestions. We also extend our thanks to the owners of the commercial orchards for giving us permission to use their citrus orchards. The first author was awarded an FPI fellowship from the Polytechnic University of Valencia to obtain her PhD degree.

6.5 References

- Baker, G. J. 2006.** Kelly citrus thrips management. Fact sheet. Government of South Australia, primary industries and resources SA.
http://www.sardi.sa.gov.au/data/assets/pdf_file/0010/44875/kctfact_sheet.pdf.
Access 16 July 2012.
- Baker, G. J., D. J. Jackman, M. Keller, A. MacGregor, and S. Purvis. 2002.** Development of an integrated pest management system for thrips in Citrus. HAL Final Report CT97007.
http://www.sardi.sa.gov.au/pestsdiseases/horticulture/horticultural_pests/kelly_citrus_thrips/research_report_1997-2000. Access 16 July 2012.
- Bedford, E. C. G. 1998.** Thrips, wind and other blemishes. Citrus Pests in the Republic of South Africa (ed. by E.C.G. Bedford, M.A. van den Berg and E.A. de Villiers), pp. 170–183. ARC-Institute for Tropical and Subtropical Crops, Nelspruit, South Africa.
- Blank, R. H, and G. S. C. Gill. 1997.** Thrips (Thysanoptera: Terebrantia) on flowers and fruit of citrus in New Zealand. *N. Z. J. Crop Hortic. Sci.* 25: 319-332.
- Chellemi, D., F. Funderburk, and D. Hall. 1994.** Seasonal abundance of flower-inhabiting *Frankliniella* species (Thysanoptera: Thripidae) on wild plant species. *Environ. Entomol.* 23: 337–342.
- Conti, F., R. Tumminelli, C. Amico, R. Fisicaro, C. Frittitta, G. Perrotta, and R. Marullo. 2001.** Monitoring *Pezothrips kellyanus* on citrus in eastern Sicily, pp. 207-210. Thrips and tospoviruses. *En: Proceedings of the 7th International Symposium on Thysanoptera*, 1-8 July 2001, Reggio Calabria, Italy.
- Costa, L., C. Mateus, R. zur Strassen, and J. C. Franco. 2006.** Thrips (Thysanoptera) associated to lemon orchards in the Oeste region of Portugal. *IOBC/WPRS Bull.* 29: 285-291.
- [EPPO] European Plant Protection Organisation Reporting Service. 2005.** *Scirtothrips aurantii*, *Scirtothrips citri*, *Scirtothrips dorsalis*. *EPPO Bull.* 35: 353-356.
- [EPPO] European Plant Protection Organisation Reporting Service. 2006.** *Pezothrips kellyanus*
(http://www.eppo.org/QUARANTINE/Pest_Risk_Analysis/PRAdocs_insects/06-12760%20DS%20PEZTKE.doc). Access 18 June 2012.
- Franco, J. C., F. Garcia-Marí, A. P. Ramos, and M. Besri. 2006.** Survey on the situation of citrus pest management in Mediterranean countries. *IOBC/WPRS Bull.* 29: 335–346.

- Froud, K. J., P. S. Stevens, and D. Steven. 2001.** Survey of alternative host plants for Kelly's citrus thrips (*Pezothrips kellyanus*) in citrus growing regions. *New Zealand Plant Protection* 54: 15-20.
- Gomez-Clemente, F. 1952.** Un tisanóptero causante de daños en las naranjas de algunas zonas de Levante. *Boletín de Patología Vegetal y Entomología Agrícola*. 19: 135–146.
- Grout, T. G., J. G. Morse, N. V. O'Connell, D. L. Flaherty, P. B. Goodell, M. W. Freeman, and R. L. Coviello. 1986.** Citrus thrips (Thysanoptera: Thripidae) phenology and sampling in the San Joaquin Valley. *J. Econ. Entomol.* 79: 1516-1523.
- Horton, J. 1918.** The citrus thrips. *US Dept. Agric. Bull.* 616: 1-42.
- Kirk, W. D. J. 1987.** A Key to the Larvae of Some Common Australian Flower Thrips (Insecta, Thysanoptera), With a Host-Plant Survey. *Aust. J. Zool.* 35: 173-185.
- Lacasa, A., J. M. Llorens, and J. A. Sánchez. 1996.** Un *Scirtothrips* (Thysanoptera: Thripidae) causa daños en los cítricos en España. *Bol. San. Veg. Plagas* 22: 79-95.
- Lewis, H.C. 1935.** Factors influencing citrus thrips damage. *J. Econ. Entomol.* 28: 1011–1015.
- Lewis, T. 1997.** Distribution, abundance and population dynamics, pp. 217–258. *In* T. Lewis (ed.), *Thrips as crop pests*. CAB International, Wallingford, UK.
- Lovatt, C., S. Streeter, T. Minter, N. O'connell, D. Flaherty, M. Freeman, and P. Goodell. 1984.** Phenology of flowering in *Citrus sinensis* (L.) Osbeck, cv. Washington navel orange. *V Proc. Int. Soc. Citric* 1: 186-190.
- Marullo, R. 1998.** *Pezothrips kellyanus*, un nuovo tripide parassita delle colture meridionali. *Informatore Fitopatologico* 48: 72-75.
- Milne, J. R., M. Milne, and G. H. Walter. 1997.** A key to larval thrips (Thysanoptera) from Granite Belt stonefruit trees and a first description of *Pseudanaphothrips achaetus* (Bagnall) larvae. *Aust. J. Entomol.* 36: 319-326.
- Mound, L. A, and D. J. Jackman. 1998.** Thrips in the economy and ecology of Australia, pp. 472-478. *In: Pest Management – Future Challenges, Proceedings of the Sixth Australian Applied Entomological Research Conference* (eds MP Zalucki, RAI Drew & GG White), pp. 472–478. University of Queensland, St Lucia, Australia.
- Mound, L. A, and R. Marullo. 1996.** The thrips of Central and South America (Insecta: Thysanoptera): an introduction. *Mem. Entomol. Int.* 6:1-487.
- Mound, L. A., and A. K. Walker. 1982.** Terebrantia (Insecta: Thysanoptera). *Fauna of New Zealand.* 1: 1-113.

- Navarro-Campos, C., A. Aguilar, and F. Garcia-Marí. 2011.** Population trend and fruit damage of *Pezothrips kellyanus* in citrus orchards in Valencia (Spain). IOBC/WPRS Bull. 62: 285-292.
- Navarro-Campos, C., A. Aguilar, and F. Garcia-Marí. 2012.** Aggregation Pattern, Sampling Plan and Intervention Threshold for *Pezothrips kellyanus* in Citrus Groves. Entomol. Exp. Appl. 142: 130-139.
- Navarro-Campos, C., C. Marzal, A. Aguilar, and F. Garcia Marí. 2010.** Presencia del microlepidóptero *Anatrachyntis badia* en cítricos: Descripción, comportamiento y daños al fruto. Levante Agrícola 402: 270-276.
- Northfield, T. D., D. R. Paini, J. E. Funderburk, and S. R. Reitz. 2008.** Annual cycles of *Frankliniella* spp. (Thysanoptera : Thripidae) thrips abundance on North Florida uncultivated reproductive hosts: Predicting possible sources of pest outbreaks. Ann. Entomol. Soc. Am. 101: 769-778.
- Orphanides, G. 1998.** Thrips on citrus. Annual Review for 1997. Agricultural Research Institute, Nicosia, Cyprus.
- Perrotta, G., and F. Conti. 2008.** A threshold hypothesis for an integrated control of thrips infestation on citrus in South-Eastern Sicily. IOBC/WPRS Bull. 38: 204-209.
- Reitz, S., G. Yu-lin, and L. Zhong-ren. 2011.** Thrips: Pests of Concern to China and the United States. Agricultural Sciences in China 10: 867-892.
- Rhodes, A. A., and J. G. Morse. 1989.** *Scirtothrips citri* sampling and damage prediction on California navel oranges. Agric. Ecosyst. Environ. 26: 117-129.
- Schellhorn, N. A., R. V. Glatz, and G. M. Wood. 2010.** The risk of exotic and native plants as hosts for four pest thrips (Thysanoptera: Thripinae). Bull. Entomol. Res. 100: 501-510.
- Schweizer, H., and J. G. Morse. 1997.** Estimating the level of fruit scarring by citrus thrips from temperature conditions prior to the end of bloom. Crop Prot. 16: 743-752.
- Smith, D., G. A. C. Beattie, and R. Broadley (eds). 1997.** Citrus Pests and Their Natural Enemies: Integrated Pest Management in Australia. Information series Q197030. Queensland Department of Primary Industries, Brisbane, Australia.
- Statgraphics. 1994. Version 5.1 Plus. Statistical Graphics System by** Statistical Graphics Corporation. Manugistics, Rockville, MD, USA.
- Tanigoshi, L. K., J. Y. Nishio, D. S. Moreno, and J. Fargerlund. 1980.** Effect of temperature on development and survival of *Scirtothrips citri* on citrus foliage. Ann. Entomol. Soc. Am. 73: 378-381.

- Teksam, I., and I. Tunç. 2009.** An analysis of Thysanoptera associated with citrus flowers in Antalya, Turkey: Composition, distribution, abundance and pest status of species. *Appl. Entomol. Zool.* 44: 455-464.
- Varikou, K., A. Birouraki, I. Tsitsipis, and Chr. Sergeantani. 2012.** Effect of Temperature on the Fecundity of *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 105: 60-65.
- Varikou, K., I. Tsitsipis, V. Alexandrakis, and M. Hoddle. 2009.** Effect of Temperature on the Development and Longevity of *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 102: 835-841.
- Varikou, K., J. A. Tsitsipis, V. Alexandrakis, and L. A. Mound. 2002.** *Pezothrips kellyanus* (Bagnall) (Thysanoptera: Thripidae), a new pest of citrus trees in Crete, p. 33. *In: Proceedings of the VIIth European Congress of Entomology, 7–13 October 2002, Thessaloniki, Greece.*
- Vassiliou, V. A. 2007.** Chemical control of *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae) in citrus plantations in Cyprus. *Crop Prot.* 26: 1579-1584.
- Vassiliou, V. A. 2010.** Ecology and Behavior of *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae) on Citrus. *J. Econ. Entomol.* 103: 47-53.
- Vierbergen, G., H. Kucharczyk, and W. D. J. Kirk. 2010.** A key to the second instar larvae of the Thripidae of the Western Palearctic region. *Tijdschr. Entomol.* 153: 99-160.
- Webster, K. W., P. Cooper, and L. A. Mound. 2006.** Studies on Kelly's citrus thrips, *Pezothrips kellyanus* (Bagnall) (Thysanoptera: Thripidae): sex attractants, host associations and country of origin. *Aust. J. Entomol.* 45: 67-74.
- Wiesenborn, W. and J. G. Morse. 1986.** Feeding rate of *Scirtothrips citri* (Moulton) (Thysanoptera: Thripidae) as influenced by life stage and temperature. *Environ. Entomol.* 15: 763-766.

CAPÍTULO 7

Soil-dwelling predatory mites in citrus: their potential as natural enemies of thrips with special reference to *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae)

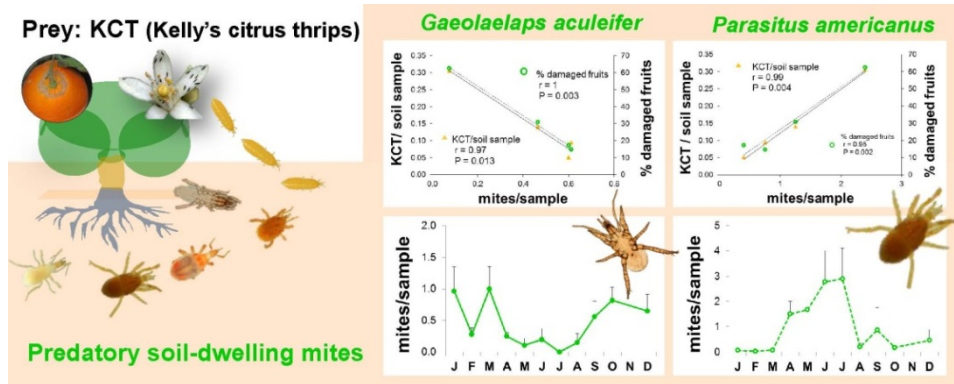


7 Soil-dwelling predatory mites in citrus: their potential as natural enemies of thrips with special reference to *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae)

Navarro-Campos, C., A. Pekas, M. L. Moraza, A. Aguilar, F. Garcia-Mari. Soil-dwelling predatory mites in citrus: Their potential as natural enemies of thrips with special reference to *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae). *Biological Control* (2012), <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.07.007>

Abstract: Free-living predatory mites are one of the most abundant and species-rich group of arthropods in the soil, with a great potential for pest control. In the present study we examined the predatory mite fauna in the soil of citrus orchards in order to evaluate their potential as natural enemies of thrips pests and especially of *Pezothrips kellyanus* (Bagnall) (Thysanoptera: Thripidae). Moreover, two trials were conducted to assess if foliar sprays of the insecticide chlorpyrifos or the addition of organic matter to the soil affect the abundance of soil predatory mites. Soil samples were regularly taken from four citrus orchards in Valencia (Spain) from December 2008 to April 2010. Thrips and predatory mites were extracted using Berlese funnels. The thrips fauna in the soil was dominated by *P. kellyanus*, which accounted for 80% of the specimens registered. With respect to predatory mites, 15 species from eight families were identified. The most abundant were *Parasitus americanus* (Parasitidae), *Gaeolaelaps aculeifer* (= *Hypoaspis aculeifer*), *Gaeolaelaps praesternalis* and *Gaeolaelaps* sp. (Laelapidae), *Neomolgus* sp. (Bdellidae), *Pachylaelaps islandicus* (Pachylaelapidae), *Neogamasus* sp. (Parasitidae) and *Macrocheles scutatiformis* (Macrochelidae). Higher populations of *G. aculeifer* were associated with lower abundance and fruit damage caused by *P. kellyanus* whereas the opposite trend was found for *P. americanus*. Treatment with Chlorpyrifos did not affect the abundance of soil predatory mites whereas significantly more mites were found in the experimental plots where composting manure was added.

Graphical abstract



7.1 Introduction

Free-living predatory mites are one of the most abundant and species-rich group of arthropods in the soil. The majority of them are mobile predators which feed predominantly on nematodes, insect eggs and larvae of microarthropods (Koehler, 1997; Walter and Proctor, 1999). Some mesostigmatid mites of the family Laelapidae, namely *Gaeolaelaps aculeifer* (Canestrini) and *Stratiolaelaps miles* (Berlese) have been successfully used for the control of nematodes, shore flies (Diptera: Sciaridae) and bulb mites *Rhizoglyphus* spp. (Koehler, 1997; Enkegaard et al., 1997) (*Gaeolaelaps aculeifer* and *S. miles* are referred in other studies as *Hypoaspis aculeifer* and *Hypoaspis miles*. We use the spelling of the genus *Gaeolaelaps* Evans and Till according to Halliday and Lindquist (2007)). Moreover, the use of “*Hypoaspis*” species has given promising results also against the worldwide invasive thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Gillespie and Quiring, 1990; Wiethoff et al., 2004). Thrips are vulnerable to mesostigmatid mites as *G. aculeifer* when they enter the soil to pupate and during pseudopupation, which occurs in or on the soil beneath plants (Gillespie and Quiring, 1990; Walter and Proctor, 1999). In the citrus agro-ecosystems, a substantial amount of information exists about the natural enemies present on the tree canopy (DeBach, 1974; Bru and Garcia-Mari, 2008), on associated cover plants (Liang and Huang, 1994; Aguilar-Fenollosa et al., 2011; Vercher et al., 2011), as well as regarding epigeaic arthropod predators (Urbaneja et al., 2006; Monzó et al., 2011). However, little is known about the fauna and the abundance of the soil-inhabiting predatory mites and their potential to control citrus pests.

Since the decade of 1990, *Pezothrips kellyanus* (Bagnall) (Kelly’s citrus thrips; KCT) has emerged as a new citrus pest in southern Australia, New Zealand and several countries of the Mediterranean basin (Blank and Gill, 1997; Marullo, 1998; Mound and Jackman, 1998; Varikou et al., 2002; Navarro-Campos et al., 2011). Feeding by KCT on young and developing citrus fruit causes cosmetic damage and commercial downgrading (Marullo, 1998; Crisp and Baker, 2011). KCT can also be found in large numbers on other plants such as jasmine (*Jasminum officinale* L.), Japanese honeysuckle (*Lonicera japonica* Thunb.), white bladderflower (*Araujia sericifera* Brot.) or individual lemon trees (*C. limon* (L.) Burm), frequently situated inside or close to citrus orchards (Froud et al., 2001; Vassiliou, 2010; Navarro-Campos et al., unpublished). Therefore, it is necessary to study the thrips and predatory mite fauna that is beneath the soil of these plant species. The management of *P. kellyanus* is limited to the use of synthetic insecticides, mainly organophosphates, which

often provide insufficient control (Colloff et al., 2003). Thus, despite the insecticide applications against *P. kellyanus* an average of 20-40% of the fruit can remain unmarketable (Baker et al., 2011; Tena et al., 2011). Moreover, resistance to chlorpyrifos has been reported from Australia (Purvis, 2003; Baker et al., 2004).

Given that *P. kellyanus* is a newly emerged pest, information about its natural enemies is still scarce or almost non-existent (Vassiliou, 2007). Soil-dwelling predatory mites have been cited as possible biological control agents of larvae and pupae of KCT (Barbour, 2003; Colloff et al., 2003; Baker et al., 2004; Crisp and Baker, 2011). As no effective natural enemies of *P. kellyanus* were found on the citrus canopy (Baker et al., 2011) and due to the fact that thrips pupate exclusively in the soil (Jamieson and Stevens, 2006; Webster et al., 2006) it is important to study the potential for biological control of *P. kellyanus* in this stratum. Knowledge about the species of soil-dwelling predatory mites may provide valuable information for the biological control of *P. kellyanus* and probably other thrips species.

Common agricultural practices such as the use of pesticides or tillage may affect the soil mite populations and species richness (Koehler, 1997; Beaulieu and Weeks, 2007). According to Baker et al. (2011), the run-off of organophosphate sprayings may reduce the population of the soil-dwelling mites, especially potential predators of *P. kellyanus*. On the other hand, organic fertilizers generally benefit soil fauna (Koehler, 1997; Crisp and Baker, 2011). Information about thrips and mite soil fauna as well as the effect on their populations of insecticide run-off or the addition of organic matter will help develop an effective biological control strategy against thrips and probably other pests which spend part or their entire life-cycle in the soil of the citrus agroecosystem.

Therefore, the objectives of this study were: (1) identify the principal thrips and predatory mite species in the soil of citrus orchards, including the soil beneath other breeding hosts of *P. kellyanus* present in the orchards such as jasmine plants and individual lemon trees, (2) determine the seasonal fluctuations in the abundance of the soil-dwelling mites, (3) analyze the relationship between the abundance of thrips and predatory mite populations and, (4) evaluate the influence of application of the insecticide chlorpyrifos and animal manure on the abundance of the predatory mites in the soil.

7.2 Material and methods

7.2.1 *Field sites and sampling protocol*

The study of thrips and predatory mites in the soil of the citrus agroecosystem was conducted between December 2008 and April 2010 in four commercial orchards situated in an extensive citrus monoculture region in the south of the city of Valencia, in eastern Spain (39° 11' N, 0° 22 O, 11 m altitude). The climate is Mediterranean with mild winters and dry summers. The orchards were selected for having considerable thrips damage the previous year. Three of the orchards were of sweet orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), of different varieties, Valencia late, Navel Lane late and Navelina, and the fourth was of the hybrid Ortanique (*C. sinensis* x *C. reticulata*). All the orchards had normally developed 11 to 15-yr-old trees in full production. At each orchard there was one lemon tree (*C. limon*), and at two of the orchards (Valencia Late and Ortanique) there was additionally a jasmine plant (*J. officinale*). Both lemon and jasmine plants are breeding hosts of KCT (Vassiliou, 2010; Navarro-Campos et al. 2011). The orchards were not treated with insecticides during the sampling period. Weeds were controlled by the local application of herbicides (Glyphosate® 360 g/l).

We evaluated the effects of the insecticide run-off and the addition of the organic compost on the soil-dwelling mite populations in two field trials in the same area from April 2010 to June 2010 (see below).

7.2.2 *Thrips and mite fauna in the soil*

Thrips and predatory mites inhabiting the soil were sampled by Berlese funnel extraction. At each orchard, four soil samples (consisting of a surface area core of 15 x 15 cm and 6 cm depth, litter was included when present) were sampled monthly between December 2008 and April 2010, beneath the canopy of four randomly selected trees. No tree was sampled twice to avoid monitoring altered thrips and predatory mite populations. Price (1973) found that the highest percentage of individuals of the edaphic mesostigmatid mites was found at depths of 4-6 cm. Soil samples were collected in the morning at approximately 60 cm from the trunk according to the methodology described in Stevens et al. (1998). Using the same methodology, four soil samples were regularly collected beneath the lemon trees and jasmine plants (all along the period of study for lemon trees and between December 2008 and June 2009 for jasmine, because the plants were removed in July 2009). But, as only four lemon trees and two jasmine plants were present, we had to monitor monthly the same plant. Therefore, the surface area sampled was changed at each

sampling date in order to minimize possible effects on the thrips and predatory mite populations.

The soil samples were placed on filter paper, transported to the laboratory, and placed in the Berlese funnels for 72-hours. The soil inhabiting arthropods moved away from the light/heat source down the funnel and fell into a jar with 70% ethanol where they were preserved for identification. Thrips and predatory mites were slide-mounted (Heinze PVA) and identified under a microscope. Thrips were identified on the basis of the descriptions of Mound et al. (1976), Mound and Walker (1982), Kirk (1987), Milne et al. (1997), zur Strassen (2003), and Vierbergen et al. (2010). Mites were identified with the keys of Bregetova et al. (1977), Karg (1993) and Krantz and Walter (2009).

7.2.3 Relationship between soil-dwelling mite abundance and thrips fruit damage

The percentage of fruits damaged by KCT was registered at each orchard during 2009 by monitoring weekly 100 fruits per orchard during four consecutively weeks between August and September, when the damage period had finished. A fruit was considered as damaged when it had scars consisting in a complete ring around the calyx or a wide partial ring with other minor scars on the fruit surface. Special attention was given to avoid confusing the ring around the calyx produced by thrips with the scars caused by other insects like *Anatrachyntis badia* (Hodges) (Lepidoptera: Cosmopterygidae); the scars caused by lepidopteran pests are coarse and more depressed (Navarro-Campos et al. 2010).

7.2.4 Insecticide treatment trial

The trial was conducted in the Navelina orchard, in a different zone than the one sampled for the determination of the soil-dwelling mite and thrips abundance. The orchard was furrow-irrigated. Weeds were controlled by application of Glyphosate® (360 g/l) before the experiment. We chose to test the effect of the organophosphate insecticide Chlorpyrifos on the soil-dwelling mite abundance because it is one of the most commonly used insecticides in the area, mostly against California red scale *Aonidiella aurantii* (Maskell).

Chlorpyrifos and untreated control plots were set in a complete randomized block design with four replicates (eight plots in total). Each replicate consisted of two adjacent plots each one containing 25 trees (arranged in squares of 5 x 5 trees which correspond to a surface of 436 m²).

The soil surface of the treated plots was sprayed twice with a commercial formulation of chlorpyrifos (Dursban® 48, Syngenta Agro) containing 480 g L^{-1} of the active ingredient (a.i.). The soil was sprayed instead of the tree canopy in order to amplify the possible run-off effect of organophosphate spraying on the populations of the soil-dwelling mites. A first spraying was applied on 9 April 2010, and a second spraying was applied 62 days later, on 10 June 2010. Insecticide applications were done with a chemical sprayer at the commercially recommended dose of $1.12 \text{ kg (a.i.)/ha}$.

One soil sample was collected from each plot six days before and 6, 14, 27, 49 and 82 days after the first treatment. Soil-dwelling mite abundance was determined using the procedure described in section 6.2.2.

7.2.5 *Organic matter trial*

The trial was done in the Valencia late and the Ortanique orchards. Both orchards were approximately 15 years old and furrow irrigated. Neither insecticides nor herbicides were applied to the orchards during the sampling period.

Addition of organic matter (in the form of composting horse manure) and control treatments were tested between April 2010 and June 2010. At each orchard, treatments were set as a randomized complete block with four replicates. Each replicate consisted of two adjacent plots each one containing 25 trees (arranged in squares of 5×5 trees). Organic material was applied on 20 April 2010 under the canopy of the trees at a rate of $7,000 \text{ Kg/ha}$.

Soil samples were collected 21 days before and 10, 27, 69 and 93 days after the application of the organic material. Soil-dwelling mites were sampled using the procedure described in section 6.2.2.

7.2.6 *Statistical analysis*

We used repeated measures ANOVA to compare the abundances of thrips and predatory soil dwelling mites (data log-transformed) from the soil samples taken beneath the three different kind of plants (plantation of orange/hybrid, individual lemon tree and individual jasmine plant). Kind of plants was the fixed factor, subject sampled nested into kind of plants was the random factor and sampling date was the repeated measures factor. Only samples from December 2008 to June 2009 were used, because jasmine plants were unexpectedly removed on July 2009. We used also repeated measures ANOVA to compare the densities of the soil-dwelling mites between the control and treated plots after the applications of chlorpyrifos and organic matter. In

both trials (chlorpyrifos versus control and organic matter versus control) treatment was the fixed factor, plot nested into treatment was the random factor and sampling date was the repeated measures factor. Data were log transformed in order to meet normality assumptions. Means were compared using Fisher's least significant difference (LSD) test with significance level set at $\alpha = 0.05$. All Statistical analyses were performed using Statgraphics 5.1 software (Statgraphics, 1994).

7.3 Results

7.3.1 Thrips and mite fauna in the soil

A total of nine thrips species (Thysanoptera) belonging to three families were collected in this survey (**Table 1**). The most abundant family was Thripidae, whereas thrips of the Phlaeothripidae and Merothripidae families were less common. The thrips fauna was dominated by *P. kellyanus*, constituting 80 % of the thrips specimens. From the overall 251 *P. kellyanus* collected from Berlese extraction, 61% corresponded to larvae, 4% corresponded to prepupa and pupa and finally, 35% corresponded to adults (**Table 1**). Other species relatively abundant were *Hoplothrips corticis* (De Geer) (6 %), *Thrips tabaci* Lindeman (5 %), *Thrips major* Uzel (3%) and *F. occidentalis* (3 %). With respect to their feeding habits, all the thrips captured were phytophagous with the exception of *H. corticis* which is a fungivorous species.

As regards to the mites (Acari), 15 species from eight different families that include predatory species were identified from the soil samples. The five most abundant families were Parasitidae, Laelapidae, Bdellidae, Pachylaelapidae and Macrochelidae (**Table 1**). The most abundant species were *Parasitus americanus* Berlese (Parasitidae), *Gaeolaelaps aculeifer* (Laelapidae), *Neomolgus* sp. Oudemans (Bdellidae), *Pachylaelaps islandicus* Berlese (Pachylaelapidae), *Neogamasus* sp. (Parasitidae), all of them present in all four orchards sampled, and *Macrocheles scutatiformis* Berlese (Macrochelidae), *Gaeolaelaps* sp. and *Gaeolaelaps praesternalis* Willmann (Laelapidae) present in one, two and three orchards respectively.

Table 1. Thrips and mite species from soil samples regularly collected beneath citrus or jasmine plants in four citrus orchards from December 2008 to April 2010.

Order	Family	Species	N	N of orchards	plant ^a
Thysanoptera	Thripidae	<i>Pezothrips kellyanus</i> (Bagnall)	251 ^b	4	O, L, J
Thysanoptera	Phlaeothripidae	<i>Hoplothrips corticis</i> (De Geer)	19	3	O, L, J
Thysanoptera	Thripidae	<i>Thrips tabaci</i> Lindeman	15	4	O, L
Thysanoptera	Thripidae	<i>Thrips major</i> Uzel	10	4	O, L
Thysanoptera	Thripidae	<i>Frankliniella occidentalis</i> (Pergande)	9	3	O, L
Thysanoptera	Thripidae	<i>Tenothrips frici</i> (Uzel)	5	1	L
Thysanoptera	Thripidae	<i>Chirothrips manicatus</i> Haliday	1	1	L
Thysanoptera	Thripidae	<i>Melanthrips fuscus</i> (Sulzer)	1	1	L
Thysanoptera	Merothripidae	<i>Merothrips floridensis</i> Watson	1	1	O
Mesostigmata	Parasitidae	<i>Parasitus americanus</i> Berlese	344	4	O, L, J
Mesostigmata	Laelapidae	<i>Gaeolaelaps aculeifer</i> (Canestrini)	163	4	O, L, J
Prostigmata	Bdellidae	<i>Neomolgus</i> sp.	153	4	O, L, J
Mesostigmata	Pachylaelapidae	<i>Pachylaelaps islandicus</i> Berlese	105	4	O, L, J
Mesostigmata	Parasitidae	<i>Neogamasus</i> sp.	99	4	O, L, J
Mesostigmata	Macrochelidae	<i>Macrocheles scutatiformis</i> Berlese	32	1	L, J
Mesostigmata	Laelapidae	<i>Gaeolaelaps</i> sp.	28	2	O, L
Mesostigmata	Laelapidae	<i>Gaeolaelaps praesternalis</i> Willmann	23	3	O, L
Mesostigmata	Rhodacaridae	<i>Rhodacarellus silesiacus</i> Willmann	16	1	O
Mesostigmata	Laelapidae	<i>Pneumolaelaps asperatus</i> (Berlese)	12	1	O
Mesostigmata	Ologamasidae	<i>Gamasiphis lanceolatus</i> c.f.	11	1	O, J
Mesostigmata	Rhodacaridae	<i>Rhodacarus olgae</i> Shcherbak	4	1	L
Mesostigmata	Pachylaelapidae	<i>Pachylaelaps insularis</i> (Berlese)	2	1	L
Mesostigmata	Phytoseidae	<i>Neoseiulus barkeri</i> Hughes	1	1	O
Mesostigmata	Laelapidae	<i>Cosmolaelaps vacua</i> (Michael)	1	1	O

^aO = orange/hybrid tree, L = individual lemon tree, J = individual jasmine plant

^bFrom the 251 *P. kellyanus* obtained, 88 corresponded to adults (35%), 154 corresponded to larvae (61%) and 9 to prepupa and pupa (4%).

7.3.1.1 Differences in abundance of soil thrips and mite species among associated plants

The abundance of some thrips and mite species in the soil of the citrus agro-system varied depending on the plant species sampled (**Table 2**). Significantly more adults and immatures of *P. kellyanus* were extracted from the soil samples taken beneath individual lemon trees and jasmine plants than from orange/hybrid trees of the regular plantation ($F = 7.30$; $df = 2,9$; $P = 0.01$). With respect to the other thrips species, captures were significantly higher in soil samples taken beneath jasmine plants than from citrus trees ($F = 4.17$; $df = 2, 9$, $P = 0.05$).

Table 2. Mean number (\pm SE) of thrips and soil-dwelling mite species per soil sample obtained beneath orange/hybrid trees (constituting the plantation), lemon trees or jasmine plants (both of them as individual plants inside the plantation). Data from two citrus orchards sampled from December 2008 to June 2009. Rows bearing the same letter were not significantly different at $P > 0.05$ (Repeated measures ANOVA, LSD test). Average values of 44 soil samples collected below each plant type.

	Plantation of orange/hybrid	Individual lemon tree	Individual jasmine plant
<i>Pezothrips kellyanus</i>	0.34 \pm 0.15 b	1.51 \pm 0.45 a	2.68 \pm 1.03 a
Other thrips species	0.18 \pm 0.07 b	0.19 \pm 0.10 b	0.52 \pm 0.16 a
<i>Parasitus americanus</i>	2.30 \pm 1.13 a	0.26 \pm 0.15 b	0.41 \pm 0.15 ab
<i>Gaeolaelaps aculeifer</i>	0.32 \pm 0.17 b	0.79 \pm 0.26 a	0.05 \pm 0.03 b
<i>Neomolgus</i> sp.	0.45 \pm 0.13 ab	0.23 \pm 0.08 b	0.73 \pm 0.20 a
<i>Pachylaelaps islandicus</i>	0.00 \pm 0.00 b	1.28 \pm 0.58 a	0.43 \pm 0.16 a
<i>Neogamasus</i> sp.	0.09 \pm 0.04 b	0.58 \pm 0.1 a	0.16 \pm 0.07 b

Regarding the mite species, *G. aculeifer* and *Neogamasus* sp. were significantly more abundant in soil samples taken beneath lemon trees than in orange/hybrid trees and jasmine plants ($F = 12.78$; $df = 2, 9$; $P = 0.002$ and $F = 12.18$; $df = 2, 9$; $P = 0.003$; respectively). *Pachylaelaps islandicus* was significantly more abundant in lemon tree and jasmine plant than in oranges/hybrids ($F = 8.84$; $df = 2, 9$; $P = 0.007$). *Neomolgus* sp. was significantly more abundant in jasmine plant than in lemon trees ($F = 4.52$; $df = 2, 9$; $P = 0.04$). On the other hand, the abundance of *P. americanus* was

significantly higher in the soil samples taken beneath oranges/hybrids than in lemon trees ($F = 5.40$; $df = 2, 9$; $P = 0.03$) (**Table 2**).

7.3.1.2 Seasonal fluctuation of thrips in the soil

Thrips were found in the soil during almost all year round and in all the three plant species surveyed (**Fig. 1**). As previously mentioned, more thrips (mostly *P. kellyanus*) were obtained from associated plants (lemon and jasmine) than from regular plantation trees (oranges or hybrids). Despite the differences in the abundance of thrips captured between orange/hybrids and lemon trees, the trend in the thrips population development was similar in these plants. Population abundance peaked during May, coinciding with the spring flowering period, whereas low thrips populations were recorded during most of the year. On the other hand, thrips captures in soil beneath jasmine plants showed a different trend. Although only data from December to June are available, higher thrips abundance was observed in the soil beneath jasmine plants than beneath lemon or orange/hybrid trees during the colder months (from December to March).

7.3.1.3 Seasonal fluctuation of soil-dwelling mites

The most abundant soil-dwelling mite species in our study, *Parasitus americanus*, presented its highest population abundance in spring and early summer, from April to July (**Fig. 2**). *Gaeolaelaps aculeifer* exhibited an opposite trend, showing lower abundance from April to August. The remaining three species, *Neomolgus* sp., *Pachylaelaps islandicus* and *Neogamasus* sp., were more abundant during the first half of the year and less abundant during summer (July to September).

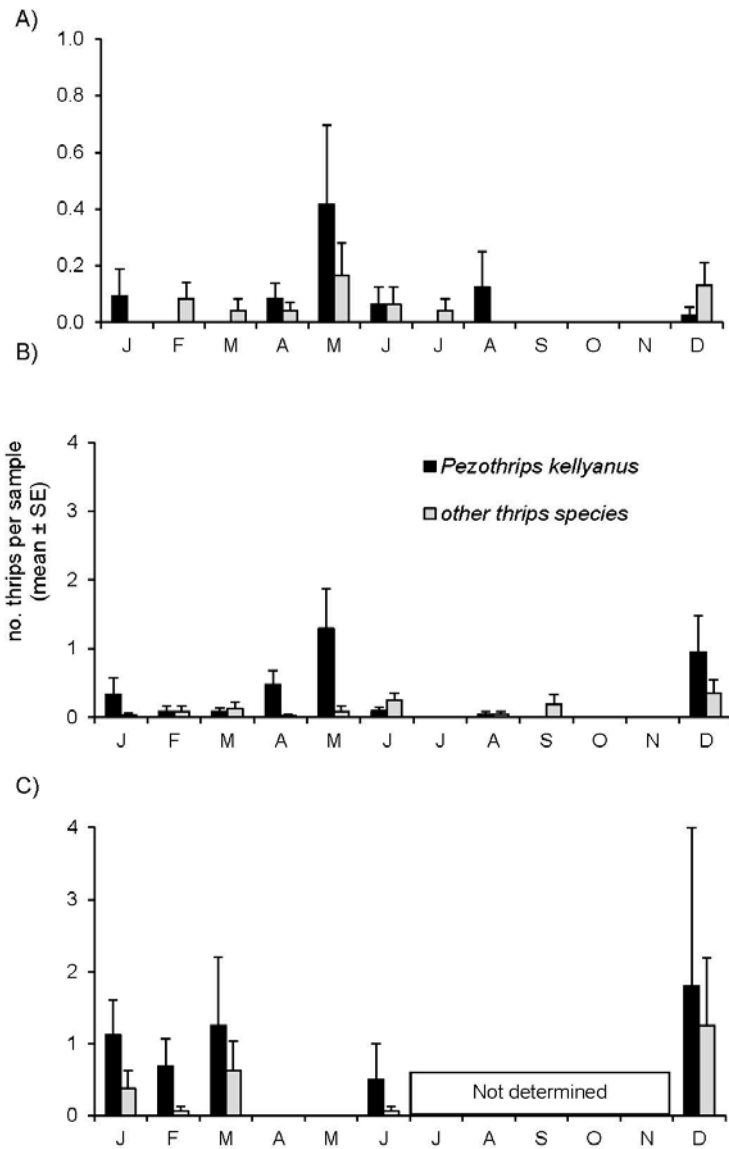


Fig. 1. Seasonal abundance (mean \pm SE) of *Pezothrips kellyanus* and other thrips species in the soil beneath (A) orange and hybrid trees (constituting the regular plantation), (B) lemon trees or (C) jasmine plants (both B and C as isolated plants inside the plantation). Data from four orchards sampled from December 2008 to April 2010.

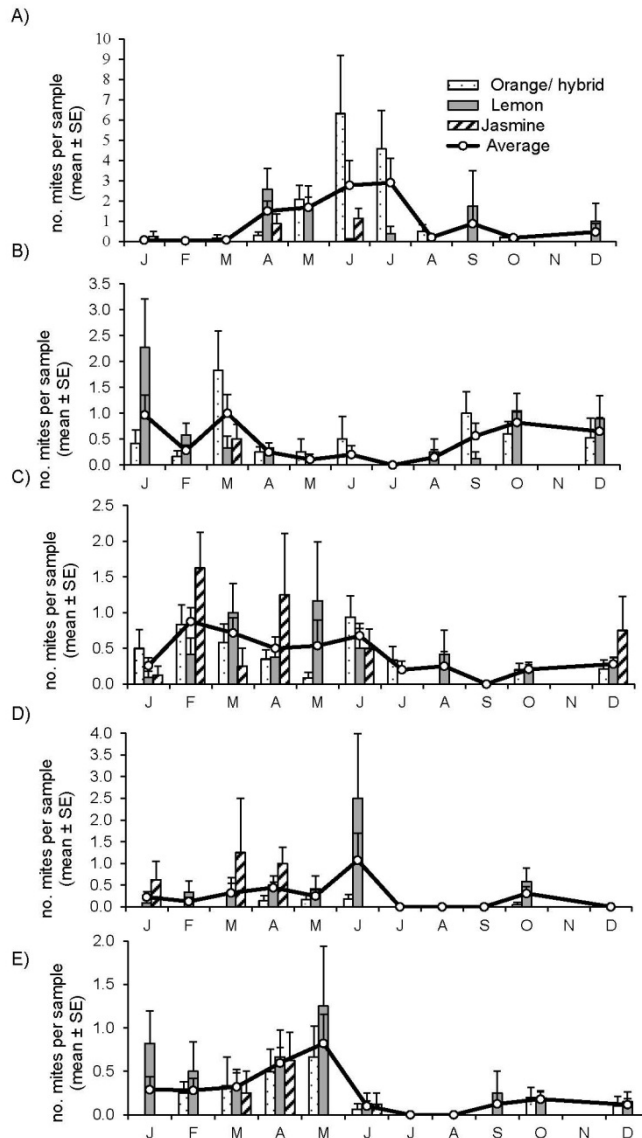


Fig. 2. Seasonal abundance of the predatory mites, (A) *Parasitus americanus*, (B) *Gaeolaelaps aculeifer*, (C) *Neomolgus* sp. (D) *Pachylaelaps islandicus* and (E) *Neogamasus* sp., extracted from soil taken beneath orange and hybrid trees, lemon trees or jasmine plants. Data obtained from 4 orchards sampled from December 2008 to April 2010. No data of captures on jasmine plants were available from July to November.

7.3.2 Relationship between abundance of soil-dwelling mites and thrips fruit damage

Both the abundance and percentage of fruit damage caused by *P. kellyanus* varied widely among the four orchards sampled, ranging from a minimum of 0.05 mites per sample and 15% of fruit damage to a maximum of 0.31 mites per sample and 63% of fruit damage. We correlated these parameters of thrips abundance and damage with the mean number of the five most abundant soil predatory mites. Only the abundance of *P. americanus* and *G. aculeifer* was significantly correlated with the population abundance ($r = 0.99$, $df = 3$, $P = 0.004$ and $r = -0.97$, $df = 3$, $P = 0.013$; respectively) as well as with the percentage of fruit damage caused by the thrips *P. kellyanus* ($r = 0.95$, $df = 3$, $P = 0.002$ and $r = -1$, $df = 3$, $P = 0.003$; respectively) but exhibiting a different pattern (**Fig. 3**).

Parasitus americanus showed a direct, positive relationship, whereas for *G. aculeifer* the relationship was the inverse; higher populations of the predatory mite were associated with lower abundance and fruit damage caused by the pest. The population density of the other three species, *Neomolgus* sp., *P. islandicus* and *Neogamasus* sp., showed no correlation with *P. kellyanus* abundance ($r = -0.01$, $df = 3$, $P = 0.89$; $r = -0.19$, $df = 3$, $P = 0.53$ and $r = -0.2$, $df = 3$, $P = 0.53$; respectively) or fruit damage ($r = 0$, $df = 3$, $P = 0.98$; $r = -0.37$, $df = 3$, $P = 0.38$ and $r = -0.39$, $df = 3$, $P = 0.38$; respectively).

7.3.3 Influence of insecticide treatment and animal manure application on soil-dwelling mites

Overall, the abundance of the predatory mites in the soil of the citrus orchard was not significantly affected after the treatment with chlorpyrifos (Repeated Measures ANOVA: $F = 0.03$; $df = 1, 6$; $P = 0.876$) showing both the untreated control and treatment plots a similar trend in their soil mite populations (**Fig. 4**).

In contrast, the total number of soil-dwelling predatory mites was significantly higher in the plots that received an application of composting manure compared with the control plots (Repeated Measures ANOVA; $F = 16.46$; $df = 1, 6$; $P = 0.007$) reaching up to 24.9 ± 9.8 mites per sample on average in the four dates after compost application, whereas there were only 5.9 ± 3.4 mites per sample in the control (**Fig. 5**).

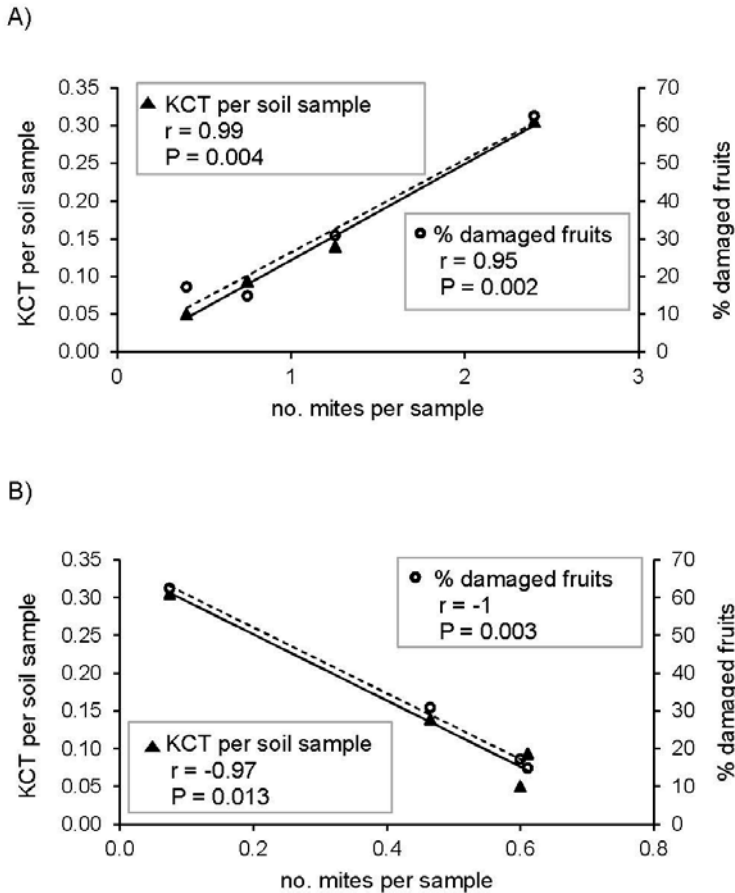


Fig. 3. Correlations of the mean number of *Pezothrips kellyanus* per soil sample (solid lines) or the percentage of citrus fruits damaged by *P. kellyanus* (broken lines) (y) with the mean number of soil-dwelling predatory mites (x): A) *Parasitus americanus*, B) *Gaeolaelaps aculeifer*. Each point represents one orchard.

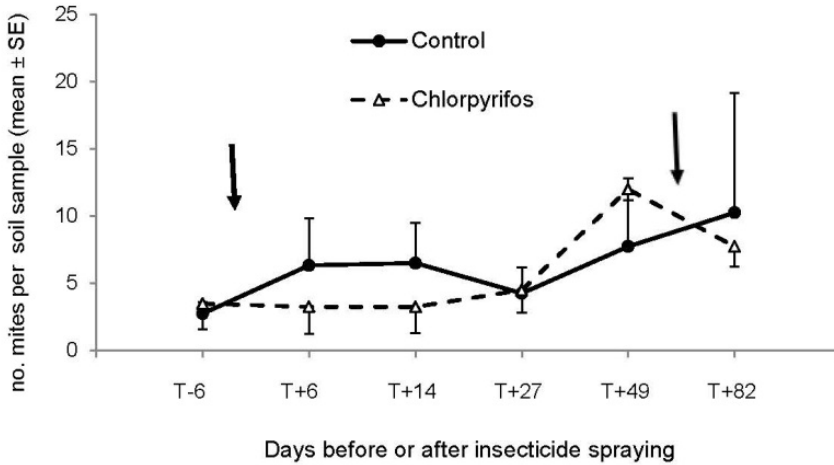


Fig. 4. Mean number (\pm SE) of predatory mites extracted from soil samples treated with chlorpyrifos and control plots during a period from 6 days before up to 82 days after the treatment. Insecticide treatment had no effect on the overall abundance of the predatory mites in the soil (Repeated measures ANOVA: $F = 0.03$; $df = 1, 6$; $P = 0.876$). Arrows indicate the time of insecticide treatments.

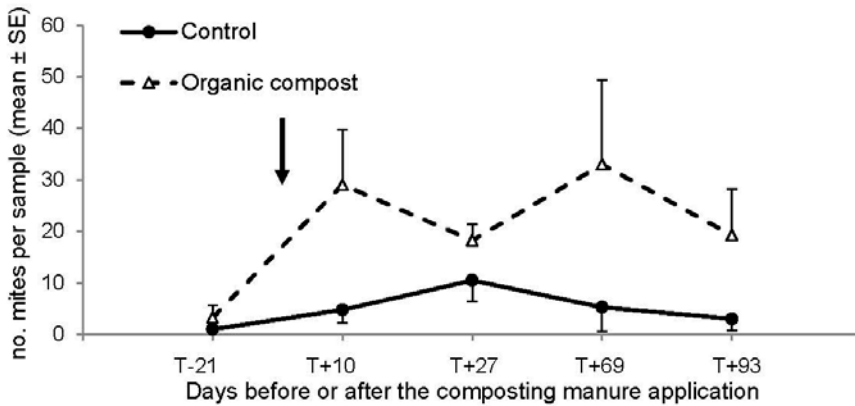


Fig. 5. Mean number (\pm SE) of predatory mites extracted from soil samples receiving an application of composting manure and control plots during a period from 21 days before until 93 days after the compost application. Treatment had a significant effect on the overall abundance of the predatory mites in the soil (Repeated measures ANOVA: $F = 16.46$; $df = 1, 6$; $P = 0.007$). The arrow indicates the time of the compost application.

The populations of *P. americanus* and *G. aculeifer*, the two most abundance species of predatory mites in the soil, significantly increased in the plots that received compost ($F = 8.81$; $df = 1, 6$; $P = 0.03$ and $F = 6.57$; $df = 1, 6$; $P = 0.04$; respectively) (**Fig. 6**). Moreover, a high population density of *Macrocheles scutatiformis* was observed. This species was apparently introduced with the composting manure (personal observations). Nevertheless, even when *M. scutatiformis* was excluded from the analysis the overall population of the rest of the soil-dwelling mites was still higher in the plots that received the manure (Repeated Measures ANOVA; $F = 9.45$; $df = 1, 6$; $P = 0.02$). On the other hand, *Neogamasus* sp. and *Neomolgus* sp. showed no differences in abundance between control and compost plots ($F = 0.36$; $df = 1, 6$; $P = 0.57$ and $F = 0.12$; $df = 1, 6$; $P = 0.74$; respectively).

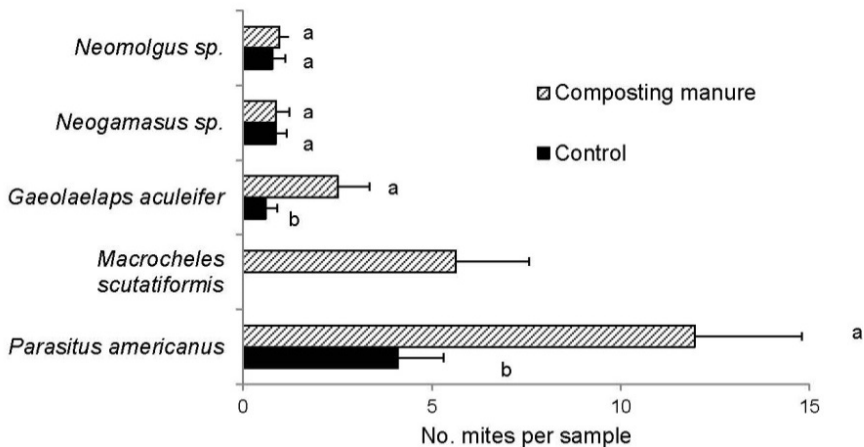


Fig.6. Mean number (\pm SE) of the five species most abundant of predatory mites extracted from soil samples receiving an application of composting manure and control plots during a period from the compost application until 93 days after. Bars with different letters indicate significant differences at $P < 0.05$ (Fisher protected LSD).

7.4 Discussion

To our knowledge, this is the first study examining the thrips and predatory mite fauna inhabiting the soil of citrus orchards in the Mediterranean basin. Soil predatory mites have the potential to control arthropods that complete the entire or part of their life-cycle in the soil, such as mould mites, sciarid larvae, nymphs of collembolan and larvae, prepupa and pupa of thrips (Lesna et al., 1996, Enkegaard and Brødsgaard, 2000; Berndt et al., 2004a). Phytoseiid predatory mites are well known predators of thrips larvae on the foliage of plants and are commercially available for this purpose (Bakker and Sabelis, 1989; Grafton-Cardwell et al., 1999; Messelink et al., 2006). In our case, 61% of the thrips stages found in the soil corresponded to larvae (**Table 1**). Moreover, there are various studies demonstrating that some soil dwelling mites are capable to prey upon pre- and pupal stages (Berndt et al., 2004b; Wiethoff et al., 2004) which also occur in the soil. Interestingly, the ability of the soil-dwelling mites to prey upon pre- and pupal stages has been explicitly demonstrated for *P. kellyanus* (Barbour, 2003; Colloff et al., 2003; Crisp and Baker, 2011). Therefore, it can be concluded that the soil dwelling mites in our study have the ability to control the thrips populations by attacking the larvae, as well the pre- and pupal stages.

Parasitus americanus, the most abundant soil predatory mite in our study, as well as other Parasitidae species, have been reported as the most common mesostigmatid mites in the soil of crop systems such as apple orchards or grass pasture areas (Hurlbutt, 1958; James, 2000). Different species of the family Parasitidae have been reported to prey on house fly (*Musca domestica* L.) eggs, free-living nematodes (*Rhabditella* sp.) and on other mites (Wise et al., 1988; Lesna et al., 1995). The second most abundant species, *G. aculeifer*, is a well-known predator of various pests such as the worldwide invasive thrips *F. occidentalis* (Glockemann, 1992; Thoeming and Poehling, 2006). This mite is commercially available and is used successfully in augmentative releases against thrips and other soil-inhabiting pests such as shore flies in greenhouse crops (Beaulieu and Weeks, 2007; van Lenteren, 2012). Other soil predatory mite families captured in our survey, as Bdellidae, Macrochelidae, Rhodacaridae, Ologamasidae and Pachylaelapidae, include commonly encountered soil predators (Gerson and Smiley, 1990, Koehler, 1997; Krantz, 2009; Gerson et al., 2003; Lindquist et al., 2009). For instance, some species of the family Macrochelidae have shown potential as effective predators of dung-breeding pest flies and *F. occidentalis* pupae (Halliday and Holm, 1987; Messelink and van Holstein-Saj, 2008; Grosman et al., 2011).

It is noteworthy that thrips as well as predatory mites were found in the soil of the citrus agro-ecosystem during almost all year-round. Most importantly, there was a strong inverse relationship between the population densities of *G. aculeifer* and the abundance and fruit-damage caused by *P. kellyanus*. High populations of *G. aculeifer* were associated with low abundance and fruit damage caused by *P. kellyanus*. Our findings are in agreement with Crisp and Baker (2011) and Colloff et al. (2003) who also found a negative relationship between the abundance of some soil-dwelling predatory mites and *P. kellyanus* populations in Australia citrus orchards. Moreover, under lab conditions *G. aculeifer* caused significant mortality and completed development when fed on *P. kellyanus* pupae (Barbour, 2003; Crisp and Baker, 2011). Soil-dwelling mites have been cited as potential biological control agents of *Scirtothrips aurantii* Faure (Grout and Ueckermann, 1999) and citrus nematodes (Walter and Kaplan, 1990; El-Banhawy et al., 2006). Our results highlight the potential of the soil-dwelling mites in general and of *G. aculeifer* in particular, to control *P. kellyanus* and probably other pests in citrus.

However, the population abundance of *G. aculeifer* was low during the spring period, from April to June. In the Mediterranean basin this is the period when thrips populations increase and damage to the citrus fruitlets occurs (Perrotta and Conti, 2008; Vassiliou, 2010; Navarro-Campos et al. 2012). Methods of increasing the abundance of existing *G. aculeifer* populations (as well as of other soil predatory mites) during this period might be of great importance in order to develop a biological control strategy against *P. kellyanus*. Indeed, our results demonstrate that the addition of composting manure in the soil resulted in a four-fold increase in the abundance of *G. aculeifer* as well as in the abundance of soil-dwelling mites in general. Similarly, higher populations of predatory mites from soil samples were observed following the application of mulch (Hulburt, 1958; Jamieson and Stevens, 2006; Grosman et al., 2011). The increase in the population of the soil-dwelling mites is likely to result in lower thrips populations and consequently lower fruit damage. In citrus, Crisp and Baker (2011) obtained a reduction in *P. kellyanus* survivorship when composted mulch was applied in the soil. The proliferation of soil predatory mites due to application of mulch, might be caused by an increase of prey microarthropods associated with the mulch, changes in microclimatic factors, or by providing shelter, (Thomson and Hoffmann, 2007; Gill et al., 2011). In our study, it seems that *M. scutatiformis* might have been introduced with the horse manure (personal observations). According with Krantz (1998) and Messelink and van Holstein-Saj (2008), mites of the family Macrochelidae are often associated with dung breeding flies.

Nevertheless, we consider that this does not affect our conclusions given that even when excluding *M. scutatiformis* from the analysis the abundance of the rest of the soil-dwelling predatory mites remains higher in the plots receiving manure. Finally, another method for increasing the abundance of *G. aculeifer* during the period when thrips damage occurs might be through augmentative releases. This is greatly facilitated by the fact that this species is commercially available (Beaulieu and Weeks, 2007).

It is also important to highlight the strong, positive relationship between the population abundance and damage caused by *P. kellyanus* with the abundance of *P. americanus*. Intraguild predation on *G. aculeifer* by *P. americanus* is indirectly supported by the complementary seasonal trend observed for both species (**Fig. 2**). Moreover, *P. americanus* is a larger species (length of female idiosoma: 1040-1100 μm) than *G. aculeifer* (length of female idiosoma 520-685 μm) (Karg, 1993), and the relative size of predator and prey may be a key factor on intraguild predation (Warren and Lawton, 1987; Rosenheim et al., 1995; Walter and Proctor, 1999). Further studies are necessary to confirm this hypothesis.

Regarding the effect of the run-off of foliar insecticide sprays such as chlorpyrifos, our results show that abundance of soil-dwelling mites was apparently lower in the treated plots up to 14 days after the application, but overall no detrimental effect was detected. Baker et al. (2004) reported that the population densities of the soil predatory mites decreased after a second application of chlorpyrifos; however their trials were performed in small plastic containers containing soil. In general, reported results regarding the effects of pesticide run-off on soil mite (arthropod) fauna are highly variable. Broad-spectrum pesticides, including organophosphates, were shown to decrease overall abundance and diversity of soil-dwelling mites (Koehler, 1992; Behan-Pelletier, 2003). Nevertheless, Badji et al. (2007) observed that the impact of deltamethrin on soil arthropods from tropical maize fields varied among species and was lower than expected, and Koehler (1992) observed that some species are particularly susceptible, while others are not affected or can even show an increase. Definitely more studies, and during longer periods of time, are required in order to determine the effect of foliar pesticide applications on the soil-dwelling predatory mites.

It is also important to note that the edaphic fauna of thrips and mites varied depending on the plant species associated to the soil. *Pezothrips kellyanus* was less abundant in soil samples taken beneath orange/hybrid trees which form the orchards, compared with samples collected beneath individual

lemon trees or jasmine plants located inside the citrus orchards. Orange and hybrid trees flower once a year and the flowering period is short and uniform. On the other hand, both lemon trees and jasmine plants have more than one flowering period throughout the year and, consequently, thrips are expected to be more abundant on average on those plants when sampled regularly during the whole year. Moreover, thrips abundance may differ in flowers of different plant species. According to Varikou et al. (2002), the number of *P. kellyanus* was about four times higher in lemon flowers than in oranges and hybrids. These differences in thrips abundance among plant species could also explain the differences observed in the soil-dwelling mite abundance.

7.5 Conclusions

In our study we have determined the most abundant thrips and predatory mite species in soil samples from eastern Spain citrus orchards. Overall, our results highlight the importance of the soil-dwelling mites for controlling soil developmental stages of thrips pests in citrus. Among the predatory mites, it is worth mentioning *G. aculeifer* whose higher populations were associated with low abundance and fruit damage caused by *P. kellyanus* suggesting a potential for biological control. Common agricultural practices such as insecticide or compost applications may affect the abundance of the soil predatory mites. Application of Chlorpyrifos apparently did not affect the numbers of the soil predatory mites in the soil. On the other hand, significantly more mites were found in the experimental plots where composting manure was added. All the above information is essential for developing a strategy to improve the biological control of the thrips pests or other small arthropods that develop in the soil of the citrus agroecosystem.

Acknowledgements

The authors thank the owners of the commercial orchards for giving us permission to use their citrus orchards, with special reference to Ada Waimer. The first author was awarded an FPI fellowship from the Universitat Politècnica de València to obtain her PhD degree.

7.6 References

- Aguilar-Fenollosa, E., S. Pascual-Ruiz, M. Hurtado, and J. Jacas. 2011.** Efficacy and economics of ground cover management as a conservation biological control strategy against *Tetranychus urticae* in clementine mandarin orchards. *Crop Prot.* 30: 1328-1333.
- Badji, C. A., R. N. C. Guedes, A. A. Silva, A. S. Correa, M. Queiroz, and M. Michereff-Filho. 2007.** Non-target impact of deltamethrin on soil arthropods of maize fields under conventional and no-tillage cultivation. *J. Appl. Entomol.* 131:50-58.
- Baker, G. J., Keller, M., Crisp, P., D. J. Jackman, D. Barbour, and S. Purvis. 2011.** The biological control of Kelly's Citrus Thrips, in Australian citrus orchards. *IOBC/WPRS Bull.* 62: 267-274.
- Baker, G. J., M. Keller, S. Purvis, D. J. Jackman, and P. Crisp. 2004.** Improving the management of Kelly's Citrus Thrips in citrus: Summary, conclusions and recommendations of the 2000–04.Kelly's citrus thrips research project. http://www.sardi.sa.gov.au/pestsdiseases/horticulture/horticultural_pests/kelly_citrus_thrips/research_report_2000-2004. Access 8 January 2012.
- Bakker, F. M., and M. W. Sabelis. 1989.** How larvae of *Thrips tabaci* reduce the attack success of phytoseiid predators. *Entomol. Exp. Appl.* 50:47-51.
- Barbour, D. 2003.** An evaluation of the predacious behaviour of mites as predators of Kelly's citrus thrips (*Pezothrips kellyanus*). B. Sc. Hons. Thesis, School of Agriculture and Wine. The University of Adelaide, Australia.
- Beaulieu, F., and A. R. Weeks. 2007.** Free-living mesostigmatic mites in Australia: their roles in biological control and bioindication. *Aust. J. Exp. Agric.* 47: 460-478.
- Behan-Pelletier, V. M. 2003.** Acari and Collembola biodiversity in Canadian agricultural soils. *Can. J. Soil Sci.* 83:279-288.
- Berndt, O., R. Meyhofer, and H. -M. Poehling. 2004a.** The edaphic phase in the ontogenesis of *Frankliniella occidentalis* and comparison of *Hypoaspis miles* and *Hypoaspis aculeifer* as predators of soil-dwelling thrips stages. *Biol. Control* 30: 17-24.
- Berndt, O., H. -M. Poehling, and R. Meyhöfer. 2004b.** Predation capacity of two predatory laelapid mites on soil-dwelling thrips stages. *Entomol. Exp. Appl.* 112: 107-115.
- Blank, R. H, and G. S. C. Gill. 1997.** Thrips (Thysanoptera: Terebrantia) on flowers and fruit of citrus in New Zealand. *N. Z. J. Crop Hortic. Sci.* 25: 319-332.

- Bregetova, N.G., B. A. Vainshtein, B.A. Kadite, E. V. Koroleva, A. D. Petrova, S. I. Tikhomirov, and G. I. Shcherbat. 1977.** A key to the Soil-Inhabiting Mites. Mesostigmata. Akademii Nauk SSSR, Zoological Institute. Leningrad. 1028 pp.
- Bru, P. and F. Garcia-Marí. 2008.** Seasonal and spatial population trend of predatory insects in eastern-Spain citrus orchards. IOBC/WPRS Bull. 38: 261-266.
- Colloff, M. J., G. Fokstuen, and T. Boland. 2003.** Toward the Triple Bottom Line in Sustainable Horticulture: Biodiversity, Ecosystem Services and an Environmental Management System for Citrus Orchards in the Riverland of South Australia. CSIRO Entomology, Canberra, Australia.
- Crisp, P. and G. J. Baker. 2011.** Soil mediated conservation biological control of Kelly's citrus thrips *Pezothrips kellyanus* pupae. IOBC/WPRS Bull. 62: 239-246.
- DeBach, P. 1974.** Biological Control by Natural Enemies. Cambridge University Press, London.
- El-Banhawy, E. M., A. K. Nasr, and S. I. Afia. 2006.** Survey of predacious soil mites (Acari: Mesostigmata) in citrus orchards of the Nile Delta and Middle Egypt with notes on the abundance of the citrus parasitic nematode *Tylenchulus semipenetrans* (Tylenchida: Tylenchulidae). Int. J. Trop. Insect Sci. 26: 64-69.
- Enkegaard, A., and H. F. Brødsgaard. 2000.** *Lasioseius fimetorum*: a soil-dwelling predator of glasshouse pests? Biocontrol 45: 285-293.
- Enkegaard, A., M. Sardar, and H. Brødsgaard. 1997.** The predatory mite *Hypoaspis miles*: biological and demographic characteristics on two prey species, the mushroom sciarid fly, *Lycoriella solani*, and the mould mite, *Tyrophagus putrescentiae*. Entomol. Exp. Appl. 82: 135-146.
- Froud, K. J., P. S. Stevens, and D. Steven. 2001.** Survey of alternative host plants for Kelly's citrus thrips (*Pezothrips kellyanus*) in citrus growing regions. New Zealand Plant Protection 54: 15-20.
- Gerson, U., and R. L. Smiley, R.L. 1990.** Acarine biocontrol agents: an illustrated key and manual. Chapman and Hall. London, UK.
- Gerson, U., R. L. Smiley, and R. Ochoa, R. 2003.** Mites (Acari) for Pest Control. Blackwell Science, Oxford, UK.
- Gill, H.K., R. McSorley, and M. Branham. 2011.** Effect of organic mulches on soil surface insects and arthropods. Fla. Entomol. 94: 226-232.
- Gillespie, D.R., and D. M. J. Quiring. 1990.** Biological control of fungus gnats, *Bradysia* spp. (Diptera: Sciaridae), and western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae), in greenhouses using a soil-dwelling Predatory mite, *Geolaelaps* sp. nr. *aculeifer* (Canestrini) (Acari: Laelapidae). Can. Entomol. 122: 975-983.

- Glockemann, B., 1992.** Biological control of *Frankliniella occidentalis* on ornamental plants using predatory mites. EPPO Bull. 22: 397-404.
- Grafton-Cardwell, E. E., Y. Ouyang, and R. A. Striggow. 1999.** Predacious mites for control of citrus thrips, *Scirtothrips citri* (Thysanoptera: Thripidae) in nursery citrus. Biol. Control 14: 29-36.
- Grosman, A., G. Messelink, and E. de Groot, E. 2011.** Combined use of a mulch layer and the soil-dwelling predatory mite *Macrocheles robustulus* (Berlese) enhance the biological control of sciarids in potted plants. EPPO Bull. 68: 51-54.
- Grout, T. G., and E. A. Ueckermann. 1999.** Predatory mites (Acari) found under citrus trees in the Southern African lowveld. Int. J. Acarol. 25: 235-238.
- Halliday, R. B., and E. Holm. 1987.** Mites of the family Macrochelidae as predators of two species of dung-breeding pest flies. Biocontrol 32: 333-338.
- Halliday, R. B., and E. E. Lindquist. 2007.** Nomenclatural notes on the names *Gaeolaelaps* and *Geolaelaps* (Acari: Laelapidae). Zootaxa 1621: 65-67.
- Hurlbutt, H. W. 1958.** A Study of Soil-Inhabiting Mites from Connecticut Apple Orchards. J. Econ. Entomol. 51: 767-772.
- James, D. G. 2000.** Abundance and phenology of earth mites (Acari: Penthaleidae) and predatory mites in pesticide-treated and pesticide-free grassland habitats in southern New South Wales, Australia. Int. J. Acarol. 26: 363-369.
- Jamieson, L. E., and P. S. Stevens. 2006.** The effect of mulching on adult emergence of Kelly's citrus thrips (*Pezothrips kellyanus*). New Zealand Plant Prot. 59: 42-46.
- Karg, W. 1993.** Acari (Acarina), Milben, Parasitiformes (Anactinochaeta), Cohors Gamasina Leach, Raubmilben. Die Tierwelt Deutschlands (2nd edn), 59G. Fischer, Jena, Germany.
- Kirk, W. D. J. 1987.** A Key to the Larvae of Some Common Australian Flower Thrips (Insecta, Thysanoptera), With a Host-Plant Survey. Aust. J. Zool. 35: 173-185.
- Koehler, H. H. 1992.** The use of soil mesofauna for the judgement of chemical impact on ecosystems. Agric. Ecosyst. Environ. 40: 193-205.
- Koehler, H. H. 1997.** Mesostigmata (Gamasina, Uropodina), efficient predators in agroecosystems. Agric. Ecosyst. Environ. 62: 105-117.
- Krantz, G. W. 1998.** Review Reflections on the biology, morphology and ecology of the Macrochelidae. Exp. Appl. Acarol. 22: 125-137.
- Krantz, G.W. 2009.** Habits and Habitats. In: G. W. Krantz, D. E. Walter (eds.), A Manual of Acarology, Third Edition. Texas Tech University Press; Lubbock, USA.
- Krantz, G. W. and D. E. Walter (Eds.). 2009.** A Manual of Acarology, Third Edition. Texas Tech University Press; Lubbock, Texas, USA.

- Lesna, I., M. W. Sabelis, and C. G. M. Conijn. 1996.** Biological control of the bulb mite, *Rhizoglyphus robini*, by the predatory mite, *Hypoaspis aculeifer*, on lilies: predator-prey interactions at various spatial scales. *J. Appl. Ecol.* 33: 369-376.
- Lesna, I., M. W. Sabelis, H. R. Bolland, and C. G. M. Conijn. 1995.** Candidate natural enemies for control of *Rhizoglyphus robini* Claparede (Acari: Astigmata) in lily bulbs: exploration in the field and pre-selection in the laboratory. *Exp. Appl. Acarol.* 19: 655-669.
- Liang, W., and M. Huang. 1994.** Influence of citrus orchard ground cover plants on arthropod communities in China: a review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 50: 29-37.
- Lindquist, E. E., G. W. Krantz, and D. E. Walter. 2009.** Order Mesostigmata. A Manual of Acarology, Third Edition. Texas Tech University Press, Lubbock, Texas, USA.
- Marullo, R. 1998.** *Pezothrips kellyanus*, un nuovo tripide parassita delle colture meridionali. *Informatore Fitopatologico* 48: 72-75.
- Messelink, G., and R. van Holstein-Saj. 2008.** Improving thrips control by the soil-dwelling predatory mite *Macrocheles robustulus* (Berlese). *IOBC/WPRS Bull.* 32: 135-138.
- Messelink, G. J., S. E. F. van Steenpaal, and P. M. J. Ramakers. 2006.** Evaluation of phytoseiid predators for control of western flower thrips on greenhouse cucumber. *Biocontrol* 51: 753-768.
- Milne, J. R., M. Milne, and G. H. Walter. 1997.** A key to larval thrips (Thysanoptera) from Granite Belt stonefruit trees and a first description of *Pseudanaphothrips achaetus* (Bagnall) larvae. *Aust. J. Entomol.* 36: 319-326.
- Monzó, C., B. Sabater-Muñoz, A. Urbaneja, and P. Castañera. 2011.** The ground beetle *Pseudophonus rufipes* revealed as predator of *Ceratitis capitata* in citrus orchards. *Biol. Control* 56: 17-21.
- Mound, L. A., and D. J. Jackman. 1998.** Thrips in the economy and ecology of Australia. *In: Pest Management – Future Challenges, Proceedings of the Sixth Australian Applied Entomological Research Conference* (eds MP Zalucki, RAI Drew & GG White), pp. 472–478. University of Queensland, St Lucia, Australia.
- Mound, L.A., G. D. Morison, B. R. Pitkin, and J. M. Palmer. 1976.** Thysanoptera. Handbooks for the identification of British insects. Royal Entomological Society, London 1: 1-79.
- Mound, L. A., and A. K. Walker. 1982.** Terebrantia (Insecta: Thysanoptera). *Fauna of New Zealand.* 1: 1-113.
- Navarro-Campos, C., A. Aguilar, and F. Garcia-Marí. 2011.** Population trend and fruit damage of *Pezothrips kellyanus* in citrus orchards in Valencia (Spain). *IOBC/WPRS Bull.* 62: 285-292.

- Navarro-Campos, C., A. Aguilar, and F. Garcia-Marí. 2012.** Aggregation Pattern, Sampling Plan and Intervention Threshold for *Pezothrips kellyanus* in Citrus Groves. *Entomol. Exp. Appl.* 142: 130-139.
- Navarro Campos, C., C. Marzal, A. Aguilar, and F. Garcia Marí. 2010.** Presencia del microlepidóptero *Anatrachyntis badia* en cítricos: Descripción, comportamiento y daños al fruto. *Levante Agrícola* 402: 270-276.
- Perrotta, G., and F. Conti. 2008.** A threshold hypothesis for an integrated control of thrips infestation on citrus in South-Eastern Sicily. *IOBC/WPRS Bull.* 38: 204-209.
- Price, D.W. 1973.** Abundance and vertical distribution of microarthropods in the surface layers of California pine forest soil. *Hilgardia* 42: 121-148.
- Purvis, S. 2003.** Talking Thrips in citrus. Issue 3.
http://www.sardi.sa.gov.au/data/assets/pdf_file/0005/44924/talking_thrips_3.pdf. Access 25 March 2012.
- Rosenheim, J. A., H. K. Kaya, L. E. Ehler, J. J. Marois, and B. A. Jaffee. 1995.** Intraguild predation among biological-control agents: theory and evidence. *Biol. control* 5: 303-335.
- Statgraphics. 1994.** Version 5.1 Plus. Statistical Graphics System by Statistical Graphics Corporation. Manugistics, Rockville, MD, USA.
- Stevens, P. S., D. Steven, and K. J. Froud. 1998.** Kelly's citrus thrips—a tough customer. *The Orchardist* 71: 58-61.
- Tena, A., J. Catalán, C. Monzó, J. A. Jacas, and A. Urbaneja. 2011.** Chemical control of *Pezothrips kellyanus* in citrus and its side-effects on some important natural enemies. *IOBC/WPRS Bull.* 62: 247–253.
- Thoeming, G., and H. -M. Poehling. 2006.** Integrating soil-applied azadirachtin with *Amblyseius cucumeris* (Acari: Phytoseiidae) and *Hypoaspis aculeifer* (Acari: Laelapidae) for the management of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Environ. Entomol.* 35: 746-756.
- Thomson, L. J., and A. A. Hoffmann. 2007.** Effects of ground cover (straw and compost) on the abundance of natural enemies and soil macro invertebrates in vineyards. *Agric. Forest. Entomol.* 9: 173-179.
- Urbaneja, A., F. Garcia Marí, D. Tortosa, C. Navarro, P. Vanaclocha, L. BARGUES, and P. Castañera. 2006.** Influence of ground predators on the survival of the Mediterranean fruit fly pupae, *Ceratitis capitata*, in Spanish citrus orchards. *Biocontrol* 51: 611-626.
- van Lenteren, J. C. 2012.** The state of commercial augmentative biological control: plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. *Biocontrol* 57: 1-20.

- Varikou, K., J. A. Tsitsipis, V. Alexandrakis, and L. A. Mound. 2002.** *Pezothrips kellyanus* (Bagnall) (Thysanoptera: Thripidae), a new pest of citrus trees in Crete, p. 33. In: Proceedings of the VIIth European Congress of Entomology, 7–13 October 2002, Thessaloniki, Greece.
- Vassiliou, V. A. 2007.** Chemical control of *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae) in citrus plantations in Cyprus. *Crop Prot.* 26: 1579-1584.
- Vassiliou, V. A. 2010.** Ecology and Behavior of *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae) on Citrus. *J. Econ. Entomol.* 103: 47-53.
- Vercher, R., A. Domínguez Gento, S. González, and E. Bergés. 2011.** Conservation biological control on citrus. *IOBC/WPRS Bull.* 62: 309.
- Vierbergen, G., H. Kucharczyk, and W. D. J. Kirk. 2010.** A key to the second instar larvae of the Thripidae of the Western Palearctic region. *Tijdschr. Entomol.* 153: 99-160.
- Walter, D. E., and D. T. Kaplan. 1990.** Antagonists of plant-parasitic nematodes in Florida citrus. *J. Nematol.* 22: 567-573.
- Walter, D. E., and H. C. Proctor. 1999.** Mites: ecology, evolution and behaviour. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Warren, P. H., and J. H. Lawton. 1987.** Invertebrate predator-prey body size relationships: an explanation for upper triangular food webs and patterns in food web structure. *Oecologia* 74: 231-235.
- Webster, K. W., P. Cooper, and L. A. Mound. 2006.** Studies on Kelly's citrus thrips, *Pezothrips kellyanus* (Bagnall) (Thysanoptera: Thripidae): sex attractants, host associations and country of origin. *Aust. J. Entomol.* 45: 67-74.
- Wiethoff, J., H. -M. Poehling, and R. Meyhöfer. 2004.** Combining plant- and soil-dwelling predatory mites to optimise biological control of thrips. *Exp. Appl. Acarol.* 34: 239-61.
- Wise, G. U., M. K. Hennessey, and R. C. Axtell. 1988.** A new species of manure-inhabiting mite in the genus *Poecilochirus* (Acari: Mesostigmata: Parasitidae) predacious on house fly eggs and larvae. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 81: 209-224.
- zur Strassen, R. 2003.** Die Terebranten Thysanoptera Europas und des Mittelmeer-Gebietes. *Die Tierwelt Deutschlands* 74: 1-277.

CAPÍTULO 8

Discusión general



8 Discusión general

Diversas especies de trips se alimentan y/o reproducen en árboles cítricos durante la floración de estos. Las especies de trips halladas en nuestro trabajo son similares a las encontradas en otros trabajos realizados en la cuenca mediterránea (Costa et al., 2006; Navarro et al., 2008; Teksam y Tunç, 2009; Longo, 1986) mientras que difieren de las otras zonas lejanas como Florida, Australia y Nueva Zelanda (Childers y Nakahara, 2009; Blank y Gill, 1997; Broughton y De Lima, 2002).

Hemos observado que actualmente en las parcelas de cítricos en la comarcas de la Ribera Alta y la Ribera Baixa, *Pezothrips kellyanus* es el trips más abundante tanto en la parte aérea como en la terrestre. En los últimos años se ha encontrado también como el trips más abundante en la copa de cítricos de Italia y Portugal (Conti et al., 2003; Costa et al., 2006), habiendo superado en abundancia a *Frankliniella occidentalis*, que hace unos años era la especie más cuantiosa en cítricos de casi todas las comarcas del País Valenciano (Navarro et al., 2008). El cambio en las poblaciones relativas de las diferentes especies de trips como consecuencia de la introducción de *P. kellyanus* ha ocurrido también en otros países de forma reciente. En Italia el trips *Heliothrips haemorrhoidalis* ha actuado como plaga de parcelas de cítricos intensivas durante muchos años y recientemente ha sido suplantado por *P. kellyanus* (Perrotta y Conti, 2008; Marullo, 2009). Respecto al resto de especies de trips encontradas, tres trips destacan en abundancia en la citricultura mediterránea: *F. occidentalis*, *Thrips major* y *Thrips tabaci*. Hemos hallado estas especies incluso en el suelo bajo la copa de los árboles aunque en pequeñas cantidades. Estas tres especies, sobretodo *F. occidentalis* y *T. tabaci*, son plagas importantes de otros cultivos y debido a ello podría pensarse que también están provocando daños en los cítricos. Ya Bodenheimer (1951) discutía la afirmación de Rivnay sobre que *T. tabaci* estaba provocando daños en cítricos. *Thrips major* fue citado como productor de daños en cítricos de Marruecos (Bournier, 1963), pero no se ha vuelto a detectar daños. Según Lacasa y Llorens (1996) la asociación de *F. occidentalis* a los cítricos no se traduce en daños al alimentarse del polen y de los órganos exteriores de la flor. Este trabajo confirma que *P. kellyanus* es el único trips responsable de las cicatrices circulares alrededor del pedúnculo de los cítricos ya que es destacable el bajo número de estadios inmaduros encontrados en los frutitos de las otras especies de trips. Además, la alta correlación hallada entre los porcentajes de frutos dañados y la presencia de *P. kellyanus* confirma este hecho.

Hemos capturado en el suelo de las parcelas dos especies, *Hoplothrips corticis* y *Merothrips floridensis*, que no parecen estar asociadas al cultivo de los cítricos. Aunque Childers y Nakahara (2006) encontraron una hembra de *M. floridensis* en pomelo, ambas especies son de comportamiento fungívoro (Ananthakrishnan, 1984). Las especies de *Hoplothrips* viven de una forma gregaria sobre los hongos que se desarrollan tanto en la madera como en las raíces (Ananthakrishnan, 1984; Kobro y Rafoss, 2001) y las especies del género *Merothrips* están asociadas a la hojarasca y ramas muertas (Ananthakrishnan, 1984).

No se conoce con seguridad el origen (Webster et al., 2006) y por tanto el hospedante original de *P. kellyanus* (Mound y Walker, 1982), pero actualmente sus poblaciones van muy ligadas a la floración de los cítricos y a la de otras especies que presentan flores parecidas en el aroma y el color, como por ejemplo *Jasminum* spp, *Pittosporum tobira* o *Lonicera japonica* (Kirk, 1987; Mound y Jackman, 1998; Froud et al., 2001; Conti et al., 2003; Baker, 2006; Vassiliou, 2010) y según hemos observado en este trabajo también la planta invasora *Araujia sericifera*. Es común observar abundantes individuos de *P. kellyanus* en las flores de dichas especies en las zonas citrícolas donde el trips está presente. Observaciones no publicadas en las flores de varios jazmines en verano mostraron también una elevada cantidad de larvas de *P. kellyanus* durante esta estación. Además, hemos encontrado que las poblaciones del trips son significativamente más elevadas en las muestras de suelo obtenidas de limoneros y jazmines que en las de naranjos o híbridos.

El papel que desempeñan estas especies como reservorios o zonas de cría de *P. kellyanus* no se conoce con claridad. El presente estudio se ha realizado en una zona citrícola que se caracteriza por la presencia de parcelas muy pequeñas con gran diversidad de especies y variedades de cítricos, y en muchas de esas parcelas es común encontrar ejemplares de limoneros o jazmines. También se puede encontrar alguna parcela abandonada en la que prolifera la planta invasora *Araujia sericifera* y en la que además, se quedan los frutos maduros cítricos sin recolectar pudiendo actuar como refugios de los trips. Esto complica el estudio de las abundancias poblacionales del trips en los cítricos intentando eliminar el efecto de estos otros recursos alimentarios. Si bien podrían parecer hechos particulares, creemos que en nuestra zona de estudio claramente contribuyen al aumento y permanencia de las poblaciones de *P. kellyanus* a lo largo del año. Según Ananthakrishnan (1984) muchos trips polípagos a menudo forman reservorios en las plantas silvestres desde donde periódicamente emigran hacia los cultivos.

Recopilando la información de los diferentes métodos de muestreo utilizados, hemos encontrado que *P. kellyanus* se encuentra presente en las parcelas de cítricos durante todo el año. Al estudiar los métodos de muestreo que capturan *P. kellyanus* en el suelo (trampas de caída y emergencia y extracciones mediante el embudo de Berlese), y por tanto estamos seguros de que están reproduciéndose en ese momento en los árboles de naranjos, mandarinos o híbridos, vemos que capturamos trips durante todo el año excepto en noviembre. Al observar la evolución estacional del trips en las plantaciones regulares de cítricos, al inicio del año lo hemos encontrado en grupos de frutos maduros en contacto donde coexisten con un reducido número de otras especies -como *T. major*, *Melanthrips fuscus*, *T. tabaci*, *H. haemorrhoidalis* y *Thrips angusticeps*- y en muy pequeñas cantidades sobre las ramas. En algunos casos, si los frutos maduros permanecen durante mucho tiempo en el campo se pueden observar larvas de trips en las concavidades de los frutos. Este hecho se ha visto de una forma especialmente acusada en los frutos maduros del híbrido Ortanique. En Marzo-abril, durante la floración de los cítricos, los adultos empiezan a invadir las flores que rápidamente se llenan de larvas entre los estambres y el ovario. En este momento las poblaciones se incrementan rápidamente, presumiblemente debido a la alta calidad nutricional de las flores y los tejidos en crecimiento. Se sabe que el polen reduce el tiempo de desarrollo y aumenta la supervivencia y la fecundidad de las hembras de *P. kellyanus* (Blank y Gill, 1997; Baker et al., 2002; Varikou et al., 2010), también se ha citado para otras especies de trips que las larvas privadas de polen presentan un menor desarrollo y una mayor mortalidad (Murai y Ishii, 1982; Teulon y Penman, 1991). Durante la caída de pétalos y debido a que esto ocurre en un lapso de tiempo muy corto, muchas de estas larvas caen al suelo, otras se mueven por el árbol buscando otras flores (observaciones propias al capturar muchas larvas en trampas pegajosas blancas en este periodo) y otras se quedan alimentándose en la zona mas protegida y más tierna que les queda, la unión del ovario con el disco floral. Al alimentarse de este tejido lo dañan y cuando el fruto crece desplazando hacia fuera la zona dañada entonces los daños se hacen aparentes. Blank y Gill (1997) observaron también que el daño parece coincidir con la aparición de las larvas en los frutitos. Esto ocurre, en nuestras condiciones, aproximadamente entre mayo y junio. La bajada de población observada durante junio y julio en este trabajo podría ser debida a que los trips se quedan sin este recurso tan nutritivo que son las flores y al pasar a alimentarse de los tejidos del ovario empezarían a dejar de multiplicarse tan rápido. Posteriormente, desde agosto hasta final de año se vuelven a observar individuos de *P. kellyanus* en las parcelas de cítricos aunque en pequeñas cantidades. Estas poblaciones estarían alimentándose y reproduciéndose en

frutos maduros, en floración esporádica que aparecen en los árboles cítricos fuera del periodo primaveral, y en otros hospedantes. Durante el invierno hemos capturado larvas y adultos de *P. kellyanus* en la zona en contacto entre frutos maduros, en trampas pegajosas colocadas en la copa, en trampas de caída y emergencia colocadas en el suelo y en muestras de suelo colocadas en embudos de Berlese. Por lo tanto, vemos que no hiberna únicamente en forma de pupa en el suelo y hojarasca como se afirma en EPPO (2006). Es remarcable el hecho de que las zonas en contacto entre frutos maduros sean usadas como lugar de cría de *P. kellyanus*. Esto implicaría que las parcelas cercanas no recolectadas o con variedades tardías como Valencia Late podrían actuar como reservorio de las poblaciones del trips.

Aunque no se puede saber con exactitud el número de generaciones de *P. kellyanus*, teniendo en cuenta su presencia a lo largo de todo el año, y que los grados días necesarios para una generación son de 204,5 con 10,2°C de temperatura umbral (Varikou et al., 2009), podemos decir que indudablemente son más de una, acercándose más a lo que dice Vassiliou (2007) de seis generaciones al año que a lo que citan Blank y Gill (1997) de una sola generación en muchas variedades de cítricos cultivadas.

Hemos observado una relevante diferencia en la biología de *P. kellyanus* en comparación con *Scirtothrips citri*, otro trips que causa daños similares en los cítricos. Como hemos visto, *P. kellyanus* se desarrolla principalmente en flores de cítricos y, en menor medida, en frutitos en desarrollo y en frutos maduros. Por otro lado, *S. citri* se desarrolla en tejidos jóvenes como hojas y brotes tiernos, no en flores y frutos maduros, e hiberna en estado de huevo en el tejido de las hojas (Horton, 1918; Schweizer y Morse, 1997a). Este comportamiento probablemente refleje el diferente contexto evolutivo de las especies comparadas: *P. kellyanus* es una especie polífaga que se ha convertido en plaga seria de cítricos recientemente (Mound y Jackman, 1998), mientras que *S. citri* ataca principalmente a cítricos y ha sido considerada plaga seria de cítricos desde los inicios del siglo XX (Ebeling, 1959) y está probablemente más adaptada a la fisiología del árbol cítrico.

Un aspecto del comportamiento de las poblaciones de *P. kellyanus* que ha quedado sin estudiar es el de las agrupaciones de machos en las parcelas. Estas agrupaciones se forman a horas concretas del día como estudiaron Webster et al., (2006) y presumiblemente emitirían feromonas que atraen a las hembras para aparearse (Mound y Jackman, 1998). Hemos observado como estas agrupaciones son más frecuentes en unas parcelas que en otras, y se dan en mayor medida en unos árboles que en otros repitiéndose esta preferencia año

tras año. Nos consta que se está estudiando la emisión de las feromonas por parte de los machos y es posible que en poco tiempo se sepa más al respecto (W. Kirk, Keele University, comunicación personal, 2012).

Los daños producidos por *P. kellyanus* son muy variables entre años como hemos observado en nuestro trabajo. Este hecho ha sido constatado también por otros autores en *P. kellyanus* (Perrotta y Conti, 2008; Vassiliou, 2010) y en *S. citri* (Lewis, 1935; Grout et al., 1986). Pensamos que se debe en gran medida a las variaciones climáticas entre años y sobre todo a la temperatura como argumentamos en el capítulo 5. Un amplio trabajo realizado por Schweizer y Morse (1997a) sobre *S. citri*, demuestra también que los daños son función de la temperatura. Según Logan et al., (1976) la temperatura afecta la dinámica poblacional principalmente porque afecta a la tasa de desarrollo de los insectos. Teksam y Tunç (2009) encuentran que en Turquía, donde *P. kellyanus* no se había encontrado previamente a dicho estudio, las poblaciones están localizadas en zonas montañosas con temperatura media anual mayor que en el resto al estar protegidas de los vientos fríos del norte.

Además de la temperatura, otros factores que pueden estar implicados en la variabilidad observada entre años son la pluviometría y la humedad relativa. Respecto a las precipitaciones existen diferentes opiniones al respecto. Las lluvias fuertes pueden actuar negativamente sobre las poblaciones de trips, causando mortalidad en los diferentes estadios (North y Shelton, 1986; Schweizer y Morse, 1997b) o dificultando su dispersión (Kirk, 1997; Morsello et al., 2008). Por otro lado, se ha observado que la pluviosidad de la estación anterior a la floración puede hacer que las poblaciones se incrementen más rápidamente (Kirk, 1997). En el caso de *S. citri*, según Lewis (1935), la lluvia no tiene efecto en su abundancia poblacional. Referente al efecto de la humedad relativa, parece claro que los trips son insectos muy susceptibles a la desecación, siendo un valor óptimo el de 70-90% para muchas especies (MacGill, 1931; Lewis, 1962). Las larvas son las más sensibles a las bajas humedades relativas, seguidas de los adultos y posteriormente de las pupas (Shipp y Gillespie, 1993). Sería interesante estudiar el efecto de los vientos secos en los periodos en los que se están desarrollando las poblaciones de larvas de *P. kellyanus*.

Pero además de la variabilidad que encontramos entre años en las abundancias de *P. kellyanus* también observamos una variabilidad muy grande entre parcelas cercanas. Muchos factores a nivel de parcela pueden estar provocando esta variabilidad como la presencia de enemigos naturales (Colloff et al., 2003; Barbour, 2003), las especies y/o variedades del cítrico cultivado

(Blank y Gill, 1997; Baker et al., 2002), la cobertura del suelo (Colloff et al., 2003), el tipo de suelo (Barbour, 2003) y de riego (Crisp y Baker; 2011), el abuso de insecticidas o fertilizantes nitrogenados (Baker et al., 2002; Baker et al., 2004) y la mayor o menor presencia de agregaciones de machos, entre otros. Según Colloff et al., (2003) la incidencia del daño de *P. kellyanus* en Australia es menor en parcelas de cultivo ecológico, alegando que los enemigos naturales podrían ser la causa. Otras causas de variabilidad entre las poblaciones puede ser la mayor o menor presencia de otros recursos donde alimentarse y/o reproducirse como hemos visto anteriormente. Por último, el hecho de tener una estructura parcelaria pequeña y en la que coexisten muy juntas especies y variedades de cítricos distintas, también podría influir en las poblaciones.

Al comparar la eficacia de los métodos de muestreo a la hora de predecir los daños finales hemos obtenido que la emergencia de adultos en trampas de suelo y el conteo de larvas en frutitos han sido los métodos que han dado mejores resultados. Froud et al. (2000) proponen que la evaluación de la emergencia de adultos del suelo puede ser un buen método de prospección de la abundancia de las poblaciones ya que estos emergen en picos discretos previos a la floración. Pero, teniendo en cuenta que los dos métodos expuestos son laboriosos, pensamos que es más aconsejable realizar el conteo de larvas en frutos ya que es en ese momento cuando se está realizando el daño y este es causado sobre todo por los estadios que justamente se están evaluando. Así mismo evitamos confusión por la presencia de adultos en la parcela que emigren a otras zonas de la parcela o a otras parcelas. Además el conteo de larvas en frutitos es lo que se aconseja también para otros trips de cítricos como *S. citri*, descartando como no muy fiable el uso de trampas de suelo (Rhodes y Morse, 1989). El método de muestreo de trampas de emergencia y caída puede ser recomendable para la investigación de las poblaciones a lo largo del año, en todo caso. Es interesante el hecho de que también encontremos una alta correlación entre las larvas en flores y daños, pero en este momento el conteo es muy difícil porque las larvas se esconden entre los estambres que son del mismo color que las larvas, haciendo difícil el recuento para personas no expertas. Experiencias no publicadas en las que añadíamos aceites esenciales extraídos de flores de jazmín y de cítricos a las trampas blancas pegajosas mostraron un incremento en las capturas de adultos e inmaduros de *P. kellyanus*, lo que podría usarse para aumentar la eficacia de las trampas blancas pegajosas.

Respecto a los enemigos naturales de *P. kellyanus* existentes en los cítricos, se han citado a los fitoseidos como posibles enemigos naturales de *P. kellyanus* (Conti et al., 2001). Varias especies de fitoseidos (Acari: Mesostigmata) son eficientes controladores biológicos de trips como *F.*

occidentalis, *F. schultzei*, *T. tabaci*, *T. palmi*, *S. citri* y *S. aurantii* (Gerson y Weintraub, 2007; Grafton-Cardwell et al., 1999; Grout, 1994). En nuestros cultivos de cítricos, donde son abundantes las poblaciones de *Euseius stipulatus* (Athias-Henriot) (Ferragut et al., 1983; Garcia-Marí et al., 1985), se ha constatado durante la realización de este estudio que, aunque hay una gran cantidad de fitoseidos en las hojas, se encuentran muy pocos sobre flores y frutitos recién cuajados. Permanece la duda de si los fitoseidos pueden controlar las generaciones de trips que se dan cuando el frutito alcanza un tamaño mayor y el cáliz esta más cerrado sobre el fruto. Por otro lado, no hemos encontrado en ningún caso evidencia de trips parasitados por himenópteros como *Ceranisus* que puedan controlar el trips, a pesar de que se han capturado en las trampas pegajosas y se sabe que están presentes en las parcelas de la Ribera Alta (Laborda, 2012).

Los enemigos naturales de *P. kellyanus* que actualmente despiertan un mayor interés son algunos ácaros mesostigmátidos que se desarrollan en el suelo (Barbour, 2003; Colloff et al., 2003; Purvis, 2003; Jamieson y Stevens, 2006; Baker et al., 2011; Crisp y Baker, 2011). En general, las plagas y enemigos naturales del suelo han sido por naturaleza menos estudiados por una actitud de no considerar lo que no puede ser visto fácilmente (Hunter, 2001). De acuerdo con Walter y Proctor (1999), la diversidad y abundancia de los animales del suelo está dominada por los ácaros y su aplicación contra las plagas es una reciente rama del control biológico que se está desarrollando rápidamente. Mesostigmata es uno de los grupos invertebrados peor conocidos en el mundo y el estudio de su taxonomía puede ser particularmente útil para el control biológico (Halliday et al., 2000; Beaulieu y Weeks, 2007). Además, su estudio adquiere una mayor importancia al ser también excelentes indicadores de biológicos de calidad ambiental debido a la crucial posición intermedia en la cadena trófica (Koehler, 1992; Walter y Proctor, 1999; Beaulieu y Weeks, 2007). En el suelo los ácaros contribuyen con la regulación de los ciclos de descomposición y nutrientes depredando los descomponedores como gusanos y artrópodos, triturando la materia orgánica, alimentándose de los microbios y actuando como vectores de los propágulos microbianos que tienen una dispersión limitada (Seastedt, 1984; Moore et al., 1988).

Con el presente trabajo se ha ampliado la información referente a la diversidad de especies de ácaros depredadores que se desarrollan en el suelo de parcelas de cítricos. Se han identificado 15 taxones de ácaros depredadores del suelo y algunos de ellos pueden ser nuevas especies. Hemos hallado una relación entre las poblaciones de *P. kellyanus* y del laelápido *Gaeolaelaps aculeifer*, de modo que una mayor abundancia del ácaro va ligado a una menor

población de trips. Como hemos comentado, se ha comprobado en laboratorio que este ácaro puede desarrollarse y reproducirse con una dieta de *P. kellyanus* (Baker, 2006). *Gaeolaelaps aculeifer* es una especie común en el suelo y está siendo ensayada para el control de varias plagas incluyendo nematodos, ácaros, larvas de dípteros y trips. Los laelápidos están citados como unos de los ácaros depredadores más eficaces encontrados en el suelo, de hecho la terminación de *-laelaps* hace referencia a su incesante comportamiento de búsqueda (*laelaps* significa en griego “huracán”) (Walter y Proctor, 1999). Varias especies de esta familia se producen y comercializan ya para su uso en invernaderos en el control de larvas de dípteros y ácaros de los bulbos (Walter y Proctor, 1999) y se estudia su uso como antagonistas de los estadios de *F. occidentalis* que se desarrollan en el suelo (Berndt et al., 2004; Gerson y Weintraub, 2007).

Sería interesante estudiar las presas de las que pueden alimentarse las otras especies de ácaros encontrados en este trabajo. Especies pertenecientes a las familias Macrochelidae y Rhodacaridae ya han sido citadas como enemigos naturales de trips (Messelink y van Holstein-Saj, 2008; Castilho et al., 2009), pero sobre otras familias encontradas, como Pachylaelapidae, aun se desconoce mucho de su ecología.

Hemos encontrado una mayor abundancia de *G. aculeifer* y de otros ácaros en el suelo de limoneros y jazmines frente a las plantaciones regulares de naranjos e híbridos, donde también hemos encontrado una mayor población de *P. kellyanus*. Una posible explicación sería que están alimentándose del trips. Otra explicación podría ser que el suelo bajo los jazmines y limoneros situados en las parcelas está menos alterado que el de la plantación regular. Los sistemas de cultivo con bajos niveles de alteración son potencialmente más adecuados para el control biológico de conservación. Es frecuente encontrar un número mayor de taxones en áreas menos frecuentemente alteradas, posiblemente debido a que esas áreas pueden proporcionar recursos que no están disponibles para los enemigos naturales en los cultivos, como presas alternativas, comida y agua, refugio, microclima favorable, lugares de hibernación o apareamiento y protección frente a insecticidas (Dennis y Fry, 1992; Landis et al., 2000; Pffiffer y Luka, 2000; Thorbek y Bilde, 2004; Olson y Wäckers, 2007).

Por otro lado, no hay que olvidar que hemos hallado estos ácaros en parcelas en las que se dan daños importantes del trips, por lo que no están ejerciendo un control suficiente sobre ellos. Según Morse y Hoddle (2006) son varios los factores que impiden que los enemigos naturales residentes controlen los trips invasores de importancia económica. La falta de enemigos naturales especialistas que respondan rápidamente de una manera densidad-dependiente

sería uno de ellos, pero también, el hecho de que muchos de los potenciales enemigos naturales de trips presentes en el ecosistema receptor sean depredadores generalistas que también se alimentan de otros artrópodos además de los trips. De acuerdo con Morse y Hoddle (2006) el ciclo biológico de los trips dificulta el control por los enemigos naturales generalistas. Ya que, al encontrarse los distintos estadios de trips en diferentes medios, los enemigos naturales tendrían que estar de forma simultánea en varios hábitats para minimizar el número de estadios de trips que pueden refugiarse en zonas libres de enemigos naturales. Un creciente número de programas de control biológico tiende a combinar dos o más especies de enemigos naturales para reducir las poblaciones de las plagas (Brodeur et al., 2002). Se ha demostrado la eficacia en el control de *F. occidentalis* de la combinación de un ácaro laelápido de desarrollo en el suelo con un fitoseido - *Neoseiulus cucumeris* (Oudemans) - que actúa como depredador del trips en la parte aérea de las plantas (Gerson et al., 2003, Wiethoff et al., 2004).

Algunas prácticas agrícolas de manejo del suelo crean un ecosistema simplificado y altamente alterado que elimina las especies de microartrópodos más susceptibles a la desecación y a la modificación de su microhábitat (Paoletti y Bressan, 1996; Behan-Pelletier, 2003). El desarrollo de poblaciones de gamásidos, al igual que de otra mesofauna del suelo, está muy influenciado por el microclima del suelo (Koehler, 1997). Es posible que los ácaros del suelo no encuentren en el suelo de algunos campos cultivados las condiciones ambientales que ellos necesitan, o que sus poblaciones se vean reducidas por agentes químicos como herbicidas, fungicidas o insecticidas que llegan al suelo. En este sentido, se ha demostrado en esta tesis doctoral que los métodos culturales pueden modificar la presencia y abundancia de ácaros del suelo, ya que la aplicación de materia orgánica produjo un aumento de sus poblaciones. Esto puede ser debido al incremento de presas que se desarrollan sobre la materia orgánica, a la acción física de la capa de materia orgánica que confiere protección frente a condiciones adversas climatológicas, o al aumento de poros y zonas de refugio (Kounda-Kiki et al., 2004). La eficacia de *G. aculeifer* puede verse afectada por el tamaño de poro en el suelo y por la pauta de agregación de la presa (Axelsen et al., 1997). Por otro lado, la aplicación de clorpirifos al suelo no ha reducido significativamente las poblaciones de ácaros depredadores en el suelo en nuestro ensayo. De acuerdo con Koehler (1992), los tratamientos afectan de forma distinta según las especies. Por ejemplo, se conoce que mientras el metilclorpirifos afecta a las poblaciones de *Androlaelaps casalis* (Berlese) (White y Sinha, 1990), otro organofosforado, el dimetoato, a determinadas concentraciones puede estimular la reproducción de *G. aculeifer*

(Gerson et al. 2003). Según Rodríguez et al. (1970) algunos organofosforados no resultaron tóxicos para el macroquélido *Macrocheles muscaedomesticae* (Scopoli). Sería conveniente estudiar si un uso sostenido en el tiempo del plaguicida ensayado puede alterar las poblaciones de los ácaros.

Otro aspecto que puede estar afectando es el de la depredación intragremial. Hemos constatado en nuestro estudio que las poblaciones de *G. aculeifer* pueden verse reducidas por la presencia de *P. americanus*. La depredación intragremial, que ocurre cuando dos enemigos naturales distintos comparten un hospedante (o presa) y como mínimo uno se alimenta del otro (Rosenheim et al., 1995), es común entre los ácaros que actúan como biocontroladores (Gerson et al., 2003). Ignatowicz (1979) encontró que *Parasitus coleopratorum* (Linneaus) tenía un efecto negativo sobre la actividad del depredador *Macrocheles glaber* (Muller), aparentemente por la intensa depredación de huevos por parte del primero. Aunque *G. aculeifer* es uno de los depredadores más grandes y agresivos, sus ninfas y larvas - al ser menos esclerotizadas - pueden servir de presa de otros ácaros depredadores (Walter y Kaplan, 1991). Se necesitan más estudios para profundizar en esta problemática, sobretodo con vistas a evaluar los enemigos naturales candidatos a ser soltados en las parcelas cultivadas.

Para lograr un mayor control biológico de conservación es necesario identificar los estados medioambientales que favorecen a estos ácaros. La cubierta vegetal del suelo o el uso de los cortavientos tienen un efecto positivo en el desarrollo de la mesofauna del suelo (Koehler y Born, 1989; Tsitsilas et al., 2006; Aguilar-Fenollosa et al., 2011). En el caso de *P. kellyanus*, se ha visto en cítricos de Australia, que se daban menores daños por *P. kellyanus* en parcelas que presentan cubiertas herbáceas diversificadas y perennes. Un mejor hábitat y una fuente de polen fiable para los ácaros depredadores, que usarían como alimentación suplementaria, son las razones apuntadas por los autores para el descenso de *P. kellyanus* (Collof et al., 2003). Por último, un paisaje agrícola diversificado de campos de cultivo y zonas de refugio puede reducir los efectos negativos de las prácticas de cultivo sobre las densidades poblacionales de artrópodos depredadores generalistas (Thorbeck y Bilde, 2004). Todo ello pone de manifiesto la necesidad de estudiar el manejo correcto del hábitat en aras de mejorar la proporción entre la abundancia de depredadores del suelo y sus presas.

8.1 Referencias

- Aguilar-Fenolosa, E., S. Pascual-Ruiz, M. Hurtado, y J. Jacas. 2011.** Efficacy and economics of ground cover management as a conservation biological control strategy against *Tetranychus urticae* in clementine mandarin orchards. *Crop Prot.* 30: 1328-1333.
- Ananthkrishnan, T. N. 1984.** Bioecology of thrips. Indira Publishing House. Michigan, USA.
- Axelsen, J. A., N. Holst, T. Hamers, y P. H. Krogh. 1997.** Simulations of the predator-prey interactions in a two species ecotoxicological test system. *Ecol. Model.* 101: 15-25.
- Baker, G. J. 2006.** Kelly citrus thrips management. Fact sheet. Government of South Australia, primary industries and resources SA. http://www.sardi.sa.gov.au/data/assets/pdf_file/0010/44875/kctfact_sheet.pdf. Acceso 16 Julio 2012.
- Baker, G. J., D. J. Jackman, M. Keller, A. MacGregor, y S. Purvis. 2002.** Development of an integrated pest management system for thrips in Citrus. HAL Final Report CT97007. http://www.sardi.sa.gov.au/pestsdiseases/horticulture/horticultural_pests/kelly_citrus_thrips/research_report_1997-2000. Acceso 16 Julio 2012.
- Baker, G. J., M. Keller, S. Purvis, D. J. Jackman, y P. Crisp. 2004.** Improving the management of Kelly's Citrus Thrips in citrus: Summary, conclusions and recommendations of the 2000–04. Kelly's citrus thrips research project. http://www.sardi.sa.gov.au/pestsdiseases/horticulture/horticultural_pests/kelly_citrus_thrips/research_report_2000-2004. Acceso 8 Enero 2012.
- Baker, G. J., Keller, M., Crisp, P., D. J. Jackman, D. Barbour, y S. Purvis. 2011.** The biological control of Kelly's Citrus Thrips, in Australian citrus orchards. *IOBC/WPRS Bull.* 62: 267-274.
- Barbour, D. 2003.** An evaluation of the predacious behaviour of mites as predators of Kelly's citrus thrips (*Pezothrips kellyanus*). B. Sc. Hons. Thesis, School of Agriculture and Wine, The University of Adelaide, Australia.
- Beaulieu, F., y A. R. Weeks. 2007.** Free-living mesostigmatic mites in Australia: their roles in biological control and bioindication. *Aust. J. Exp. Agric.* 47: 460-478.
- Behan-Pelletier, V. M. 2003.** Acari and Collembola biodiversity in Canadian agricultural soils. *Can. J. Soil Sci.* 83: 279-288.
- Berndt, O., R. Meyhofer, y H. -M. Poehling. 2004.** The edaphic phase in the ontogenesis of *Frankliniella occidentalis* and comparison of *Hypoaspis miles* and *Hypoaspis aculeifer* as predators of soil-dwelling thrips stages. *Biol. Control* 30: 17-24.

- Blank, R. H., y G. S. C. Gill. 1997.** Thrips (Thysanoptera: Terebrantia) on flowers and fruit of citrus in New Zealand. *N. Z. J. Crop Hortic. Sci.* 25: 319-332.
- Bodenheimer, F. S. 1951.** *Citrus Entomology in the Middle East.* The Hague, The Netherlands.
- Bournier, A. 1963.** Un nouveau déprédateur des agrumes en Afrique du nord: *Thrips major* Uzel. *Re. Path. Veg.* 42: 119-125.
- Brodeur, J., C. Cloutier, y D. Gillespie. 2002.** Higher-order predators in greenhouse systems. *IOBC/WPRS Bull.* 25: 33-36.
- Broughton, S. y F. De Lima. 2002.** Monitoring and control of thrips in citrus. Farm note. http://www.agric.wa.gov.au/content/hort/fn/pw/fn007_2002.pdf. Acceso 18 abril 2012.
- Castilho, R., G. de Moraes, E. Silva, y L. Silva. 2009.** Predation potential and biology of *Protogamasellopsis posnaniensis* Wisniewski Hirschmann (Acari: Rhodacaridae). *Biol. Control* 48: 164-167.
- Childers, C. C., y S. Nakahara. 2006.** Thysanoptera (thrips) within citrus orchards in Florida: Species distribution, relative and seasonal abundance within trees, and species on vines and ground cover plants. *J. Insect Sci.* 6: 1-19.
- Colloff, M. J., G. Fokstuen, y T. Boland. 2003.** Toward the Triple Bottom Line in Sustainable Horticulture: Biodiversity, Ecosystem Services and an Environmental Management System for Citrus Orchards in the Riverland of South Australia. *CSIRO Entomology*, Canberra, Australia.
- Conti, F., R. Tumminelli, C. Amico, R. Fiscaro, C. Frittitta, G. Perrotta, y R. Marullo. 2001.** Monitoring *Pezothrips kellyanus* on citrus in eastern Sicily, pp. 207-210. Thrips and tospoviruses. *In: Proceedings of the 7th International Symposium on Thysanoptera*, 1-8 July 2001, Reggio Calabria, Italy.
- Conti, F., R. Tumminelli, R. Fiscaro, G. Perrotta, R. Marullo, y G. Liotta. 2003.** An IPM system for new citrus thrips in Italy. *IOBC/WPRS Bull.* 26: 203-208.
- Costa, L., C. Mateus, R. zur Strassen, y J. C. Franco. 2006.** Thrips (Thysanoptera) associated to lemon orchards in the Oeste region of Portugal. *IOBC/WPRS Bull.* 29: 285-291.
- Crisp, P., y G. J. Baker. 2011.** Soil mediated conservation biological control of Kelly's citrus thrips *Pezothrips kellyanus* pupae. *IOBC/WPRS Bull.* 62: 239-246.
- Dennis, P., y G. L. A. Fry. 1992.** Field margins: can they enhance natural enemy population densities and general arthropod diversity on farmland? *Agric. Ecosyst. Environ.* 40: 95-115.
- Ebeling, W. 1959.** *Subtropical fruit pests.* University of California. Division of agricultural sciences. California, USA.

[EPP0] European Plant Protection Organisation Reporting Service. 2006.

Pezothrips kellyanus

([http://www.eppo.org/QUARANTINE/Pest Risk Analysis/PRAdocs_insects/06-12760%20DS%20PEZTKE.doc](http://www.eppo.org/QUARANTINE/Pest_Risk_Analysis/PRAdocs_insects/06-12760%20DS%20PEZTKE.doc)). Acceso 18 Junio 2012.

- Ferragut, F., F. Garcia-Marí, y C. Marzal. 1983.** Determinación y abundancia de los fitoseidos (Acari: Phytoseiidae) en los agrios españoles. Actas I Congr. Asoc. Esp. C. Hortícolas 1: 299-308.
- Froud, K. J., P. S. Stevens, y D. Steven. 2000.** Kelly's citrus thrips 2. Evaluating a potential monitoring system. The Orchardist 61: 60-63.
- Froud, K. J., P. S. Stevens, y D. Steven. 2001.** Survey of alternative host plants for Kelly's citrus thrips (*Pezothrips kellyanus*) in citrus growing regions. New Zealand Plant Protection 54: 15-20.
- Garcia-Marí, F., J. M. Del Rivero, C. Marzal, J. Costa Comelles, R. Laborda y F. Ferragut. 1985.** Avances en el conocimiento de los ácaros de los cítricos en España. Cuadernos de Fitopatología, 4: 132-137.
- Gerson, U., R. L. Smiley, y R. Ochoa, R. 2003.** Mites (Acari) for Pest Control. Blackwell Science, Oxford, UK.
- Gerson, U., y P. G. Weintraub. 2007.** Mites for the control of pests in protected cultivation. Pest Manag. Sci. 63: 658-676.
- Grafton-Cardwell, E. E., Y. Ouyang, y R. A. Striggow. 1999.** Predacious mites for control of citrus thrips, *Scirtothrips citri* (Thysanoptera: Thripidae) in nursery citrus. Biol. Control 14: 29-36.
- Grout, T. G. 1994.** The distribution and abundance of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) on citrus in southern Africa and their possible value as predators of citrus thrips (Thysanoptera: Thripidae). Exp. Appl. Acarol. 18: 61-71.
- Grout, T. G., J. G. Morse, N. V. O'Connell, D. L. Flaherty, P. B. Goodell, M. W. Freeman, y R. L. Coviello. 1986.** Citrus thrips (Thysanoptera: Thripidae) phenology and sampling in the San Joaquin Valley. J. Econ. Entomol. 79: 1516-1523.
- Halliday, R., B. O'connor, y A. Baker. 2000.** Global diversity of mites. Nature and Human Society—the Quest for a Sustainable World. (PH Raven ed.).National Academy Press, Washington DC 192-203.
- Horton, J. R. 1918.** The citrus thrips. US Dept. Agric. Bull. 616: 1-42.
- Hunter, M. D. 2001.** Insect population dynamics meets ecosystem ecology: effects of herbivory on soil nutrient dynamics. Agric. Forest. Entomol. 3: 77-84.

- Ignatowicz, S. 1979.** Inter-and intraspecific competition in mites: *Parasitus coleopratorum* (L.) and *Macrocheles glaber* (Müller), pp. 623-625. In Proc. 4th Int. Cong. Acarol. (Ed. By E. Piffli), pp. 623-625. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Jamieson, L. E., y P. S. Stevens. 2006.** The effect of mulching on adult emergence of Kelly's citrus thrips (*Pezothrips kellyanus*). New Zealand Plant Prot. 59: 42-46.
- Kirk, W. D. J. 1987.** A Key to the Larvae of Some Common Australian Flower Thrips (Insecta, Thysanoptera), With a Host-Plant Survey. Aust. J. Zool. 35: 173-185.
- Kirk, W. D. J. 1997.** Distribution, abundance and population dynamics, pp. 217-258. En T. Lewis (ed.), Thrips as crop pests. CAB International, Wallingford, UK.
- Kobro, S., y T. Rafoss. 2001.** Diagnostic characters of the larvae of some *Hoplothrips* species (Thysanoptera: Tubulifera) in Norway. Eur. J. Entomol. 98: 543-546.
- Koehler, H. H. 1992.** The use of soil mesofauna for the judgement of chemical impact on ecosystems. Agric. Ecosyst. Environ. 40: 193-205.
- Koehler, H. H. 1997.** Mesostigmata (Gamasina, Uropodina), efficient predators in agroecosystems. Agric. Ecosyst. Environ. 62: 105-117.
- Koehler, H., y H. Born. 1989.** The influence of vegetation structure on the development of soil mesofauna. Agric. Ecosyst. Environ. 27: 253-269.
- Kounda-Kiki, C., A. Vaçulik, J. F. Ponge, y C. Sarthou. 2004.** Soil arthropods in a developmental succession on the Nouragues inselberg (French Guiana). Biol. Fertility Soils 40: 119-127.
- Laborda, R. 2012.** Comparación de la abundancia y biodiversidad de artrópodos auxiliares entre parcelas de cultivo ecológico y convencional, en plantaciones de cítricos, caqui y nectarina. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València. España.
- Lacasa, A, y J. M. Llorens. 1996.** Trips y su Control Biológico I. Pisa Ediciones, Alicante, Spain.
- Landis, D. A., S. D. Wratten, y G. M. Gurr. 2000.** Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. Annu. Rev. Entomol. 45: 175-201.
- Lewis, H. C. 1935.** Factors influencing citrus thrips damage. J. Econ. Entomol. 28: 1011-1015.
- Lewis, T. 1962.** The effects of temperature and relative humidity on mortality in *Limothrips cerealium* Haliday (Thysanoptera) overwintering in bark. Ann. Appl. Biol. 50: 313-326.
- Logan, J. A., D. J. Wollkind, S. C. Hoyt, y L. K. Tanigoshi. 1976.** An analytic model for description of temperature dependent rate phenomena in arthropods. Environ. Entomol. 5: 1133-1140.

- Longo, S. 1986.** Thrips on citrus groves. p. 209-216. *En:* R. Cavalloro. and E. Di Martino (Eds). CEC Proc. experts' meeting, Acireale, 26-29 marzo 1985. Integrated pest control in citrus groves. Balkema, Rotterdam, Boston.
- MacGill, E. I. 1931.** The Biology Of Thysanoptera With Reference To The Cotton Plant: VII. The Relation Between Temperature and Relation and the Life Cycle. *Ann. Appl. Biol.* 18: 574-583.
- Marullo, R. 2009.** Host-plant ranges and pest potential: habits of some thrips species in areas of southern Italy. *Bulletin of Insectology* 62: 253-255.
- Messelink, G., y R. van Holstein-Saj. 2008.** Improving thrips control by the soil-dwelling predatory mite *Macrocheles robustulus* (Berlese). *IOBC/WPRS Bull.* 32: 135-138.
- Moore, J. C., D. E. Walter, y H. W. Hunt. 1988.** Arthropod regulation of micro-and mesobiota in below-ground detrital food webs. *Annu. Rev. Entomol.* 33: 419-435.
- Morse, J. G., y M. S. Hoddle. 2006.** Invasion biology of thrips. *Annu. Rev. Entomol.* 51: 67-89.
- Morsello, S. C., Groves, R. L., Nault, B. A. y Kennedy, G. G. 2008.** Temperature and Precipitation Affect Seasonal Patterns of Dispersing. Tobacco Thrips, *Frankliniella fusca*, and Onion Thrips, *Thrips tabaci* (Thysanoptera: Thripidae) Caught on Sticky Traps *Environ. Entomol.* 37: 79-86.
- Mound, L. A, y D. J. Jackman. 1998.** Thrips in the economy and ecology of Australia, pp. 472-478. *En* Pest Management – Future Challenges, Proceedings of the Sixth Australian Applied Entomological Research Conference (eds MP Zalucki, RAI Drew & GG White), pp. 472–478. University of Queensland, St Lucia, Australia.
- Mound, L. A., y A. K. Walker. 1982.** Terebrantia (Insecta: Thysanoptera). *Fauna of New Zealand.* 1: 1-113.
- Murai, T., y T. Ishii. 1982.** Simple rearing method for flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) on pollens. *Jap. J. Appl. Entomol. Zool.* 26: 149-154.
- Navarro, C., T. Pastor, F. Ferragut, y F. Garcia. 2008.** Trips (Thysanoptera) asociados a parcelas de cítricos en la Comunidad Valenciana: abundancia, evolución estacional y distribución espacial. *Bol. San. Veg. Plagas* 34: 53-64.
- North, R. C., y A. M. Shelton. 1986.** Ecology of Thysanoptera within cabbage fields. *Environ. Entomol.* 15: 520-526.
- Olson, D. M., y F. L. Wäckers. 2007.** Management of field margins to maximize multiple ecological services. *J. Appl. Ecol.* 44: 13-21.
- Paoletti, M. G., y M. Bressan. 1996.** Soil invertebrates as bioindicators of human disturbance. *Crit. Rev. Plant Sci.* 15: 21-62.

- Perrotta, G., y F. Conti. 2008.** A threshold hypothesis for an integrated control of thrips infestation on citrus in South-Eastern Sicily. IOBC/WPRS Bull. 38: 204-209.
- Purvis, S. 2003.** Talking Thrips in citrus. Issue 3.
http://www.sardi.sa.gov.au/data/assets/pdf_file/0005/44924/talking_thrips_3.pdf. Acceso 18 julio 2012.
- Pfiffner, L., y H. Luka. 2000.** Overwintering of arthropods in soils of arable fields and adjacent semi-natural habitats. Agric. Ecosyst. Environ. 78: 215-222.
- Rhodes, A. A., y J. G. Morse. 1989.** *Scirtothrips citri* sampling and damage prediction on California navel oranges. Agric. Ecosyst. Environ. 26: 117-129.
- Rodriguez, J. G., P. Singh, y B. Taylor. 1970.** Manure mites and their role in fly control. J. Med. Entomol. 7: 335-341.
- Rosenheim, J. A., H. K. Kaya, L. E. Ehler, J. J. Marois, y B. A. Jaffee. 1995.** Intraguild predation among biological-control agents: theory and evidence. Biol. Control 5: 303-335.
- Schweizer, H., y J. G. Morse. 1997a.** Estimating the level of fruit scarring by citrus thrips from temperature conditions prior to the end of bloom. Crop Prot. 16: 743-752.
- Schweizer, H., y J. G. Morse. 1997b.** Factors influencing survival of citrus thrips (Thysanoptera: Thripidae) propupae and pupae on the ground. J. Econ. Entomol. 90: 435-443.
- Seastedt, T. R. 1984.** The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. Annu. Rev. Entomol. 29: 25-46.
- Shipp, J. L., y T. J. Gillespie. 1993.** Influence of temperature and water vapor pressure deficit on survival of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). Environ. Entomol. 22: 726-732.
- Teksam, I., y I. Tunç. 2009.** An analysis of Thysanoptera associated with citrus flowers in Antalya, Turkey: Composition, distribution, abundance and pest status of species. Appl. Entomol. Zool. 44: 455-464.
- Teulon, D. A. J., y D. R. Penman. 1991.** Effects of temperature and diet on oviposition rate and development time of the New Zealand flower thrips, *Thrips obscuratus*. Entomol. Exp. Appl. 60: 143-155.
- Thorbek, P., y T. Bilde. 2004.** Reduced numbers of generalist arthropod predators after crop management. J. Appl. Ecol. 41: 526-538.
- Tsitsilas, A., S. Stuckey, A. A. Hoffmann, A. R. Weeks, y L. J. Thomson. 2006.** Shelterbelts in agricultural landscapes suppress invertebrate pests. Australian journal of experimental agriculture. 46: 1379.

- Varikou, K., I. Tsitsipis, V. Alexandrakis, y M. Hoddle. 2009.** Effect of Temperature on the Development and Longevity of *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 102: 835-841.
- Varikou, K., I. Tsitsipis, y V. Alexandrakis. 2010.** Effect of Diet on Development and Reproduction of *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 103(1): 66-70.
- Vassiliou, V. A. 2007.** Chemical control of *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae) in citrus plantations in Cyprus. *Crop Prot.* 26: 1579-1584.
- Vassiliou, V. A. 2010.** Ecology and Behavior of *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae) on Citrus. *J. Econ. Entomol.* 103: 47-53.
- Walter, D. E., y D. T. Kaplan. 1991.** Observations on *Coleoscius simplex* (Acarina: Prostigmata), a predatory mite that colonizes greenhouse cultures of rootknot nematode (*Meloidogyne* spp.), and a review of feeding behavior in the Cunaxidae. *Experimental and Applied Acarology* 12: 47-59.
- Walter, D. E., y H. C. Proctor. 1999.** Mites: ecology, evolution and behaviour. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Webster, K. W., P. Cooper, y L. A. Mound. 2006.** Studies on Kelly's citrus thrips, *Pezothrips kellyanus* (Bagnall) (Thysanoptera : Thripidae): sex attractants, host associations and country of origin. *Aust. J. Entomol.* 45: 67-74.
- White, N. D. G., y R. N. Sinha. 1990.** Effect of chlorpyrifos-methyl on oat ecosystems in farm granaries. *J. Econ. Entomol.* 83: 1128-1134.
- Wiethoff, J., H. -M. Poehling, y R. Meyhofer. 2004.** Combining plant- and soil-dwelling predatory mites to optimise biological control of thrips. *Experimental Applied Acarology* 34:239-261.

CAPÍTULO 9

Conclusiones



9 Conclusiones

Especies de trips en el cultivo de los cítricos; clave para distinguir la nueva plaga, *Pezothrips kellyanus*, de otras especies de trips

- i. Se han identificado 19 especies de trips capturadas en cítricos. Entre ellas, la especie dominante ha dejado de ser *F. occidentalis*, pasando a ser *P. kellyanus*.
- ii. El 98% de larvas encontradas sobre los frutitos corresponde a *P. kellyanus*, simplificándose así el muestreo de frutos ocupados por larvas de trips ya que se podría dar por nula la presencia de otras especies.
- iii. Se ha realizado una clave taxonómica dicotómica para identificar los adultos de las especies de trips del orden Terebrantia que más comúnmente se pueden encontrar en cítricos de la Península Ibérica.

Evolución de las poblaciones de *Pezothrips kellyanus* y de los daños causados al fruto en parcelas de cítricos

- iv. El trips *P. kellyanus* ha ido ampliando su distribución en los cítricos del País Valenciano desde la comarca del Baix Segura donde se encontraba localizado en 2005 hasta ocupar casi todas las comarcas costeras en 2008. *Pezothrips kellyanus* en los últimos años ha pasado a ser el trips más abundante. Sin embargo los daños importantes únicamente se dan en algunas de las comarcas. Los esfuerzos para controlar al trips en esas comarcas deberán ser mayores.
- v. La evolución estacional de la abundancia de *P. kellyanus* en la copa de los cítricos va ligada a la fenología del árbol, incrementándose las poblaciones con el desarrollo de la floración y alcanzando su máximo al final de esta.
- vi. Un reducido pero significativo número de frutos maduros alberga larvas y adultos de *P. kellyanus* durante los meses del invierno. Se recomendaría no dejar los frutos en las parcelas de las comarcas conflictivas.

- vii. En las parcelas de cítricos es posible encontrar larvas y adultos de *P. kellyanus* durante prácticamente todo el año. Si bien, en naranjos, mandarinos o híbridos las capturas están concentradas desde abril a junio, en otros hospedantes que se encuentran dentro o cerca de las parcelas es frecuente capturarlos en el resto de meses del año.
- viii. Tres métodos de muestreo han demostrado ser eficaces para la predicción de los daños: la observación visual del número de frutitos con larvas, la observación visual del número de flores con larvas y el número de adultos de *P. kellyanus* en trampas de emergencia del suelo.

Pauta de agregación, plan de muestreo, y umbral de intervención para *Pezothrips kellyanus* en parcelas de cítricos

- ix. La pauta de agregación de *P. kellyanus* es mayor en el caso de las larvas que en el caso de los adultos. No se han encontrado diferencias en dicho patrón entre los trips en flores y frutitos y entre *P. kellyanus* y *F. occidentalis*.
- x. El porcentaje de frutos dañados en cada parcela está más correlacionado con la presencia de larvas de *P. kellyanus* en frutitos que con la presencia de adultos en flores o frutitos.
- xi. Se aconseja observar 200 frutos en muestreo enumerativo y 310 en muestreo binomial.
- xii. El umbral económico y el umbral económico ambiental de daños es de 7% y 12% de frutitos con larvas, respectivamente.

Factores que influyen el porcentaje de frutos dañados por *Pezothrips kellyanus*

- xiii. Las abundancias poblacionales de *P. kellyanus* y los daños causados han variado entre los tres años muestreados, estando relacionada esta variación con las temperaturas durante el invierno y principios de primavera.
- xiv. El daño se produjo en los tres años entre 300 y 500 grados días (umbral 10,2°C), coincidiendo con el máximo del segundo estadio larvario de *P. kellyanus*.

- xv. Se han encontrado varias especies de plantas además de los cítricos en las que pueden desarrollarse *P. kellyanus* en nuestras parcelas de cítricos o en las inmediaciones, siendo *Araujia sericifera* un nuevo hospedante para esta especie.

Acarofauna depredadora en el suelo en parcelas de cítricos, su potencial como enemigos naturales de *Pezothrips kellyanus*

- xvi. Se han encontrado 8 especies de trips en el suelo bajo las copas de los árboles de cítricos y 15 especies de ácaros depredadores.
- xvii. *P. kellyanus* y varios de los ácaros depredadores han sido más abundantes en los limoneros y jazmines ornamentales plantados dentro de las parcelas que en la plantación regular de cítricos.
- xviii. Hemos encontrado una correlación negativa muy alta y significativa entre la abundancia y daños por *P. kellyanus* con el número de *Gaeolaelaps aculeifer* y otra correlación muy alta y significativa pero positiva con *Parasitus americanus*.
- xix. La abundancia de ácaros depredadores del suelo no se vio afectada significativamente por el tratamiento con clorpirifos.
- xx. El número total de ácaros depredadores en el suelo fue significativamente mayor tras la adición de estiércol.

De las conclusiones expuestas, se pueden extraer las siguientes recomendaciones:

Con el fin de determinar si puede haber daños en una parcela de cítricos, es necesario saber diferenciar este trips del resto de especies de trips que se encuentran en el cultivo de los cítricos. Además, se aconseja la instalación de trampas blancas pegajosas a finales de invierno para poder detectar si está presente la plaga en la parcela. También se recomienda observar las primeras flores de los cítricos así como las flores de plantas que pueden estar en las parcelas o cercanas a ellas, como jazmín, pitósporo japonés, madreSelva, o araujia. Si se ha detectado la presencia de *P. kellyanus* se debe realizar un muestreo semanal desde la caída de pétalos hasta finales de junio, observando 310 frutos cogidos al azar de 10 o más árboles repartidos por la parcela. Si se supera el 12% de frutitos con larvas de trips es aconsejable realizar un tratamiento para reducir sus poblaciones. En los años con temperaturas

invernales suaves e inicios de primaveras con altas temperaturas es de esperar una alta incidencia de daños en las parcelas donde el trips esté presente. Por ahora únicamente contamos con la lucha química pero probablemente en el futuro se realizarán sueltas de ácaros depredadores como *Gaeolaelaps aculeifer*, quien ha mostrado potencial como controlador biológico. Se aconseja también aumentar la materia orgánica del suelo, si esta es deficitaria, porque provocará un incremento del número de ácaros depredadores.

