



2022
Lleida

27·1
junio · juny
julio · juliol

Cataluña
Catalunya

8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a
los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**



8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022

ISBN 978-84-941695-6-4

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Organiza



Control integral de la polilla del boj *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) (Lepidoptera:Crambidae) y últimos avances en el parasitismo

CLOSA SALINAS, A.¹, CANALS FONOLLAR, T.², BUÑOLA PEDROL, A.², NÚÑEZ VAZQUEZ, L.¹, SANTIAGO LOZANO, M.¹ y LEZA SALORD, M.³.

¹ Govern de les Illes Balears, Direcció General de Espacios Naturales y Biodiversidad, Servicio de Sanidad Forestal. .

² Ingeniero técnico forestal

³ Departamento de Biología. Universidad de las Islas Baleares.

Resumen

La polilla del boj *Cydalima perspectalis* fue detectada en las Islas Baleares en octubre de 2018, aunque posteriormente se reportaron citas anteriores, de primavera del mismo año.

C. perspectalis es un lepidóptero exótico muy agresivo. Sus orugas se alimentan de brotes y hojas del boj y pueden provocar la muerte al dañar también la corteza de tronco y ramas. En Baleares afecta a la práctica totalidad de las bojeadas de *Buxus balearica*, especie endémica del mediterráneo e incluida en el Catálogo Balear de Especies Amenazadas, ubicadas principalmente en el Paraje Natural de la Sierra de Tramuntana y en el Parque Nacional de Cabrera. Desde su detección se realiza el seguimiento de la especie y la instalación de trampas, lo que nos ha permitido determinar su abundancia así como su ciclo biológico. Se han observado episodios de depredación y se han identificado algunos depredadores naturales. Un posible método de control biológico descrito para *Cydalima* es la suelta de parásitos de huevos. Estos parasitoides no son específicos y se desconoce qué consecuencias pudiera tener en ámbito natural. El Servicio de Sanidad Forestal, juntamente con la Universidad de las Illes Balears, ha puesto en marcha un estudio para analizar su viabilidad en el monte.

Palabras clave

Lepidóptero, crámbido, *Cydalima perspectalis*, plaga, invasor, Islas Baleares, defoliación, exótico, rebrote, corteza, enemigo natural, parasitoide,

1. Introducción

Cydalima perspectalis (Walker, 1859) es un insecto lepidóptero de la familia Crambidae, conocido también como polilla del boj o del árbol de caja. Es una especie originaria del este de Asia, concretamente de China, Japón y Corea. Es exótica e invasora (no catalogada) que fue introducida de manera accidental en Alemania en 2007, y rápidamente se extendió por muchos países de Europa, hasta llegar al norte de España en 2013.

En Baleares se detectó por primera vez en octubre de 2018 en un jardín particular en Alaró, Mallorca, en varios ejemplares de boj. Durante los siguientes meses se llevó a cabo una inspección de los principales bojeadales ubicados en el ámbito natural de las Islas Baleares, que en su mayor parte se encuentran en el Paraje Natural de la Sierra de Tramuntana de Mallorca (Paisaje Cultural declarado por la Unesco) y en el Parque Nacional de la isla de Cabrera, en 2019. Estas prospecciones permitieron confirmar que *C. perspectalis* se encontraba extendida ya por la totalidad de los bojeadales naturales de estas dos islas, aunque en general, con una baja afectación de los bojes.

En Europa, la larva de *Cydalima perspectalis* defolia severamente al boj, principalmente *Buxus sempervirens* o boj común, un arbusto abundante en los bosques del centro de Europa y muy utilizado como planta ornamental.

En Baleares afecta también al boj común, usado principalmente en jardinería, pero donde resulta especialmente preocupante es su afección sobre las bojedas naturales de *Buxus balearica*. Se trata de una especie endémica del mediterráneo occidental, que en el pasado sufrió un importante retroceso de sus poblaciones en Mallorca debido a la actuación de los carboneros; ahora se encuentra en clara recesión y por ello está clasificado como de Especial Protección en el Catálogo Balear de Especies Amenazadas y de Especial Protección.

El ciclo biológico de *C. perspectalis* depende de la temperatura y de las horas de sol. Este insecto pasa por 4 fases bien diferenciadas. Como adulto, es una mariposa de hábitos mayoritariamente nocturnos, de vuelo rápido y con capacidad para desplazarse de hasta 4 km. Las mariposas ponen los huevos en pequeños grupos de los que eclosionarán pequeñas orugas que apenas alcanzan inicialmente los 2 mm. Tras pasar por varios estadios larvarios se oscurecen y adoptan su coloración final, llegando a medir más de 4 cm de longitud. Generan una seda que les sirve para desplazarse y con la que “cosen” las hojas entre sí, creando una maraña protectora donde pueden desarrollarse con tranquilidad. Una vez finalizado su desarrollo, las orugas se transforman en crisálidas. Entre 10 y 15 días más tarde emergen las mariposas adultas, listas para dispersarse y reproducirse. En invierno, cuando las orugas están en los primeros estadios larvarios, se produce una diapausa inducida por una duración del día inferior a 13,5 h de luz y pasan el invierno protegidas entre dos hojas de boj recubiertas por hilos de seda. Al llegar la primavera, con una duración del día superior a 13,5 h y una temperatura por encima de los 10,1 °C (Maruyama y Shinkaji, 1987), las orugas se activan y reprenen el ciclo.

Las larvas de este lepidóptero son las que generan los principales daños al alimentarse de las hojas del boj, *Buxus* spp., provocando importantes defoliaciones; sin embargo, el daño más significativo es el ataque a la corteza de tronco y ramas, provocando que se sequen y mueran. Daños repetitivos pueden agotar su capacidad de rebrotar y, finalmente, causar la muerte del ejemplar. Pueden tener varias generaciones al año, pudiendo variar entre una y cuatro (CABI, 2021) e incluye una diapausa obligada de 6 a 8 semanas, inducida por una duración del día de 13,5 h. aproximadamente (NACAMBO et al., 2014).

La rápida distribución de este insecto se debe al comercio de planta de boj infectada, ampliamente distribuida por Europa, siendo los boj es ornamentales situados en jardines privados y parques urbanos los que actúan como reservorios de la plaga. A los efectos económicos y culturales que su expansión provoca, quizás la amenaza más grave sea para las poblaciones naturales de boj. En este sentido, cabe destacar las grandes áreas que ya ha devastado en los bosques de Basilea, Suiza (CABI, 2021), entre otras.

2. Objetivos

Una vez detectada la especie afectando a la gran mayoría de las poblaciones de boj natural en Baleares, el objetivo principal que persigue la Consejería de Medio Ambiente, a través del servicio de Sanidad Forestal, es el de conocer cómo se comporta esta especie en Baleares, su fenología, ciclo biológico, generaciones anuales, así como su distribución, abundancia y expansión por el territorio. Este conocimiento resulta vital para planificar actuaciones de prevención, control y lucha contra el insecto.

Otros objetivos más específicos son:

- Testar 3 tipos de feromonas registradas específicamente para la captura de *Cydalima perspectalis* y estudiar su efectividad.
- Estudiar los depredadores naturales existentes en Baleares de *C. perspectalis*.
- Evaluar la posibilidad de utilizar parasitoides de *Trichogrammas* para el control biológico de *C. perspectalis* en ámbito natural.

3. Metodología

En este apartado vamos a exponer la metodología utilizada para la consecución de los objetivos marcados. Inicialmente vamos a exponer el estudio de eficacia de los distintos tipos de feromona, ya que sus datos servirán de base para el resto de los apartados.

3.1 Análisis de la eficacia de 3 feromonas para la captura de *C. perspectalis*

Del conjunto de sustancias atrayentes incluidas del registro de determinados medios de productos fitosanitarios del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, para el cumplimiento del Real Decreto 951/2014, de 14 de noviembre por el que se regula su comercialización, se han seleccionado 3 feromonas por su simplicidad de uso en el ámbito forestal. Se ha evaluado la eficacia en campo de estas 3 sustancias; que son las siguientes:

- a. *Capsula Pherocon (BTM) Cydalima*; con número de registro 053/2020, comercializada por Kenogard, s.l. y con 45 días de persistencia en campo.
- b. *Pherobank Cydalima perspectalis*; con número de registro 004/2019, comercializada por OpenNatur, s.l. 45 días de persistencia en campo.
- c. *Econex Cydalima perspectalis*; con número de registro 097/2017, comercializada por Econex s.l. 200 días de persistencia en campo.

En todos los casos se trata de feromonas de atracción sexual, específicas para la captura de los machos adultos (mariposas) de *Cydalima perspectalis*.

Se ha diseñado un sistema de trapeo basado en bloques completos aleatorios. Este sistema se ha ensayado en 2 localizaciones distintas, ambas con elevada presencia del insecto, concretamente en el Embalse de Cúber y en el torrente de Can Vela Gran, este último con una incidencia de plaga todavía superior. Se han realizado 10 repeticiones de cada bloque en Cúber y 7 en Can Vela Gran. Cada bloque estaba formado por 3 trampas, cada una cebada por un tipo distinto de feromona (*a*, *b* y *c*) y distanciadas entre ellas un mínimo de 50 m. La distancia mínima entre trampas de distintos bloques ha sido de 100 m, evitando de esta manera interferencias entre ellas. Las características topográficas y de vegetación del entorno de cada bloque han sido homogéneas para evitar que fuera un factor influyente.

En todos los casos, el modelo de trampa utilizado ha sido tipo funnel con la base transparente. Se han instalado el 9 de abril y se han revisado semanalmente, anotando las capturas observadas en cada trampa. Las feromonas se han substituido puntualmente, de acuerdo a lo establecido por cada fabricante (45 días para las feromonas *a* y *b*, y 200 días para la *c*).

3.2 Seguimiento de la especie: estudio de la fenología, ciclo biológico y curvas de vuelo. Número de generaciones al año.

De acuerdo a los datos publicados por el Instituto CABI en 2021, en Europa central *C. perspectalis* desarrollaría dos generaciones anuales con un promedio de 518 grados-día desde la

etapa de hibernación hasta la etapa adulta y 430 grados-día durante todo el desarrollo larval y pupal de la segunda generación; en el sur de Europa se habrían observado al menos 3 generaciones.

Desde 2019, en Baleares se ha realizado el seguimiento intensivo de 4 localizaciones de boj en el ámbito natural: Son Fortuny (Estellencs), Embalse de Cúber (Escorca), Comuna de Caimari (Caimari) y torrente de Can Vela Gran (Pollensa). En cada una de estas localizaciones se han escogido 5 pies y se han revisado semanalmente a partir del mes de marzo. En estos 5 boj se ha evaluado el nivel de daños por *Cydalima* que presentan las plantas (defoliaciones, y hojas cloróticas y secas), y el nivel de presencia del insecto en cualquiera de sus estadios, de acuerdo con una clasificación basada en el “Protocolo de Seguimiento de *Cydalima perspectalis* en Cataluña, 2019” elaborado por la Generalitat de Catalunya. (Tabla 1 y tabla 2)

Tabla 1. Clasificación de la afectación del boj por *C. perspectalis*, de acuerdo a los daños observados.

Nivel de daños	Daños observados
0	No se observan daños
1	Se observan algunas zonas defoliadas (<5 zonas/planta)
2	Zonas defoliadas con alguna zona clorótica y seca (>5 zonas/planta)
3	Partes de la planta con zonas defoliadas cloróticas, menos de la mitad de la planta defoliada.
4	Más de la mitad de la planta defoliada
5	Planta totalmente defoliada, muy pocos brotes verdes

Tabla 2. Clasificación de la afectación del boj por *C. perspectalis*, de acuerdo a la presencia observada del insecto, en cualquiera de sus fases.

Nivel de presencia	Observaciones	Individuos observados
0	No hay presencia	Ningún individuo observado
1	Muy poca presencia (muy baja)	< 5 individuos/planta
2	Poca presencia (baja)	De 5 a 10
3	Bastante presencia	De 11 a 15
4	Presencia alta	De 16 a 20
5	Presencia	>De 20 por planta

Se han recogido los datos meteorológicos más relevantes de las estaciones más cercanas a estas parcelas de seguimiento intensivo, concretamente: temperatura mínima, máxima y la media diaria (°C); humedad mínima, máxima y media diaria (%), y la precipitación diaria (mm.)

Para determinar la curva de vuelo del adulto del 2021 se han utilizado los datos de capturas para el análisis de efectividad de 3 modelos de feromona (ver apartado 3.1). Los datos de Cúber y de Can Vela Gran serán representativos de las localizaciones de menor y mayor afectación, respectivamente. También se han utilizado datos de trapeo de otros años de seguimiento y de localizaciones de baja afectación para hacer una comparación de las curvas de vuelo.

Durante el 2021 también se ha hecho un seguimiento de la plaga en otra localización de Mallorca con elevada afectación, concretamente al Torrent de Pareis, aunque en este caso con menor periodicidad debido a la dificultad de acceso.

3.3 Seguimiento de enemigos naturales y depredadores

El boj presenta en su composición alcaloides muy tóxicos que condicionan la predación por parte de otros organismos o posibles controladores naturales.

Para llevar a cabo el seguimiento y la identificación de enemigos naturales, se ha contado con la colaboración del Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (IMEDEA) y del CSIC, quienes elaboraron el “Protocolo para el estudio de depredadores de *Cydalima perspectalis* en Cabrera y Mallorca” (HERVIAS y TRAVESET, 2019).

El protocolo se ha realizado durante el periodo 2019-2021 y ha consistido en la observación semanal durante 10-15 minutos de 15 bojes en cada una de las 4 localizaciones de seguimiento intensivo (ver apartado 3.2). Se trata de detectar cualquier episodio de depredación de *C. perspectalis* y capturarlo o fotografiarlo para su posterior identificación.

Además, en cada boj se ha realizado un recuento semanal de orugas, crisálidas y huevos. Se han embolsado ramas de 2 bojes con mallas de exclusión de depredadores, contabilizando también los insectos de *C. perspectalis* presentes. El objetivo era determinar el efecto de la depredación, comparando las zonas libres de depredadores de las que carecían de mallas de exclusión.

3.4 Estudio sobre la viabilidad del parasitismo como método de control biológico

El control biológico se basa en el uso de un organismo para reducir o prevenir el impacto no deseado de otro organismo; la mayoría son depredadores, parasitoides o patógenos.

Las primeras experiencias de control biológico de *Cydalima* fueron en el año 2010, utilizando los parasitoides comerciales de las larvas de *Bracon brevicornis* y *Bracon hebetor* (Braconidae). Estos ensayos se realizaron en laboratorio y en condiciones de semi-campo, pero los parasitoides no lograron completar su desarrollo en este nuevo huésped (ZIMMERMANN & WÜHER, 2005).

En general, los parasitoides detectados en Europa que se alimentan de *C. perspectalis* son especies polífagas y la depredación por parte de las aves es baja, seguramente debido a los niveles de alcaloides tóxicos secuestrados por las larvas (CABI, 2021).

Actualmente, uno de los parásitos más citados son los del género *Trichogramma*. En Catalunya (La Garrotxa, Girona) han estudiado la capacidad que tienen estos crámbidos de parasitar las puestas en campo. Para ello, realizaron 2 liberaciones separadas quince días, instalando difusores de *Trichogrammas* cada 5 m lineales; estos parásitos lograron parasitar el 61,7% de las puestas observadas (LAS HERAS et al, 2019).

Para evitar riesgos indeseados e irreversibles sobre poblaciones no objetivo, especialmente en un lugar de alta fragilidad y singularidad en lo que respecta a las dinámicas ecológicas, como es el caso de los ecosistemas insulares, el Servicio de Sanidad Forestal encargó un estudio a la Universidad de las Islas Baleares. El objetivo era determinar los parasitoides de *Cydalima* presentes en las Baleares, evaluar la viabilidad del uso en campo de los parasitoides comerciales y evaluar su eficacia.

Determinación de los parasitoides naturales presentes en las Islas Baleares

Para conseguir este objetivo, se realizaron muestreos en campo recogiendo muestras de huevos, orugas y crisálidas detectadas, se instalaron placas cromáticas para el trapeo de la especie y se identificaron taxonómicamente las muestras recogidas.

Se realizaron 16 muestreos en 5 zonas de la Sierra de Tramuntana, en Mallorca, realizando una inspección visual de los bojes de estas zonas y recogiendo todos los insectos de *C. perspectalis*

encontrados. Fueron recogidos un total de 2 huevos, 337 larvas y 9 crisálidas. Éstos se mantuvieron en condiciones ambientales y dentro de un bote de emergencia para poder estudiar posteriormente los parasitoides emergidos de estas muestras.

Para el muestreo de parasitoides en fase adulta se seleccionaron 5 puntos de la Sierra con presencia de poblaciones naturales de boj y se instalaron 3 trampas cromáticas, que se renovaron cada dos semanas, siendo un total de 165 trampas. Una vez utilizadas, se sumergían en trementina para disolver la sustancia adhesiva y se filtraba el contenido con una malla. Se conservaron en etanol para su posterior identificación taxonómica.

Evaluar la viabilidad del uso en campo de parasitoides comerciales

Este apartado se basó en la identificación taxonómica de las especies de *Trichogramma* presentes en dos productos comerciales de parasitoides para el control de *C. perspectalis*, así como la posterior búsqueda bibliográfica de las especies identificadas y su viabilidad de uso en campo.

Se analizaron 2 productos comerciales, en concreto Tricholine Buxus (Bioline AgroScience) y TrichoKarte (AMW Nutzlinge). En el caso de *T. buxus*, la empresa no ofrece información sobre el tipo de *Trichogramma* comercializada, mientras que en Trichokarte disponen de 100 socas de 20 especies de *Trichogramma* diferentes. Para este último caso, se solicitó *T. evanescens*, ya que se trataba de una especie ya citada en Baleares (ALEMANY y MIRANDA, 2008). Los ejemplares obtenidos de las dos casas comerciales se pusieron en un evolucionario para la obtención de los adultos; una vez emergieron, se conservaron en etanol al 70% para su posterior identificación.

Evaluar la eficacia de los parasitoides comerciales

Para evaluar la eficacia de los parasitoides comerciales se necesitaban huevos de *Cydalima* donde realizar los ensayos. Debido a la dificultad de obtener en campo puestas, se decidió criar, en condiciones ambientales controladas, toda una generación de *C. perspectalis*. Para ello, se capturaron insectos adultos en campo, se les crió y se les alimento hasta la obtención de una cantidad adecuada de huevos.

Para la liberación controlada de ejemplares de *Trichogramma* spp. comerciales, se infectaron artificialmente 6 boj con los huevos de la generación criada en laboratorio. Se utilizaron 505 huevos que se distribuyeron de la siguiente manera: a cada boj se distribuyeron en tres alturas (parte baja, media y alta) 15 hojas con huevos, 5 en cada altura. Estas hojas se fijaron al boj utilizando agujas entomológicas. A 3 de los bojes se les realizó la liberación controlada de *Trichogramma* spp., con una dosis de 10.000 individuos por boj. Los otros 3 bojes se mantuvieron como de control. Todos ellos estaban dispuestos en tiendas que no permitían la entrada ni salida de individuos.

Se analizó y confirmó que en cada altura y tratamiento se disponía del mismo número de huevos de *Cydalima* para parasitar. Para ello se realizó un test de Shapiro y uno de Barlett, y posteriormente un T-test y test de Wilcoxon, no presentando diferencias estadísticamente significativas entre el número de huevos disponibles para cada tratamiento y la altura ($p\text{-value} > 0.05$).

4. Resultados

4.1 Análisis de la eficacia de 3 feromonas para la captura de *C. perspectalis*

El periodo de revisión de las trampas ha sido del 16 de abril al 5 de noviembre de 2021. La primera captura se produjo el 2 de mayo en Can Vela Gran, mientras que en Cúber no tuvo lugar

hasta el 10 de junio. Las últimas mariposas se recogieron en las revisiones del 23 de octubre y del 8 de octubre, respectivamente.

En Can Vela Gran se han capturado un total de 1887 mariposas durante todo el periodo de vuelo, 16 mariposas (0,85%) con la feromona *a*, 1463 (77,53%) con la feromona *b*, y 408 (21,62%) con la *c*. En Cúber, con una menor incidencia de la plaga, se han obtenido 148 capturas en total: ninguna con la feromona *a*, 133 (90%) con la *b*. y 15 (10%) con la *c*.

El nombre total de capturas en Can Vela Gran ha sido 12,5 veces superior al de Cúber, debido a la mayor incidencia de la plaga en esta localización.

Respecto a las diferencias de capturas entre distintas feromonas, los resultados se resumen en la siguiente tabla (tabla 3).

Tabla 3. Porcentaje de capturas respecto del total, por modelo de feromona y localización estudiada.

Localización	% capturas feromona <i>a</i>	% capturas feromona <i>b</i>	% capturas feromona <i>c</i>
Cúber	0	89,86	10,14
Can Vela Gran	0,85	77,53	21,62
Mediana	0,42	83,70	15,88

La feromona *b* resulta ser la más efectiva, habiendo capturado el 83,7% de todas las mariposas capturadas en cada una de las 2 localizaciones estudiadas.

En análisis estadístico de los datos de este estudio han demostrado que, según el test de normalidad de Shapiro y el Test de Barlett, los datos de las capturas no han seguido una distribución normal ni han presentado homogeneidad de varianzas, respectivamente. Es así como, tras la aplicación del test no paramétrico de Kuskal-Wallis y el test de Bonferri, se ha confirmado que sí existen diferencias estadísticamente significativas entre los 3 modelos de feromonas analizados.

4.2 Seguimiento de la especie: estudio de la fenología, ciclo biológico y curvas de vuelo. Número de generaciones al año.

De las 5 localizaciones analizadas, únicamente la de Can Vela Gran ha presentado niveles elevados de daños, que han sido visibles desde mediados de marzo a finales de octubre. La mayoría de los ejemplares de boj han alcanzado un nivel 5, siendo habitual observar daños sobre la corteza. Aun así, parte de ellos han rebrotado durante el mes de agosto. Cabe destacar que durante la primera quincena del mes de junio se ha observado una disminución considerable del nivel de daños. De forma general, se estima que un 15% de los pies ya han muerto tras sucesivas defoliaciones completas.

Las localizaciones de Son Fortuny, Cúber y Caimari presentan baja afectación desde 2019, oscilando entre niveles de 0 a 2. Estos daños son visibles desde marzo hasta finales de abril/principios de mayo y, posteriormente, durante el mes de octubre. En general, entre mayo y setiembre no se aprecian nuevos daños.

En la localización del Torrent de Pareis se observan daños de nivel 4 y 5. También se observan daños sobre la corteza y la muerte de muchos ejemplares.

Respecto a la presencia del insecto en las localizaciones analizadas, cabe destacar que en la primera revisión del 12 de marzo ya se observaron orugas de distintos estadios larvarios, aunque

Si comparamos las curvas de vuelo de los tres últimos años (figura 2), se observa una diferencia muy significativa, al invertirse el pico máximo de capturas, produciéndose en junio este 2021, y en setiembre en 2019 y 2020. Además, este 2021 se han identificado hasta 3 picos, limitándose a 2 los años anteriores, lo que responde a la inclusión de los datos de Can Vela este mismo año.

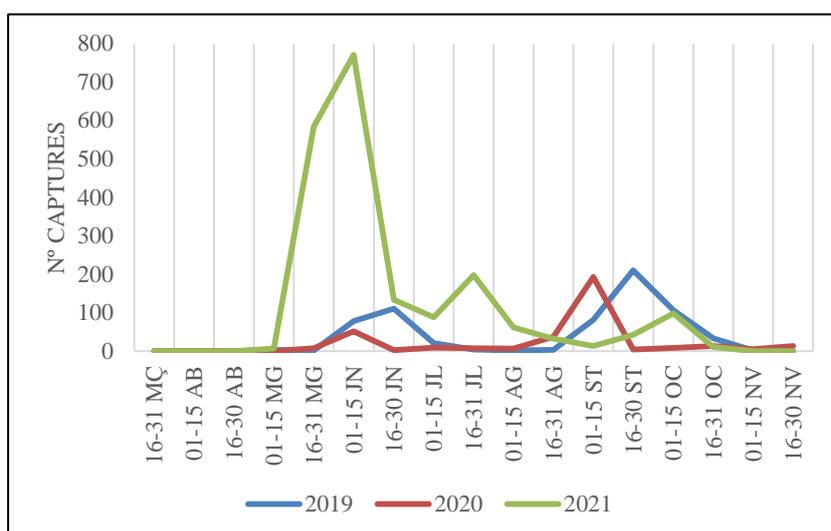


Figura 2: Comparativa de las curvas de vuelo general de Mallorca durante los años 2019 (Bunyola, Caimari, Son Fortuny, Son Moragues i Jardín Botánico de Sóller), 2020 (Son Fortuny, Son Moragues, Cúber, Caimari y Albercutx) i 2021 (Cúber i Can Vela Gran).

En las siguientes figuras se representan gráficamente las fases del insecto observadas en Can Vela Gran (Figura 3) y en Cúber (Figura 4):

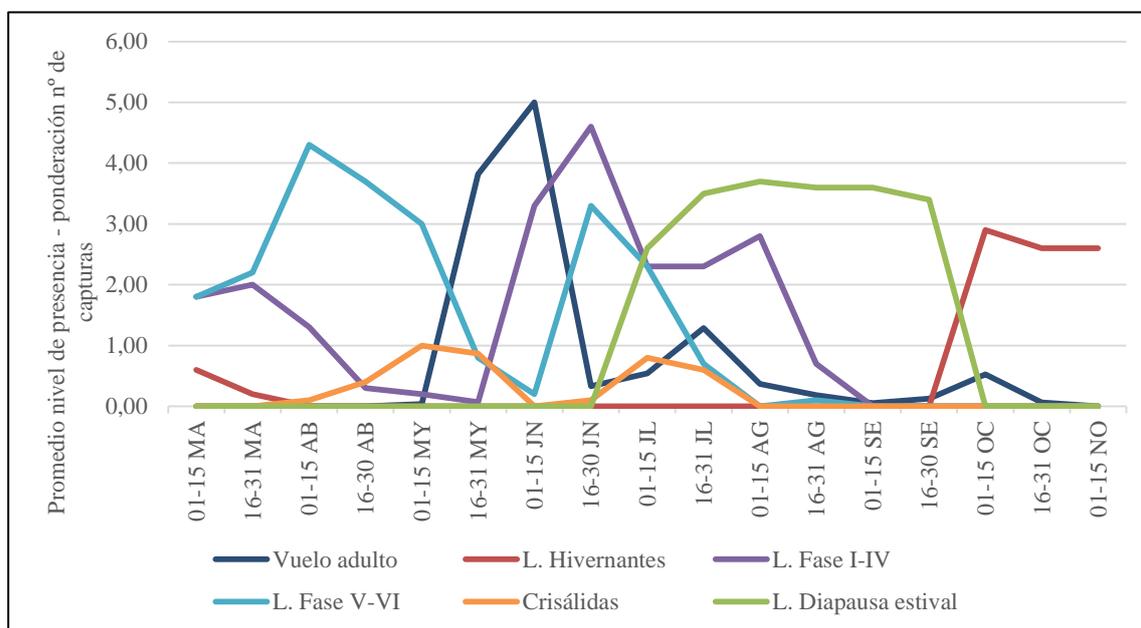


Figura 3: Ciclo biológico de *Cydalima perspectalis* en Can Vela Gran, año 2021.

Como se puede observar en la figura anterior, en la localización de Can Vela, la de mayor afectación y la situada a menor altitud (90 m.s.n.m.), se han identificado hasta 3 generaciones de larvas. Parte de las larvas de la segunda y tercera generación han pasado por un estado de diapausa estival. Aunque no se haya observado en los bojes de seguimiento debido a su posible entrada directa en hibernación, es posible que el tercer pico de adultos haya dado lugar a una cuarta generación de larvas.

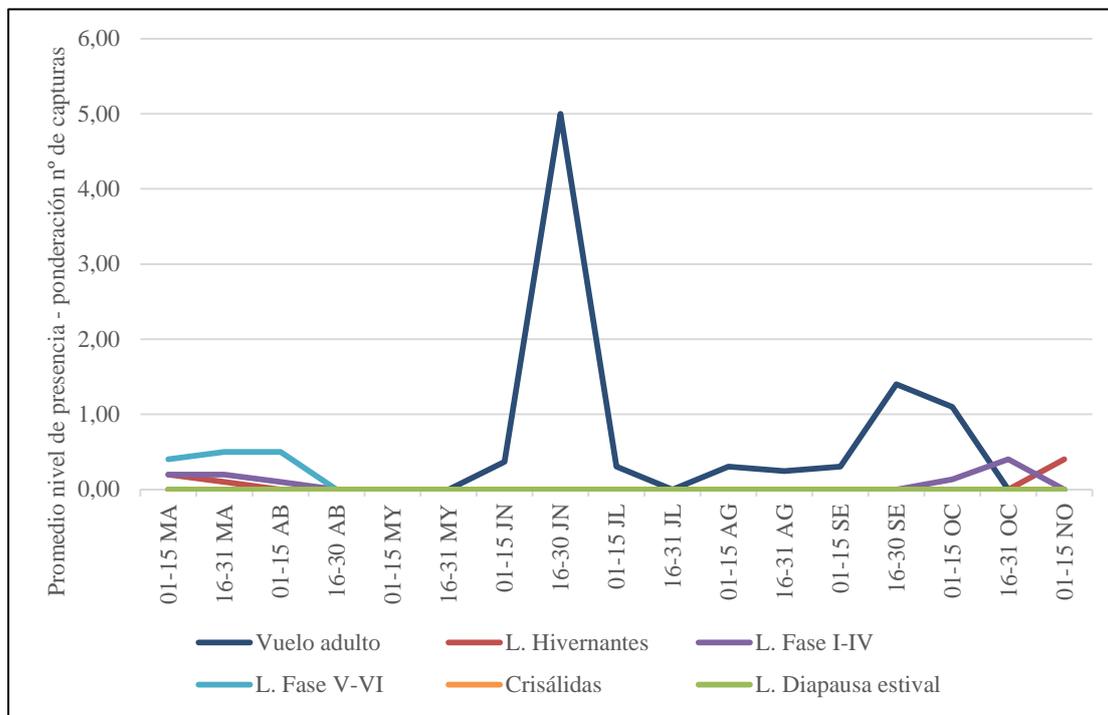


Figura 4: Ciclo biológico de *Cydalima perspectalis* en Cúber, año 2021.

En la localización de Cúber, la de menor afectación y la situada a mayor altitud (725 m.s.n.m.), se han identificado 2 generaciones de larvas (figura 4). Aunque no se haya observado en los bojes de seguimiento, se intuye que existe otra pequeña generación (la segunda) durante julio y agosto, la que da lugar al segundo pico de adultos de finales de septiembre. Una larva encontrada en Son Fortuny en julio podría explicar este hecho.

4.3 Seguimiento de enemigos naturales y depredadores

Durante las revisiones realizadas en el periodo 2019-2021, se ha observado el avión roquero (*Ptyonoprogne rupestris*) alimentándose de mariposas de *Cydalima* en Escorca, Mallorca, en junio de 2019 (J. LILLO, pers.observ); así como el papamoscas (*Muscicapa striata*) capturando también en vuelo a mariposas de *Cydalima*, en mayo de 2021 (T. CANALS, pers. observ.). Otra ave, el carbonero común (*Parus major*), aunque no se ha observado depredando directamente a *C. perspectalis*, sí que resulta habitual encontrarlo en los bojes infectados,

También hay que mencionar la observación de otro episodio de depredación, concretamente la lagartija balear (*Podarcys lilfordi*) en Cabrera depredando orugas de *C. perspectalis* (J. MALMIERCA, pers. observ.). Es común observar a la salamandrina común (*Tarentola mauritanica*) dentro de las trampas de captura de *C. perspectalis*.

Dentro de los refugios de hibernación y en sus inmediaciones es habitual observar arañas. Hemos podido identificar, en Cabrera, *Anelosimus pulchellus*, *Synaema globosum* y *Titanoeca quadriguttata*. Las dos primeras especies son muy comunes, mientras que *T. quadriguttata* es de distribución paleártica y no había sido reportada en Cabrera hasta la fecha. En Mallorca, *Phyllodronica asdpersa*, un endemismo balear, y *Capraiellus panzeri*, también podrían tratarse de depredadores de *C. perspectalis* al detectarse en refugios de hibernación.

Los resultados obtenidos en las ramas protegidas con mallas de exclusión y comparándolas con las ramas no protegidas de los mismos bojes no han reportado resultados significativos, básicamente debido a los desplazamientos de las orugas durante su desarrollo y, especialmente, a la hora de crisalidar.

4.4 Estudio sobre la viabilidad del parasitismo como método de control biológico

Determinación de los parasitoides naturales presentes en las Islas Baleares

Se recogieron un total de 348 muestras (2 huevos, 337 larvas y 9 crisálidas) y únicamente emergió un parasitoide, un díptero emergido de una crisálida recogida el 3 de agosto. Se trató de una hembra de *Compsilura coccinata*, un díptero Tachinido parasitoide de una gran variedad de huéspedes de lepidóptero, incluido *Cydalima perspectalis*. Esto supone que solo el 0,29% de todas las muestras recogidas fueron parasitadas.

Respecto al estudio de los parasitoides en estado adulto recogidos en las trampas cromáticas, se clasificaron un total de 2.267 parasitoides de lepidópteros. Se han identificado como himenópteros de las familias Bethyridae, Braconidae (subfamilias Cheloninae, Microgastrinae y Ogilinae), Ceraphronidae, Chalcididae, Encyrtidae, Eurytomidae, Ichneumonidae (subfamilias Ctenopelmatinae, Metopiinae, Phygadeuontinae), Perilimpidae, Scelionidae y Torymidae, y dípteros de la familia Tachinidae.

En referencia al análisis cuantitativo, durante la primavera se identificaron 501 parasitoides, donde los grupos taxonómicos predominantes en abundancia fueron los himenópteros de la familia Scelionidae, dípteros de la familia Tachinidae e himenópteros de la familia Metopiinae. En verano se identificaron 1469 parasitoides, predominando, como grupo taxonómico, los himenópteros de la familia Encyrtidae, junto con los Scelionidae y los Tachinidos. En otoño, se identificaron 297 parasitoides, con una reducción de la biodiversidad de parasitoides en algunas de las zonas muestreadas. Las familias Scelionidae, Encyrtidae y Tachinidae se mantuvieron como grupos taxonómicos predominantes, al igual que en verano.

En base a la ecología descrita y a los porcentajes de abundancia se observa que los principales enemigos naturales detectados han sido los hiperparasitoides (Scelionidae) y parasitoides primarios de huevos (Encyrtidae) y larvas de lepidópteros (Encyrtidae, Metopiinae y tachinidae). Los parasitoides de crisálidas han sido menos abundantes en las zonas muestreadas.

Cualitativamente, tanto el índice de biodiversidad Shannon como el de Simpson, muestran en primavera diferencias significativas en la biodiversidad de parasitoides entre las distintas zonas muestreadas, cosa que no ocurre en verano y otoño. Esto significa que en primavera hay una mayor diversidad de parasitoides en unas zonas respecto a otras, potenciales parasitoides para puestas de *C. perspectalis*, pero predominan en abundancia unos grupos taxonómicos frente a otros.

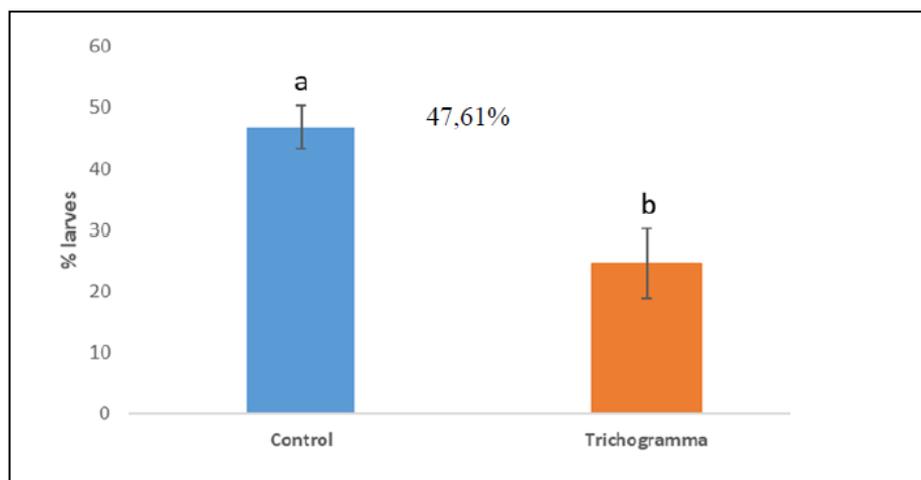


Figura 5: Efecto de la introducción de parasitoides comerciales del género *Trichogramma* respecto el porcentaje de larvas desarrolladas de la mariposa del boj. (letras distintas reflejan diferencias estadísticamente significativas (p -value < 0.05). (Leza y Herrera, 2021).

5. Discusión

Las localizaciones de alta incidencia de la plaga ya presentan numerosos bojes muertos tras sucesivas defoliaciones anuales y daños sobre corteza, lo que también ha sido observado en otros países (STRATEN & MUUS 2021; MITCHELL *et al.* 2018). Además, tal y como ya observaron ARTOLA *et al.* 2018, los daños sobre corteza incrementan al disminuir la disponibilidad de hojas y con la presencia de larvas en sus estadios más avanzados.

Estas localizaciones de mayor incidencia de la plaga y en las que se han identificado de 3 a 4 generaciones anuales, se sitúan por debajo de los 100 m.s.n.m.; mientras que las de menor incidencia y en las que se han identificado de 2 a 3 generaciones anuales, se sitúan por encima de los 500 m.s.n.m. Es así como se podría asociar la variación altitudinal de las condiciones meteorológicas al número de generaciones anuales y, así, a la mayor incidencia de la plaga en estas localizaciones. Parece indicar, por tanto, que mayores altitudes y por tanto condiciones climáticas menos severas, permitirían un mayor desarrollo larvario de la especie.

Se ha detectado que, en cualquiera de las localizaciones, algunas de las larvas se mantienen en su refugio de hibernación hasta la segunda quincena de marzo. Aún así, el primer pico de adultos se adelanta unos 20 días en las zonas monitorizadas de menor altitud respecto a las de mayor altitud. Este adelanto se debe a la posibilidad de acumular más grados-día en menos tiempo, lo que permite acelerar el desarrollo de cada fase de su ciclo biológico y, así, les posibilita mayor número de generaciones anuales. Es así como las fechas de aparición del primer pico en la zona de mayor afectación se ajustan a aquellos países que presentan de 4 a 5 generaciones de adultos, como sería a la China (WANG 2008) y Galicia (PÉREZ-OTERO *et al.* 2018); mientras que las de la zona de menor afectación se ajustan a aquellos países que solamente presentan de 2 a 3 generaciones de adultos, como sería a Italia (SANTI *et al.* 2015), Japón (MARUYAMA & SHINKAJI 1987), Corea (PARK 2008), Suiza (NACAMBO *et al.* 2014), Alemania (GÖTTIG & HERZ 2017) y Cataluña (ARTOLA *et al.* 2018).

Aunque NACAMBO *et al.* (2014) sitúen la inducción de la diapausa con una duración del día inferior a 13,5 h, en el presente estudio se ha situado por debajo de las 12 h. Es así como, debido a la persistencia de altas temperaturas a finales de septiembre y principios de octubre en la zona de

Can Vela Gran, se intuye que ha sido la reducción del fotoperíodo el causante del empalme de la diapausa estival con la hibernal.

El hecho de recoger datos semanales, al haber empezado el seguimiento cuando parte de las larvas ya habían salido de hibernación, la existencia de diapausa estival, el solape de generaciones y el empalme de la diapausa estival con hibernal no ha permitido determinar los grados-día acumulados por cada una de las fases de desarrollo de cada generación.

El bajo nivel de parasitismo encontrado en el estudio de la UIB, podría deberse a que las larvas de *C. perspectalis* acumulan gran cantidad de alcaloides diabásicos en su cuerpo, que provienen de los boj de los que se alimentan y esto podría comprometer el desarrollo de los parasitoides; también puede que los huevos de *Cydalima* pueden producir mecanismos de defensa que impidan el desarrollo exitoso de los parasitoides (LEZA y HERRERA, 2021).

6. Conclusiones

Existen diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes modelos de feromonas ensayados, siendo la feromona *b* la más eficaz al haber capturado el 83,7% respecto del total.

La mayor afección se ha detectado en las bojadas ubicadas en torrentes de cotas bajas. En estas zonas se intuye que la plaga puede llegar a tener hasta 4 generaciones al año. Esto puede ir ligado a que, en dichas zonas, se acumulan más rápidamente los grados-día necesarios para pasar a la siguiente fase de desarrollo.

Los valores de referencia de los lindares de temperatura para cada una de las fases del ciclo biológico en la Serra de Tramuntana son: 11,36 °C para los huevos, 9,6 °C para las larvas i 11,82 °C para las crisálidas.

Durante el 2021, la salida de la hibernación se ha producido a mediados de marzo en todas las localizaciones, coincidiendo con un fotoperíodo de unas 12 horas y unos rangos medios de temperaturas mínimas y máximas por quincena de 8-9 °C y 12-15 °C, respectivamente. Además, la salida de la hibernación se ha producido cuando la media de la humedad mínima quincenal ha sido inferior al 50-55%.

En Can Vela Gran se ha podido confirmar que gran parte de las larvas realizan un período de diapausa estival, refugiándose entre dos hojas unidas por seda. Esta diapausa únicamente la realizan larvas de los primeros estadios larvarios. Del resto de los estadios larvarios se han encontrado en muchas ocasiones individuos secos y muertos por no poder resistir las condiciones climáticas. Durante este período estival se han seguido capturando individuos adultos, lo que nos indica que en algunas zonas la plaga se sigue desarrollando.

El período de diapausa estival se ve condicionado por las condiciones climáticas, abarcando desde principios de julio hasta mediados de septiembre, aproximadamente. Durante el seguimiento de Can Vela Gran del 2021, el inicio de la diapausa estival se ha producido con una temperatura mínima y máxima quincenal de 21 °C y 29 °C, respectivamente, y una humedad mínima quincenal inferior al 35%. Aunque no se haya identificado, se intuye que en el resto de las localizaciones, parte de las larvas también experimentan un período de diapausa estival al no haber observado actividad larval solamente durante este período en los mismos bojes monitorizados desde el 2019.

Durante el 2021, la entrada de la plaga en hibernación se ha producido cuando el fotoperíodo ha bajado de las 12 horas; con una temperatura mínima y máxima quincenal de 9-16 °C y 12-21 °C, respectivamente; y con una humedad mínima quincenal por encima del 50-60%.

El empalme de la diapausa estival con la hiberna se asocia a la persistencia de las altas temperaturas hasta principios de octubre, momento en el que el fotoperíodo ya se sitúa por debajo de las 12 h.

Se han observado algunas aves en Mallorca y Cabrera, así como la lagartija balear *Podarcys lilfordi*, depredando directamente sobre mariposas y orugas de *C. perspectalis*, respectivamente. Sin embargo, ni en estas observaciones ni en la bibliografía consultada se ha podido establecer si las aves usan a *C. perspectalis* como fuente de alimento, ya que las larvas recogidas por las aves a menudo son sacrificadas y dejadas de lado o regurgitadas, por lo que no parece que puedan controlar la población invasora en Europa (CABI, 2021)

Respecto a los parasitoides muestreados en campo, se ha obtenido una tasa muy baja de parasitación, del 0,29%. Únicamente se ha encontrado un parásito, *Compsilura coccinata*, un díptero Tachinido muy generalista.

De las trichogrammas comercializadas se han obtenido *T. brassicae* y *T. evanescens*. *T. brassicae* no ha sido descrito en Baleares y *T. evanescens*, sí, siendo poco específico. En ambos casos, se deberá estudiar específicamente mediante pruebas en semi-campo que efectos podría tener sobre fauna no diana ya que, especialmente en el caso de *T. brassicae*, la introducción y el establecimiento de enemigos naturales exóticos se trata de un proceso irreversible, y hay que minimizar al máximo los efectos no deseados sobre otras poblaciones.

7. Bibliografía

ALEMANY, A; MIRANDA, M.A; 2008. Enemigos naturales de la procesionaria del pino: importancia de los parasitoides. Jornada técnica sobre la procesionaria del pino en Menorca.

ARTOLA, J; BASSOLS, E; LAS HERAS, S & ARIMANY, M; 2018. Cicle biològic, fenologia de l'adult i expansió geogràfica de la papallona del boix *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) (Lepidoptera: Crambidae) a la Garrotxa. Butlletí De La Societat Catalana De Lepidopterologia, 109, 65–85.

BRUA, C; 2013. La pyrale du buis, *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859), espèce exotique envahissante, caractéristiques de sa dynamique d'expansion en France et en Europe, des dégats occasionnés sur les buis (*Buxus* spp.) et des stratégies de lutte. Toulouse, France.

CABI; 2021. *Cydalima perspectalis*. En: Compendio de especies invasoras. Wallingford, Reino Unido: CABI International. www.cabi.org/isc.

GÖTTIG, S. & HERZ, A; 2017. Observations on the seasonal flight activity of the box tree pyralid *Cydalima perspectalis* (Lepidoptera: Crambidae) in the Rhine-Main Region of Hesse. *Journal für Kulturpflanzen*, 69(5): 157–165.

HERVIAS –PAREJO, S; TRAVESET, A; 2019. Protocolo para el estudio de los depredadores de *C. perspectalis* en Cabrera y Mallorca. Documento interno, publicado en la página web <http://sanidadforestal.caib.es>.

LAS HERAS, S; ARIMANY, M; ARTOLA, J; BASSOLS, E; 2019. Desarrollo de métodos para una gestión integrada de la polilla del boj (*Cydalima perspectalis*) (Lepidoptera:Crambidae) en parques, jardines y espacios verdes. *Phytoma* núm. 38.

LEZA, M; HERRERA, C; 2021. Estudio preliminar de los enemigos naturales de *Cydalima perspectalis* en las Islas Baleares. Documento interno, publicado en la página web <http://sanidadforestal.caib.es>.

MARUYAMA, T & SHINKAJI, N; 1987. Studies on the life cycle of the box-tree pyralid, *Glyphodes perspectalis* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae). I. Seasonal adult emergence and developmental velocity. *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology*, 31(3):226-232.

MITCHELL, R; CHITANAVA, S; DBAR, R; KRAMARETS, V; LEHTIJÄRVI, A; MATCHUTADZE, I; MAMADASHVILI, G; MATSIKH, I; NACAMBO, S; PAPAZOVA-ANAKIEVA, I; SATHYAPALA, S; TUNIYEV, B; VÉTEK, G; ZUKHBAIA, M & KENIS, M; 2018. Identifying the ecological and societal consequences of a decline in *Buxus* forests in Europe and the Caucasus. *Biological Invasions*, 20(12): 3605-3620.

NACAMBO, S; LEUTHARDT, F. L. G; WAN, H; LI, H; HAYE, T; BAUR, B; WEISS, R. M. & KENIS, M; 2014. Development characteristics of the box-tree moth *Cydalima perspectalis* and its potential distribution in Europe. *Journal of Applied Entomology*, 138: 14-26.

PARK, I-K; 2008. Ecological characteristic of *Glyphodes perspectalis*. *Korean Journal of Applied Entomology*, 47: 299-301.

PÉREZ-OTERO, R; RODRÍGUEZ-ACEVEDO, A & MANSILLA, J. P; 2018. *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859), Bolboreta do buxo. Estación Fitopatológica do Areiro. Deputación de Pontevedra. Ficha técnica, 67: 1-4.

SANTI, F; RADEGHERI, P; INGA, G & MAINI, S; 2015. Sex pheromone traps for detection of the invasive box tree moth in Italy. *Bulletin of Insectology*, 68(1): 158-160.

STRATEN, M.J;VAN DER & MUUS, T. S. T;2010. The box tree pyralid, *Glyphodes perspectalis* (Lepidoptera: Crambridae), an invasive alien moth ruining box trees. *Proceedings of the Netherlands Entomological Society*, 21: 107-111.

ZIMMERMAN, O; WÜHRER, B; 2010. Initial investigations on the ability of the indigenous larval parasitoid *Bracon brevicornis* to control de Box Tree Pyralid *D. perspectalis* in Germany. *DgaaE Nachrichten* 24, 25-26.

WANG, Y; 2008. The biological character and control of a new pest (*Diaphania perspectalis*) on *Murrayapaniculata*. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 35(4): 161-164.