



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



## Manejo integrado de la culebrilla del corcho *Coraebus undatus* (Coleoptera: Buprestidae) en Cataluña: una década de hallazgos

**LÓPEZ, S.<sup>1</sup>, ÁLVAREZ, J.M.<sup>1</sup>, RIBA, J.M.<sup>2</sup>, TORRELL, A.<sup>3</sup>, FÜRSTENAU, B.<sup>4</sup>, BELUŠIČ, G.<sup>5</sup>, COCA, M.<sup>6</sup>, GUERRERO, A.<sup>1</sup> y QUERO, C.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Química Biológica, Instituto de Química Avanzada de Cataluña (CSIC), Barcelona.

<sup>2</sup> Asesor fitopatólogo de Forestal Catalana.

<sup>3</sup> Forestal Catalana, Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural, Barcelona.

<sup>4</sup> Julius Kühn Institute, Federal Research Centre for Cultivated Plants, Institute for Ecological Chemistry, Plant Analysis and Stored Product Protection, Germany.

<sup>5</sup> Department of Biology, Biotechnical Faculty, University of Ljubljana, Slovenia.

<sup>6</sup> Departamento de Sanidad Vegetal, CITA - Instituto Agroalimentario de Aragón (Universidad de Zaragoza).

### Resumen

La culebrilla del corcho *Coraebus undatus* (Fabricius) (Coleoptera: Buprestidae) es una plaga del alcornoque con gran repercusión para la industria del corcho en la Península Ibérica. Con el fin de encontrar un método para el control integrado de la especie, desde hace más de una década se mantiene una estrecha colaboración entre Forestal Catalana y el Instituto de Química Avanzada de Cataluña (CSIC) que ha permitido el avance en el conocimiento de esta importante plaga forestal a distintos niveles. En primer lugar, el uso continuado de un sistema de trampas de emergencia ha permitido trazar la fenología del insecto y la proporción de individuos de cada sexo, concluyéndose también que posee un ciclo biológico bienal. Asimismo, el estudio de la visión y ecología química han resultado ser primordiales para entender diversos aspectos clave que median en la interacción insecto-árbol. Por un lado, mediante distintas técnicas electrofisiológicas se ha podido determinar que el insecto tiene una visión compleja, siendo capaz de percibir distintas longitudes de onda del espectro visible (azul, verde y rojo), e incluso el ultravioleta. A su vez, se ha podido comprobar que bajo condiciones de laboratorio ambos性 se sienten atraídos hacia la capa generatriz del árbol, lo cual es indicativo de la presencia de compuestos volátiles con potencial atractivo. Finalmente, en términos aplicados el uso de trampas prisma adhesivas y de color morado ha demostrado ser una herramienta eficaz para la captura de hembras fecundadas. Todos estos hallazgos suponen una contribución notable de cara al desarrollo de un sistema de control integrado conjugando diversos aspectos de la visión y la olfacción del insecto.

### Palabras clave

*Coraebus undatus*, plaga forestal, *Quercus suber*, curvas de vuelo, ecología química, trampas prisma moradas.

### 1. Introducción

La culebrilla del corcho *Coraebus undatus* (Fabricius) (Coleoptera: Buprestidae) es una de las principales plagas del género *Quercus* en los países mediterráneos (Portugal, España, Francia, Italia), Europa central y occidental (Bélgica, Alemania, Austria, Croacia, Grecia, Turquía) y África del Norte (Marruecos y Argelia) (DU MERLE & ATTIE 1992, ROMANYK & CADAHÍA 1992, PAUSAS ET AL. 2009). En Portugal, Francia y España el insecto ataca principalmente al alcornoque *Quercus suber* L., mientras que en Alemania y Francia los árboles huéspedes son *Q. petraea* Matt. y *Q. robur* L., y en el norte de África los principales árboles susceptibles de ser atacados son *Q. ilex* L., *Q. mirbeekii* Durieu (*Q. faginea* Lam.) y *Q. suber* (DU MERLE & ATTIE 1992, BERNAL & CARDILLO 2004). Otras

especies de árboles que han sido reportadas como huéspedes son *Fagus sylvatica* L., *Castanea sativa* L., *Corylus avellana* L. y *Diospyros kaki* L. (JIMÉNEZ ET AL. 2012).

Entre las especies de *Quercus* mencionadas la que genera un mayor interés por la acción de *C. undatus* es *Q. suber*, debido a los daños ocasionados y sus implicaciones económicas sobre el sector forestal e industrial del corcho, especialmente el dedicado a la producción de tapones (FÜRSTENAU 2011). Los daños originados por la larva afectan la calidad y la producción del corcho, y las pérdidas económicas asociadas ponen en peligro la viabilidad comercial de su aprovechamiento (PEREIRA 2007, GALLARDO ET AL. 2012). La importancia económica de la plaga ha suscitado un elevado interés en su control y en la protección de los alcornocales frente a nuevas infestaciones. Es por ello que desde hace más de diez años se han dedicado esfuerzos, recursos y estudios para el conocimiento de distintos aspectos biológicos del insecto, entre ellos su biología, fenología y ecología química (RIBA 2009, RIBA & ROJO 2009, FÜRSTENAU ET AL. 2015, LÓPEZ ET AL. 2021), con el fin de desarrollar métodos de control sostenibles para la gestión de las poblaciones de *C. undatus*.

### 1.1. Descripción y biología de *C. undatus*

*Coraebus undatus* es un coleóptero de la familia Buprestidae que presenta una distribución típica de la zona mediterránea occidental, coincidiendo con la que presenta el árbol huésped en el que se desarrolla el ciclo biológico de la larva. En concreto, el insecto se encuentra en Europa central y meridional, así como en el norte de África.

El insecto adulto tiene el cuerpo alargado (10-16 mm), con silueta elíptica y de color verde grisáceo con reflejos metálicos bronceados (Figura 1A). En la mitad posterior de los élitros el insecto posee tres bandas finas transversas y sinuosas en zig-zag de color más claro. Tanto los machos como las hembras presentan antenas de tipo serrado constituidas por nueve segmentos o flagelómeros (Figura 1B) (FÜRSTENAU 2011). No existe un dimorfismo sexual marcado, con lo que la determinación del sexo de los adultos radica en la morfología de los esternitos 8 y 9 (KUBAN ET AL. 2000), o en la observación del aparato genital. Después del apareamiento la hembra hace la puesta, que está formada por huevos aislados, a veces en grupos muy reducidos, y pegados en el fondo de las pequeñas grietas del corcho. Los huevos son de forma esférica-oblonga de 1,2-1,7 mm y de colores claros. Tras la eclosión surge la larva, la cual es ápoda, alargada, de cuerpo blando y aplastado dorso-ventralmente y con todos los segmentos muy bien marcados (Figura 1C); el protórax es el segmento más ancho y el abdomen consta de diez segmentos (el décimo forma el llamado “fórceps anal”). Es de color blanco amarillento y puede alcanzar los 50-55 mm de longitud en su máximo desarrollo y 4-5 mm de anchura torácica (RIBA 2009). La larva traspasa las diferentes capas de corcho hasta llegar a nivel de la capa generatriz subero-felodérmica, donde se establece (SUÑER & ABÓS 1994). Enseguida empieza a hacer una galería, muy fina al principio (1-2 mm), pero que se va ensanchando a medida que crece la larva (hasta los 5-6 mm) (Figura 1D). Las galerías no siempre se mantienen al mismo nivel de la capa generatriz; a veces se adentran en la albura (dentro de la madera y en el xilema más exterior) y otras veces en el ritidoma (dentro de la capa interna del corcho), unos 3-4 mm como máximo (EVANS ET AL. 2007). Estas desviaciones de la galería parecen estar asociadas a variaciones en la circulación de la savia, que al ser muy intensa pueden causar la muerte de la larva. Con el tiempo y con su desarrollo la larva va llenando la galería con excrementos bien comprimidos y que deposita tras su paso. De esta forma las galerías se van oscureciendo y dejando un dibujo con zig-zags sinuosos que pueden llegar hasta los 180 cm de longitud (Figura 1D) (SUÑER & ABÓS 1994).

A lo largo de su desarrollo, la culebrilla presenta cinco estadios larvarios (SORIA & OCETE 1989). La duración total de la fase larva es de dos años, y así, durante la época de extracción de las panas de corcho, se observan dos tipos de larvas, las del año actual y las del anterior, bien diferenciadas por su medida y por el desarrollo de las respectivas galerías (RIBA & ROJO 2004). El ciclo biológico de dos años fue descrito en los primeros estudios que se realizaron en Cataluña (CODINA 1926), y posteriormente en otras localizaciones (MONTOYA 1988, DU MERLE & ATTÍE 1992, SORIA ET AL. 1992); sin embargo, otros autores han indicado que *C. undatus* presentaría un ciclo anual o que parte de la población podría completar el ciclo en un año (MARTÍN 1964, ROMANYK & CADAHÍA 1992, HASTIR & GASPAR 2002), mientras que otros sugieren que necesitaría tres años para completar el ciclo (WACHTENDORF 1955, JIMÉNEZ ET AL. 2012).

En la primavera del segundo año la larva ya madura llega a su máximo desarrollo y se adentra en el corcho, haciendo una galería y preparando la cámara de pupación, hasta encontrarse a poca distancia del exterior de la corteza. En esta cámara, la larva se pliega por la mitad de su cuerpo y empieza a convertirse en pupa, de colores claros (Figura 1E). Transcurridos 15-30 días, se convierte en un individuo adulto, el cual perfora la corteza y emerge al exterior, dejando un orificio ovalado de 4-5 mm en forma de “D” muy característico (Figura 1F).

La longevidad de los adultos de *C. undatus* en el medio natural es desconocida. Sin embargo, a lo largo de los últimos años se ha realizado el seguimiento de la supervivencia de individuos recién emergidos bajo condiciones de laboratorio ( $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $55 \pm 5\%$  humedad relativa y un fotoperiodo de luz:oscuridad de 16:8 h). Se ha podido comprobar que insectos mantenidos individualmente en contenedores de plástico transparentes (720 mL, 114 mm de altura) y con hojas frescas de alcornoque como sustento alimenticio (LÓPEZ ET AL. 2021) son capaces de sobrevivir una media de 13 días (máximo 44 días) en el caso de los machos y 19 días en el de las hembras (máximo 50 días). Estos datos de supervivencia, principalmente en el caso de las hembras, son similares a los reportados para el escarabajo joya del fresno *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae), especie invasora con gran poder devastador sobre las especies nativas de fresno en Estados Unidos y Canadá, en condiciones de laboratorio (WANG ET AL. 2010).

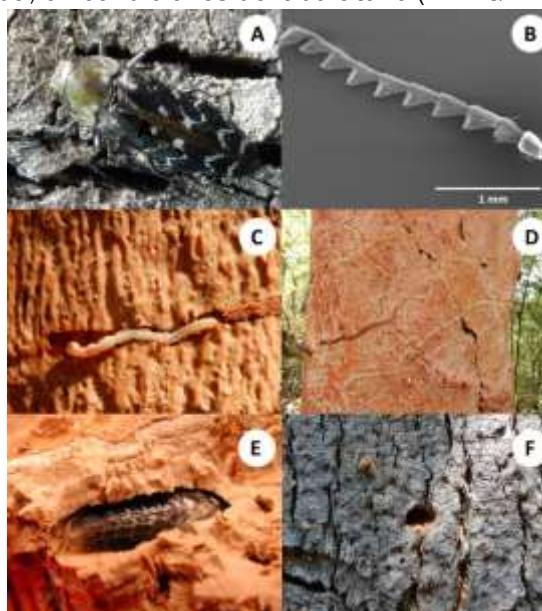


Figura 1. (A) Adulto de *C. undatus*; (B) Fotografía de antena tomada con un microscopio electrónico de barrido; (C) Larva; (D) Galerías larvarias; (E) Pupa en interior de su cámara de pupación; (F) Orificio de emergencia del nuevo adulto en forma de “D”.

## 1.2. Relación de daños producidos en *Q. suber*

La presencia de ataques de culebrilla está correlacionada con la orografía y clima de la zona y el estado fitosanitario de la masa forestal, destacando la densidad arbórea, la presencia de cobertura arbustiva, la edad y estado de vigor del alcornoque, la orientación y el estrés asociado a fenómenos de sequía (SORIA ET AL. 1992, EVANS ET AL. 2007, CÁRDENAS ET AL. 2021). En este sentido y como ejemplo, RIBA & ROJO (2009), tras el estudio de 2.574 alcornoques en Cataluña, mostraron que los árboles que vegetan en condiciones desfavorables (en suelos tipo "magros") presentan un perímetro de tronco y una altura de descorche significativamente menores que los árboles que se encuentran en suelos óptimos (tipo "húmedos"). Además, el nivel de ataque (galerías/m<sup>2</sup>) fue mayor (2,8-10,4x) en los alcornoques de las parcelas "magras" que en las parcelas "húmedas".

Hay que reseñar que los ataques de culebrilla, por sí solos, no llegan a causar la muerte del árbol. Hasta la fecha, la detección de *C. undatus* se ha basado en estudios visuales buscando la presencia de síntomas/señales resultantes de los ataques de larvas/adultos, la presencia o ausencia de hormigas y la extracción de calas de corcho para la ubicación o presencia de las galerías larvarias (GALLARDO ET AL. 2012). Las galerías que forman la larva a lo largo de los dos años de su desarrollo quedan impresas a nivel de la capa madre y en la reciente capa de corcho formada (Figura 2A). Durante los siguientes años, la capa generatriz vuelve a producir nuevas capas de corcho que en las zonas dañadas es hipertrófico y que, en su crecimiento, se va incorporando a la galería rellena de excrementos (SORIA ET AL. 1992) (Figura 2B). Cada año se producen nuevos ataques de *C. undatus* en los alcornoques debido a las distintas poblaciones del insecto que existen en la zona, y como el descorche de las panas se hace periódicamente cada 9-14 años (según área geográfica), la presencia de galerías de la culebrilla y daños asociados se pueden encontrar en cualquier punto de la pana de corcho.

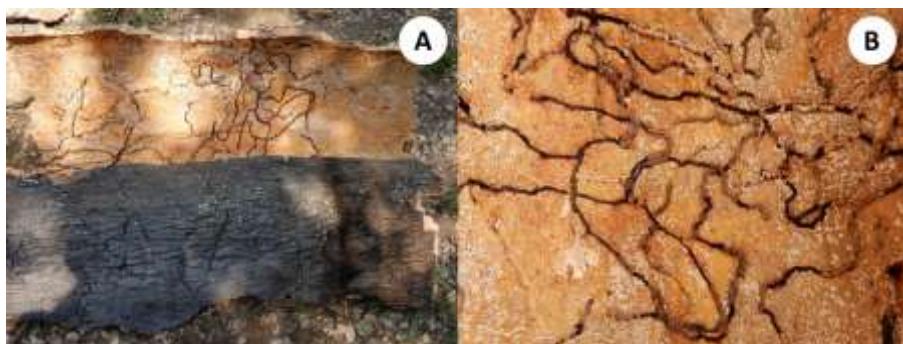


Figura 2. (A) Daños severos en corcho por el desarrollo de larvas en su interior; (B) Detalle de las galerías larvarias llenas de heces.

Las galerías causan frecuentemente adherencia entre el corcho y la capa madre. Ello dificulta su extracción, devalúa la pana (por la mala calidad del corcho) y causa heridas por el arranque de la capa madre, dejando el xilema (fuste) totalmente expuesto al exterior e imposibilitando la producción de nuevo corcho futuro. En las zonas donde el xilema ha quedado expuesto es frecuente encontrar ataques de *Platypus cylindrus* Fabricius (Coleoptera: Curculionidae) (RIBA 2010). En otras ocasiones, las heridas sobre la capa madre son parciales y el corcho resultante será de mala calidad. Además, estas zonas dañadas, bien por el arranque de la capa madre o por las galerías de la culebrilla, generan deformaciones en el tronco de los árboles, siendo más graves en árboles jóvenes.

### 1.3. Implicaciones económicas sobre el sector del corcho

Debido a sus excelentes propiedades aislantes, el corcho encuentra aplicación en una variedad de industrias, especialmente en la del vino, donde se estima que se fabrican unos 13.000 millones de tapones al año en todo el mundo (MENDES & GRAÇA 2009). España produce unas 65.000 Tm/año de corcho, el 32% de la producción mundial, mientras que Portugal produce el 50%. Sin embargo, los daños asociados a la culebrilla conllevan importantes pérdidas económicas como consecuencia de la disminución en calidad y cantidad del corcho cosechado (PEREIRA 2007, GALLARDO ET AL. 2012). En Cataluña, la explotación del alcornocal, que abarca entre 2.500 y 4.000 ha/año, se ha estimado una pérdida media de 4,3 millones €/año. Además, la producción de corcho de buena calidad decreció del 60% al 30% de su producción total durante las últimas décadas y esta disminución se ha asociado a la infestación por *C. undatus* (FÜRSTENAU 2011). En Andalucía y Extremadura se ha estimado que el 15% de la producción se destina a refugo como consecuencia de la acción de *C. undatus*, lo que supone una pérdida de 2,8 y 5 millones €/año, respectivamente (SÁNCHEZ 2013). En lo que respecta a otros países productores de corcho, los datos hasta la fecha revelan que la incidencia del insecto en Portugal ha ido incrementándose desde el año 2002 hasta alcanzar unos porcentajes de daños en la producción en torno al 26-43%, con unas pérdidas estimadas de 9 millones €/año (UNDERCORK 2019). Del mismo modo, los ataques de la culebrilla en Francia suponen una reducción del 25-30% en el número de panas de corcho aprovechables para la industria del tapón (IML-INSTITUT MÉDITERRANÉEN DU LIÈGE 2000).

## 2. Dinámica poblacional

### 2.1. Emergencia de los adultos de la nueva generación

Durante los años 2016-2021 se ha llevado a cabo un estudio exhaustivo con el fin de determinar las fechas de aparición de los adultos de cada nueva generación. Para ello, se ha realizado la instalación de trampas de emergencia en árboles con síntomas externos de infestación, consistentes en secciones de malla mosquitera alrededor del tronco, de manera que ésta queda fijada por dos bandas de espuma en su parte inferior y superior (Figura 3A-B). Así, los nuevos individuos que emergen del tronco quedan atrapados en el espacio de cabeza resultante entre la malla y el tronco, con lo que a partir de revisiones diarias de cada trampa se obtienen nuevos individuos con fecha de emergencia conocida. Merece la pena reseñar que, si bien la instalación de este tipo de trampas se lleva realizando en Cataluña desde hace más de una década, es desde el año 2016 cuando se ha comenzado a recabar datos de manera más pormenorizada sobre las fechas de emergencia, proporción entre sexos, etc. (Tabla 1).



Figura 3. (A-B) Trampas de emergencia instaladas en troncos de *Q. suber* con síntomas de infestación por *C. undatus*.

En este periodo de seis años se han tenido operativas un total de 4.999 trampas en diferentes alcornocales de Cataluña, las cuales han sido revisadas periódicamente cada 1-3 días según la frecuencia de emergencias observadas. De acuerdo a los datos recopilados durante este periodo, las primeras emergencias en el tronco suelen darse durante la primera quincena de junio, con excepción de los años 2019 y 2020, donde acontecieron de manera ligeramente más tardía (18 y 20 de junio respectivamente) (Tabla 1). Este montante de trampas ha permitido la obtención de 1.771 adultos, lo que supone una productividad media de 0,35 *C. undatus*/trampa. En términos de proporción entre sexos, la relación ♀♂:♂♂ ha sido superior a 1 en todos los años, oscilando entre 1,1:1 y 1,4:1, con la excepción de 2017, donde hubo una preponderancia marcada hacia las hembras, con una proporción de 2:1 (Tabla 1).

Otro punto a destacar es que no todos los árboles con síntomas de infestación visibles han permitido obtener ejemplares adultos. Entre el año 2018 y 2020, de un total de 2.487 trampas de emergencia instaladas, 999 (40%) de los árboles inspeccionados albergaban algún *C. undatus*, y de este total el mayor porcentaje de trampas contenían uno (77%) o dos ejemplares (21%). En el extremo opuesto se encuentran aquellos árboles de los que se obtuvieron un número elevado de adultos, con únicamente un árbol del que emergieron siete u ocho adultos. Teniendo en cuenta que las trampas estaban operativas durante dos años consecutivos (ya que el ciclo biológico es bienal), las capturas máximas en algunas trampas han sido de 8-14 adultos/árbol. Este hecho queda contrastado con los datos obtenidos en una finca de Saleres (Arbúcies), donde se mantuvieron operativas 80 trampas de emergencia durante un tercer año y no se capturaron adultos. Por lo tanto, podemos concluir que el ciclo biológico del insecto, al menos bajo estas condiciones climáticas y silvícolas, es de dos años.

Tabla 1. Datos de abundancia de *C. undatus* obtenidos desde 2016 a 2021 a partir de trampas de emergencia en tronco, y fechas de captura de adultos en vuelo con trampas prisma moradas (n.d., dato no disponible).

	2016	2017	2018	2019	2020	2021
<b>Nº trampas de emergencia</b>	720	1.109	889	974	624	683
<b>Total capturas</b>	88	360	409	451	373	90
<b>Nº capturas/trampa</b>	0,12	0,32	0,46	0,46	0,60	0,13
<b>Sex ratio ♀♂:♂♂</b>	1,3:1	2:1	1,2:1	1,3:1	1,1:1	1,4:1
<b>Emergencia en trampas</b>	Primera 13/06	08/06	11/06	18/06	22/06	14/06
	Última n.d.	29/06	10/07	08/07	13/07	29/06
<b>Capturas en trampas prisma</b>	Primera n.d.	23/06	29/06	26/06	13/07	05/07
	Última n.d.	30/08	21/08	16/08	11/08	09/08

## 2.2. Dinámica de poblaciones y fenología del vuelo de los adultos

A lo largo de la última década una de las premisas fundamentales en el estudio de la culebrilla del corcho ha sido el desarrollo de una trampa optimizada para capturar el mayor número de adultos en vuelo, de manera que se garantice un monitoreo adecuado de sus poblaciones en Cataluña. Las primeras experiencias de campo con el uso de trampas de atracción empezaron en el 2003. Desde entonces hasta el año 2010 se ensayaron hasta diez tipos diferentes de trampas, en formas y colores diversos. Posteriormente, en el año 2008 se pudo comprobar que el uso de paneles adhesivos de color morado resultaba más atractivo para *C. undatus* que paneles transparentes. Finalmente, en 2010-2011 se

demostró que el modelo de trampa prisma de color morado, similar al diseñado para la captura de *A. planipennis* (FRANCESE ET AL. 2008), era el más efectivo para la captura de adultos en vuelo en relación a otros diseños empleados (p.ej. de embudos múltiples o en forma de panel) del mismo color (FÜRSTENAU ET AL. 2015) (Figura 4A-C). La trampa prisma morada, fabricada a partir de cartón de polipropileno corrugado, se coloca en el sotobosque a 1,5-2 m sobre el nivel del suelo, y a cada cara externa del prisma se le aplica una película de pegamento, de manera que los insectos quedan adheridos a ella (Figura 4D).

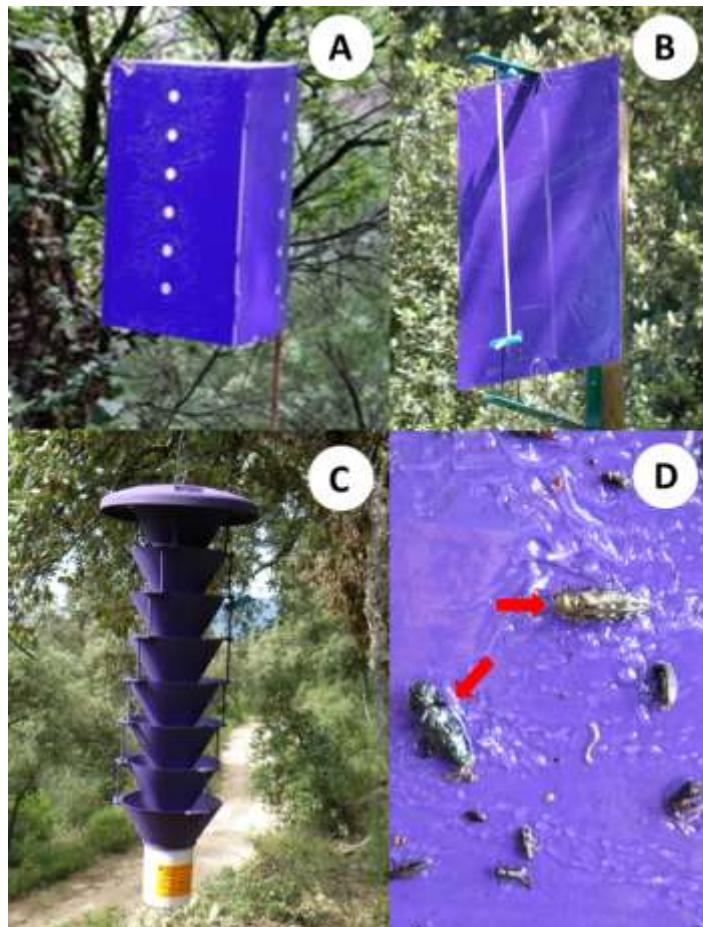
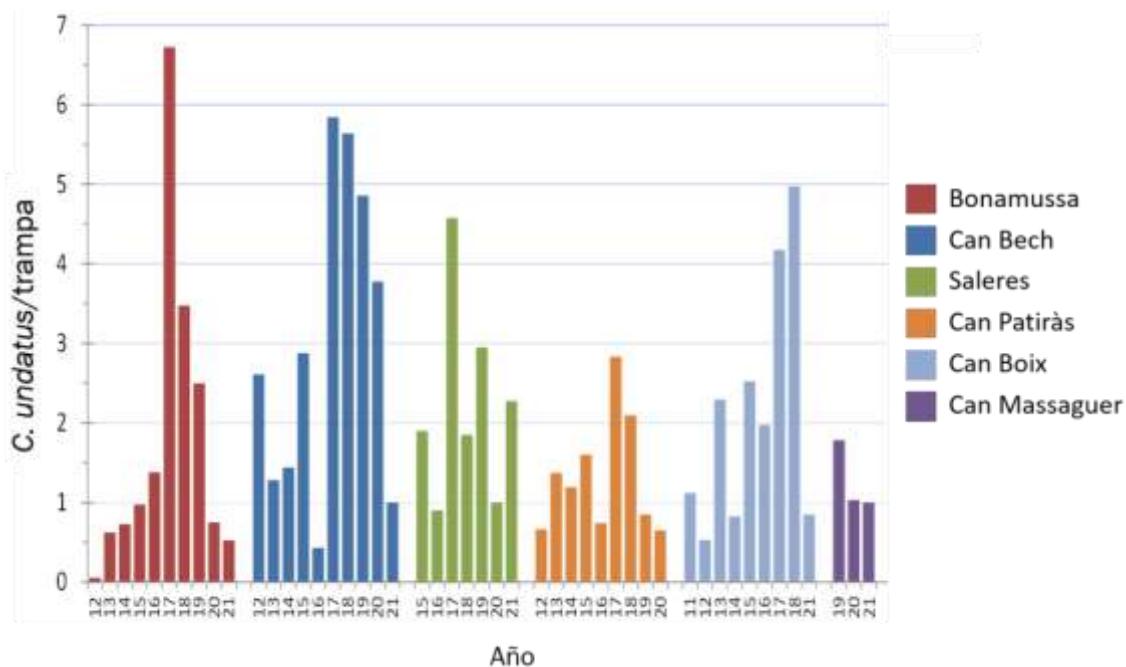


Figura 4. Tipos de trampas (A-C): (A) Modelo prisma; (B) Panel; (C) Modelo Lindgren o de embudos múltiples. (D) Detalle de la superficie adhesiva de la trama prisma, con dos adultos de *C. undatus* resaltados (flecha roja).

Hasta el 2021, se han colocado un total de 5.923 trampas prisma moradas instaladas en diferentes parcelas de las cuatro regiones de alcornocales de Cataluña (Montnegre-Corredor, les Gavarres, el Montseny-Guilleries y el Alt Empordà) con las que se ha capturado un total de 12.362 adultos de *C. undatus*. El uso de este tipo de trampas se ha complementado en ocasiones con la adición a la trampa de distintas formulaciones experimentales que contenían compuestos volátiles potencialmente atrayentes para el insecto, tal y como se detallará más adelante (ver 4.2. Ecología química de *C. undatus*). De acuerdo a todos los datos que se disponen sobre capturas de adultos, el vuelo en Cataluña empezaría durante la primera quincena de junio y se podría alargar hasta la segunda quincena de agosto, o incluso hasta principios de septiembre de forma muy puntual y esporádica. De toda esta serie de capturas recopilados desde 2003 hasta la fecha, destacan los dos máximos de capturas obtenidos en 2010 y 2017, con valores promedio de 4,75 y 5,06 adultos/trampa respectivamente.

Se ha realizado el seguimiento anual de distintas poblaciones de *C. undatus* que ha permitido conocer la dinámica poblacional de la especie, así como la evolución del nivel de plaga a lo largo de estos años. En la Figura 5 puede observarse un incremento progresivo de las capturas desde el 2012, alcanzando su máximo en el 2017. Desde entonces, las capturas han disminuido gradualmente en todas las zonas muestreadas, lo que indicaría un descenso significativo del nivel poblacional de *C. undatus*, al menos en lo que se refiere a Cataluña.

Los datos obtenidos a partir de trampas de emergencia en tronco y de adultos en vuelo capturados en trampas prisma indican que existe un intervalo de aproximadamente 14-24 días (según años y zonas estudiadas) entre el momento en el que se producen las primeras capturas en cada tipo de trampa. Un ejemplo de esta diferencia de capturas acumuladas para ambos tipos de trampas (emergencia y prisma) se representa en la Figura 6 (datos obtenidos en Saleres, Arbúcies de junio a agosto de 2018), donde se observa que el 97% de las emergencias de los adultos del tronco se alcanzaron antes del 4 de julio, mientras que el 97-99% del total de capturas de los adultos con capacidad de vuelo no se alcanzó hasta el 7-9 de agosto. Estas diferencias temporales sugieren que los adultos, una vez han emergido del tronco donde ha tenido lugar el ciclo biológico, no muestran atracción por las trampas prisma para la captura de insectos en vuelo. Una de las hipótesis formuladas es que *C. undatus* puede tener un comportamiento similar al observado para algunos insectos perforadores de los pinos (Coleoptera: Curculionidae), como *Tomicus destruens* (Wollaston) y *T. piniperda* (L.). En estas especies los adultos recién emergidos del árbol necesitan unos días de alimentación previos a alcanzar la madurez sexual, con lo que en este periodo de tiempo no se sienten atraídos hacia los compuestos volátiles del árbol que median la atracción del insecto para el inicio de un nuevo ataque sobre el árbol huésped donde realizar la puesta de huevos (ROMANYK & CADAHÍA 1992).



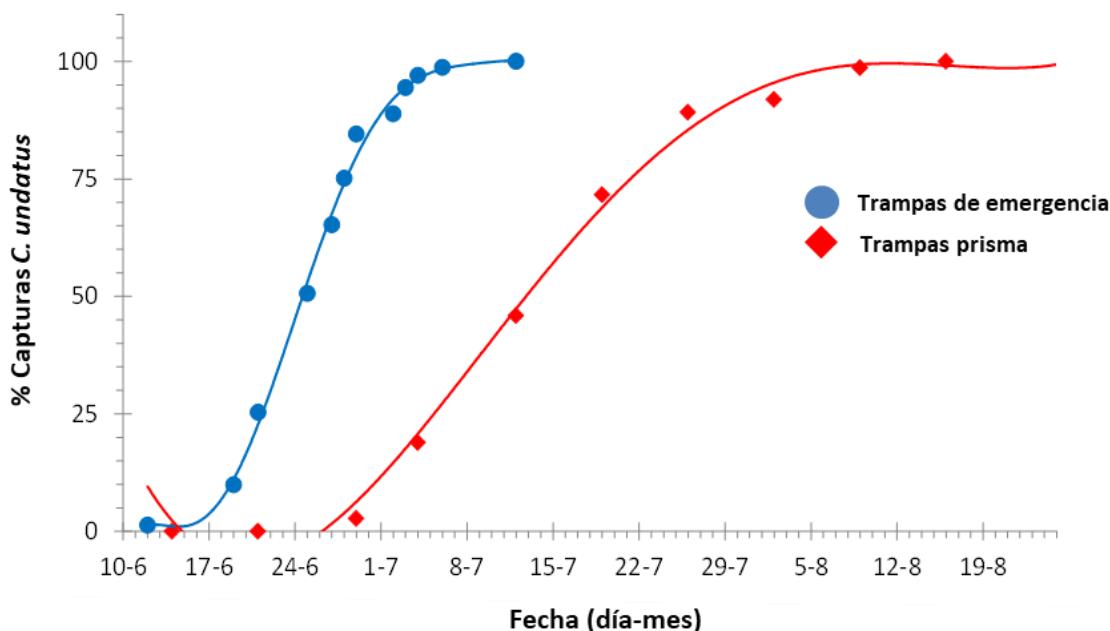


Figura 6. Porcentaje acumulado del número de adultos de *C. undatus* obtenidos a partir de trampas de emergencia y trampas prisma moradas en la finca de Saleres (Arbúcies) en el periodo de junio a agosto de 2018.

### 3. Métodos de control

En primer lugar, indicar que hasta el momento no se ha establecido un método de control efectivo contra *C. undatus* debido a distintos factores que se irán detallando en los subapartados sucesivos. Entre los métodos de gestión integrada de plagas aplicables al insecto encontramos las medidas culturales o silvícolas, el control químico, y el control biorracial (biológico y uso de semioquímicos) (CARRASCO ET AL. 2019). Se detallan a continuación de manera breve cada uno de ellos en relación a su aplicabilidad como medidas de control frente a *C. undatus*.

#### 3.1. Medidas culturales

Tal y como se ha comentado anteriormente, el nivel de plaga de *C. undatus*, la densidad de los ataques y los daños derivados están condicionados por distintos factores bióticos y abióticos de la masa forestal, entre ellas las características silvícolas (densidad de árboles, edad, altura y vigor del arbolado, presencia de cobertura arbustiva, ...), orográficas (ubicación de la parcela, tipo de suelo, pedregosidad, ...) y climáticas (oscilaciones bruscas de temperatura y del balance hídrico, sequías, ...) (DU MERLE & ATTIE 1992, SORIA ET AL. 1992, EVANS ET AL. 2007, CARRASCO ET AL. 2009, RIBA & ROJO 2009, CÁRDENAS ET AL. 2021). Por ello, una gestión adecuada de la masa forestal contribuye notablemente a mantener el arbolado en un estado sanitario óptimo y vigoroso, de manera que se actúe de manera preventiva frente a la acción del insecto. Entre las medidas a adoptar son recomendables por ejemplo el saneamiento para reducir la densidad de árboles que se encuentren debilitados o afectados, de la misma manera que se implementa esta acción para mitigar el efecto de *A. planipennis* sobre distintas especies de fresno (KNIGHT ET AL. 2013).

### 3.2. Control químico

En términos generales, el uso de insecticidas no representa una alternativa viable, debido a su escasa eficacia por la protección de la que goza la larva bajo el corcho, la baja rentabilidad por los costes económicos asociados, y el riesgo de contaminación, con los consiguientes efectos negativos sobre la calidad del corcho y posible riesgo sobre la salud del consumidor (CARRASCO ET AL. 2019).

A pesar de que en la actualidad no existen insecticidas autorizados para el tratamiento químico contra *C. undatus*, su uso experimental se remonta a mediados del siglo pasado. Estas primeras aplicaciones de compuestos químicos (DDT, lindano y toxafeno) fueron llevadas a cabo mediante pulverización de los troncos con insecticidas persistentes durante el periodo de emergencia de los adultos y las fases iniciales del ciclo biológico de la culebrilla. Los resultados obtenidos no fueron prometedores, además de los inconvenientes logísticos y económicos implicados (MARTÍN 1961, 1964, ROMANYK & CADAHÍA 1992).

Durante 2008-2009 se realizaron distintos ensayos experimentales en Andalucía con la inyección en tronco de insecticidas sistémicos (imidacloprid), pero no se obtuvieron diferencias significativas al comparar con árboles testigo (UNIVERSIDAD DE SEVILLA 2010). Los ensayos más recientes se han llevado a cabo en Portugal (UNDERCORK 2019), aunque los resultados obtenidos aún no han sido publicados.

### 3.3. Control biológico

No existe a día de hoy un sistema de control biológico empleando depredadores o parasitoides de *C. undatus*. De hecho, existe un desconocimiento generalizado del impacto de los enemigos naturales sobre las poblaciones de culebrilla (KENIS & HILSZCZANSKI 2007, SALLÉ 2016). Dentro de los parasitoides, encontramos distintas especies de avispas. BOUCEK (1959) cita a *Cirrospilus acasta* (Walker) (Hymenoptera: Eulophidae), mientras que ROMANYK & CADAHÍA (1992) mencionan a *Cerceris bupresticida* Dufour (Hymenoptera: Crabronidae), así como los icneumónidos (Hymenoptera: Ichneumonidae) *Echthrus reluctator* (L.), *Lissonota bellator* (Gravenhorst), y algunas especies del género *Ephialtes*. Entre sus depredadores, la especie de hormiga *Crematogaster scutellaris* (Olivier) (Hymenoptera: Formicidae) ha sido sugerida como posible depredador de los huevos de *C. undatus* (GALLARDO ET AL. 2012). Igualmente, algunas especies de aves son reconocidas como depredadores de larvas (CEIA & RAMOS 2016).

### 3.4. Uso de semioquímicos

Teniendo en cuenta los inconvenientes arriba mencionados para otros sistemas de control, el desarrollo de un control basado en semioquímicos (concepto que alude a aquellas sustancias químicas emitidas por un organismo que induce un cambio en el comportamiento de otro organismo) se plantea como una alternativa prometedora. Así, mediante este tipo de compuestos, bien sean feromonas, compuestos del propio árbol (caironas) u otro tipo de señales químicas que resulten atractivas para el insecto, es posible diseñar sistemas de monitoreo y/o captura masiva que resulten sostenibles, eficaces, específicos y no contaminantes dentro de un contexto de gestión bioracional.

Ya ha sido comentado anteriormente que los primeros estudios en este ámbito de control comenzaron en el año 2003, con el objeto de diseñar una trampa adecuada para monitorizar el vuelo de los adultos. Posteriormente, tras la Encomienda de Gestión entre el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) y el Instituto de Química Avanzada de

Cataluña (IQAC-Consejo Superior de Investigaciones Científicas) (MITECO 2010, GUERRERO 2013), y en estrecha colaboración con el Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural (Generalitat de Cataluña) y Forestal Catalana, se abordó el estudio de la bio-ecología, comunicación química y visual del insecto, con el fin de determinar los elementos clave que le resulten atractivos (FÜRSTENAU ET AL. 2015, MÈGLIC ET AL. 2020, LÓPEZ ET AL. 2021). Todos estos aspectos son explicados con más detalle en el apartado siguiente.

#### 4. Avances sustanciales en el desarrollo de un sistema de control integrado de *C. undatus*

##### 4.1. Caracterización de la visión de *C. undatus* e implicaciones prácticas

Los bupréstidos, al igual que muchos otros insectos, no solo emplean la olfacción para la localización de distintos recursos (pareja, alimento, lugares de oviposición, ...), sino que los estímulos visuales juegan también un papel fundamental en estos procesos. De hecho, un rasgo de esta familia de coleópteros es que muchas de las especies presentan un cuerpo iridiscente y en ocasiones con patrones de coloración llamativas (Figura 7A), lo cual es indicativo de que la percepción visual desempeña un papel importante a la hora de localizar una pareja potencial (LELITO ET AL. 2007, 2011, DOMINGUE ET AL. 2016).

Por ello, la caracterización del tipo de visión de un insecto representa un aspecto clave a la hora de desarrollar sistemas de trampas que se adecuen a los estímulos visuales (colores) percibidos. Por ejemplo, los estudios llevados a cabo en *A. planipennis* arrojaron luz sobre su percepción visual, concluyendo que ambos sexos son capaces de percibir longitudes de onda dentro de los colores del azul (420-430 y 460 nm) y el verde (540-560 nm), mientras que únicamente las hembras tienen fotorreceptores para longitudes de onda en el rojo (640-650 y 670 nm) (CROOK ET AL. 2009). En base a estos resultados se ha llegado a concluir que las trampas prisma de color verde y morado resultan ser las más atractivas para el insecto. Igualmente, ambos colores han sido los más efectivos a la hora de capturar distintas especies de bupréstidos que moran en los árboles (DOMINGUE ET AL. 2013, PETRICE ET AL. 2013, CAVALETTO ET AL. 2020), a diferencia de otras especies florícolas que muestran una preferencia mayor por el color amarillo (CAVALETTO ET AL. 2020). Sin embargo, es necesario apuntar que en el caso de *A. planipennis* suelen apreciarse ciertas diferencias en la preferencia de color entre uno y otro sexo, mostrando los machos mayor atracción por el verde y las hembras por el morado. A su vez, estas diferencias suelen verse acentuadas en función del tipo de compuestos atractivos que se usen en combinación con cada color de trampa, de acuerdo a la ecología química de los machos y las hembras (SILK ET AL. 2019).

Los estudios realizados sobre la visión de *C. undatus* mediante el estudio detallado de la anatomía y fisiología del ojo compuesto han determinado que ambos sexos presentan una visión polarizada y tetracromática, teniendo fotorreceptores capaces de percibir en la longitud de onda del rojo, verde y azul dentro del espectro visible, y el ultravioleta, sin que haya diferencia entre machos y hembras (MEGLÍC ET AL. 2020). Estos hallazgos confirman que el insecto dispone de una excelente visión en color, lo cual en la práctica ha contribuido a un diseño optimizado de la trampa empleada para capturar adultos en vuelo, esto es, la trampa prisma morada. En cuanto a las propiedades espectrofotométricas del insecto adulto y de la trampa morada, en el caso del cuerpo de *C. undatus* las partes del cuerpo muestran una reflectancia distinta, siendo de 440 y 510 nm en la parte dorsal y ventral del abdomen respectivamente (Figura 7B-C), y de 600 nm en la cabeza (Figura 7D), mientras que la superficie de la trampa muestra dos picos de reflectancia en las longitudes de onda de 430 y 750 nm (MEGLÍC ET AL. 2020). En su conjunto, estos resultados ponen de manifiesto que el ojo compuesto del insecto es capaz de percibir distintos estímulos visuales, entre ellos la cutícula de otros miembros de su especie o el color morado de la

trampa. En este sentido, mediante un ensayo realizado con trampas prisma de distinto color (morado, verde y dorado) dispuestas en el sotobosque se ha podido comprobar que efectivamente el color morado es el que captura el mayor número de *C. undatus*, predominantemente hembras (Figura 8). En el caso de las trampas verdes, la eficacia fue inferior, con un 16% del total de insectos capturados. Sin embargo, es destacable que el porcentaje de machos capturados en las trampas verdes fue sustancialmente mayor al obtenido en las trampas moradas, ya que mientras que en éstas últimas únicamente el 3% de las capturas eran machos, este porcentaje ascendió hasta el 28% en las trampas verdes. Por último, el color dorado resultó ser el menos atractivo para el insecto, con únicamente un 0,01 % del número de capturas totales (Figura 8).

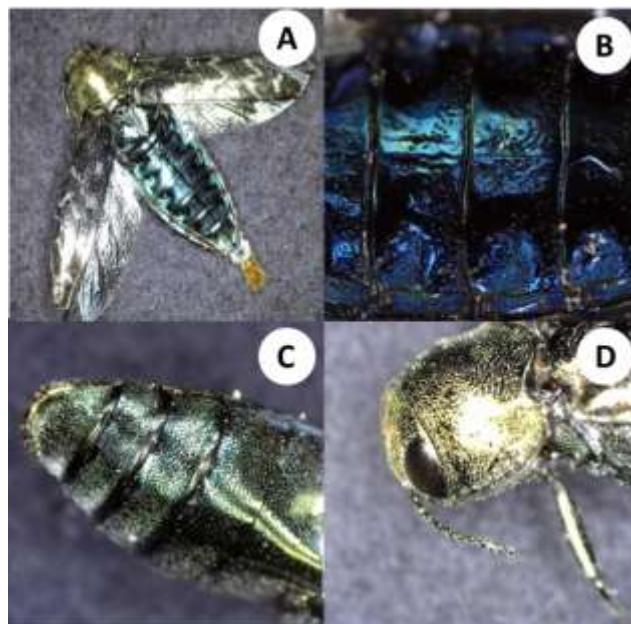


Figura 7. (A) Vista dorsal del cuerpo de *C. undatus*, con los élitros extendidos y el abdomen visible; Segmentos del abdomen (B) dorsales y (C) ventrales; (D) Cabeza y pronoto. Adaptada de MEGLÍC ET AL. (2020).

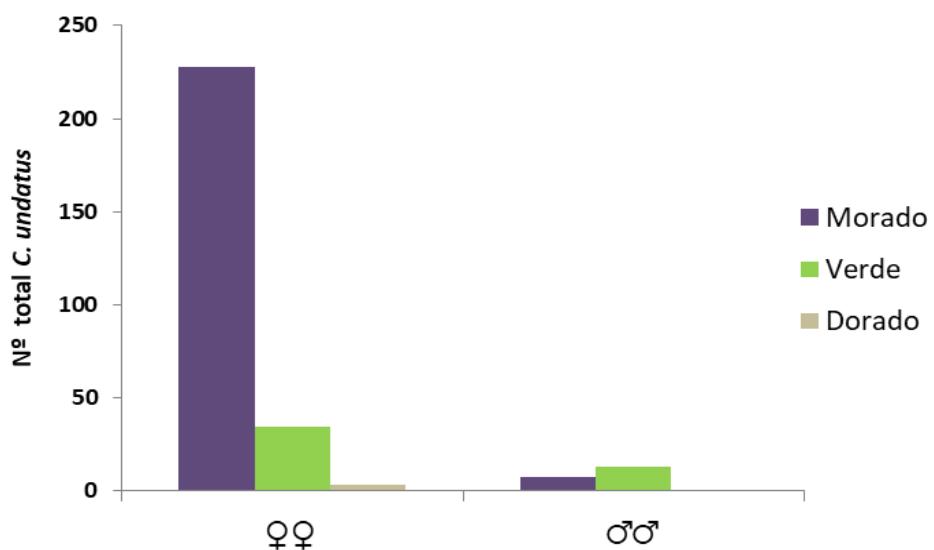


Figura 8. Número total de *C. undatus* de cada sexo capturados con trampas prisma adhesivas de tres colores distintos (morado, verde y dorado).

Al analizar el estado reproductivo de las hembras capturadas en las trampas moradas se observa que muestran un gran desarrollo de los ovarios, presencia de espermateca, y el espermatóforo en el interior de la *bursa copulatrix* (Figura 9A-B), en claro contraste con las hembras vírgenes, en las cuales el grado de desarrollo de los ovarios es menor y la *bursa copulatrix* carece de espermatóforo (Figura 9C). El efecto altamente atractivo de las trampas morada sobre las hembras ya fecundadas indica que la trampa en sí, ya sea por su color, forma y/o silueta, representa para ellas un estímulo en su búsqueda de un lugar para depositar los huevos. En *A. planipennis* se ha podido comprobar que aquellas hembras con un grado de madurez sexual elevado se sienten altamente atraídas por trampas prisma moradas cebadas con compuestos de la corteza del fresno estresado (RYALL ET AL. 2013).

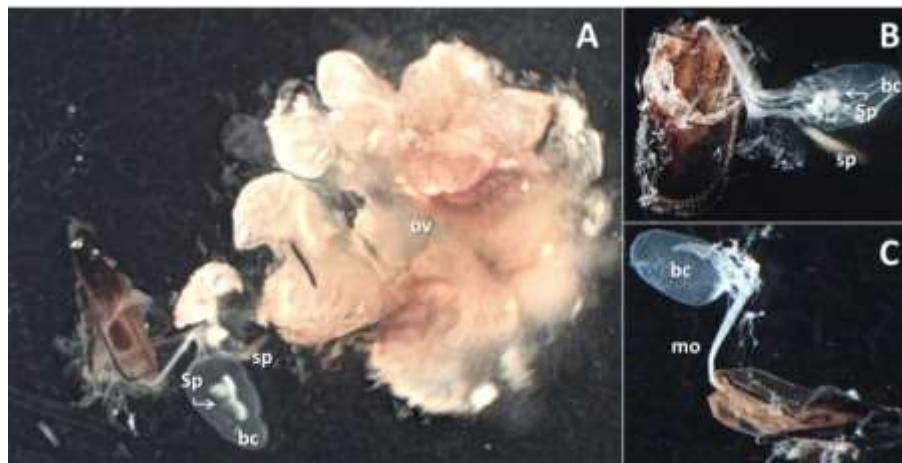


Figura 9. (A) Sistema reproductivo de una hembra fecundada obtenida en una trampa prisma morada; Detalle del aparato genital de una (B) hembra capturada en trampa prisma morada y (C) hembra virgen obtenida en trampa de emergencia. Leyenda: ov, ovarios; bc, bursa copulatrix; Sp, espermatóforo; sp, espermateca; mo, oviducto medio.

## 4.2. Ecología química de *C. undatus*

### 4.2.1. Comunicación intraespecífica

La comunicación intraespecífica (entre individuos de una misma especie) está mediada por compuestos que denominamos feromonas, es decir, sustancias emitidas por un organismo que ejercen un efecto sobre el comportamiento de individuos de la misma especie (LÓPEZ ET AL. 2019). El conocimiento de la existencia de feromonas en coleópteros bupréstidos continúa siendo muy limitado. A día de hoy, tan solo se conoce la existencia de una feromona sexual de corto alcance en *A. planipennis* (BARTELT ET AL. 2007, SILK ET AL. 2011). El compuesto identificado en esta especie consiste en una lactona, concretamente la (Z)-3-dodecen-12-olida, la cual es exclusivamente producida por hembras de más de diez días de edad, y que aumenta la atracción mediada por el compuesto de hoja verde (Z)-3-hexenol en trampas prisma verde colocadas en el dosel (SILK ET AL. 2011). En otra especie del género, concretamente *Agrilus bilineatus* (Weber), se ha observado en pruebas de campo que la presencia de hembras confinadas en jaulas incrementa el número de machos atraídos en condiciones naturales (DUNN & POTTER 1988), lo cual podría ser indicativo de que las hembras emiten uno o varios compuestos que resultan atractivos para los machos. Sin embargo, a día de hoy no se ha profundizado en la ecología química de la especie para desentrañar este interrogante.

En el caso de *C. undatus*, hasta la fecha se desconocía la existencia de algún compuesto volátil con posible implicación en la comunicación entre los individuos adultos. Sin embargo, estudios realizados recientemente han permitido identificar el compuesto denominado oleano (1,7-dioxaspiro[5.5]undecano), el cual ha mostrado actividad biológica destacable sobre ambos性 bajo condiciones de laboratorio (LÓPEZ ET AL. 2021). La detección de este compuesto en una especie de coleóptero resulta de particular interés, ya que hasta la fecha solamente se tenía constancia de su presencia en la especie de abeja *Partamona cupira* (Smith) (Hymenoptera: Apidae), y en moscas de la fruta de la familia Tephritidae (FRANCKE & KITCHING 2005, HELMS ET AL. 2017, NOUSHINI ET AL. 2021). Específicamente se trata del componente mayoritario de la feromona sexual emitida por la hembra de la mosca del olivo *Bactrocera oleae* (Gmelin) (BAKER ET AL. 1981).

Los trabajos realizados sobre *C. undatus* para la detección de compuestos con potencial actividad feromonal han sido llevados a cabo empleando individuos obtenidos a través de trampas de emergencia, los cuales se mantuvieron en condiciones de laboratorio ya explicadas previamente. Mediante una técnica específica para la captación de compuestos volátiles denominada microextracción en fase sólida se ha determinado que tanto machos como hembras de *C. undatus* vírgenes y con una edad superior a siete días emiten este compuesto (Figura 10) (LÓPEZ ET AL. 2021). De acuerdo a los registros electroantenográficos obtenidos a partir de la estimulación del compuesto sobre antenas escindidas de ambos性, el oleano es percibido tanto por machos como por hembras, observándose una respuesta dosis-dependiente, esto es, la magnitud de la respuesta es mayor a medida que se incrementa la cantidad de compuesto (Figura 11) (LÓPEZ ET AL. 2021). Además, las hembras muestran una respuesta mayor que los machos a la cantidad más alta de compuesto empleada (100 µg) (Figura 11). Para evaluar la actividad del compuesto sobre el comportamiento del insecto, se han llevado a cabo ensayos en un olfactómetro de doble elección, en el cual se presentan simultáneamente a cada individuo dos estímulos, concretamente oleano a una cantidad determinada y una corriente de aire previamente purificado en carbón activo. De esta manera, se ha determinado que el compuesto resulta atractivo para ejemplares vírgenes de ambos性 cuando los individuos tienen una edad superior a siete días, mientras que ejemplares de menor edad no muestran atracción (Figura 12). De hecho, el compuesto parece inducir cierta aversión sobre las hembras jóvenes, mientras que los machos de ese rango de edad no muestran una preferencia significativa por el compuesto (Figura 12) (LÓPEZ ET AL. 2021). Esta respuesta hacia el compuesto dependiente de la edad podría estar relacionada con su posible implicación como señal química supeditada a la madurez sexual del insecto, tal y como se ha comentado anteriormente para las especies de escolítidos del género *Tomicus*.

Sin embargo, la actividad observada para el compuesto bajo condiciones de laboratorio no está correlacionada con su actividad en condiciones naturales. En un ensayo de campo llevado a cabo en 2021 se comprobó que la inclusión en trampas prisma moradas de un difusor con oleano con dos tasas de emisión distintas (0,75 y 3,75 mg/día) no incrementaba el número de capturas respecto a las trampas prisma control, no detectándose diferencias significativas entre el número medio de capturas de las diferentes tesis experimentales planteadas (Figura 13). En total se capturaron 55 hembras de *C. undatus*, cuya disección reveló que todas estaban fecundadas, teniendo en cuenta los criterios apuntados anteriormente (presencia de espermatoteca, espermatóforo en el interior de la *bursa copulatrix* y gran desarrollo de los ovarios). Las discrepancias detectadas entre la actividad del oleano en el laboratorio y las pruebas de campo podrían ser explicadas en base a dos posibles argumentos. En primer lugar, el número total de *C. undatus* capturados (55) para un total de 60 trampas utilizadas durante un periodo de ensayo de 57 días parece estar indicando que el nivel de plaga de la zona quizás no era lo suficientemente elevado como para obtener un número significativo de capturas que

permitieran inferir conclusiones robustas sobre la actividad del oleano. A su vez, considerando el tipo de estímulo que representa cada componente incluido en el ensayo, es decir, el propio compuesto y el tipo de trampa empleado, la combinación de ambos podría resultar inapropiada bajo las condiciones experimentales instauradas. Para poder justificar este argumento, hemos de contextualizar el rol de cada elemento en consonancia con la biología del insecto. Por un lado, en los ensayos de comportamiento del laboratorio queda de manifiesto que el compuesto resulta altamente atractivo para individuos vírgenes de ambos sexos con una edad superior a siete días. Sin embargo, la trampa morada por sí sola atrae únicamente hembras ya fecundadas. Mientras que éstas se dispersan por el sotobosque en busca de un alcornoque en el que depositar los huevos, los adultos de *C. undatus* recién emergidos del tronco presentan un comportamiento aún desconocido, sugiriéndose que quizás migren al dosel para alimentarse de las hojas y alcanzar así la madurez sexual, produciéndose la búsqueda de pareja y cópula posiblemente en ese entorno. Por ello, resulta plausible especular que la combinación de ambos elementos no constituye un reclamo potencial dentro del contexto en el que se instala, es decir, en el sotobosque. En ese sentido, la cantidad de estudios realizados sobre *A. planipennis* han demostrado que existen factores inherentes al insecto (biología, nivel poblacional o de infestación del árbol) y el propio diseño experimental (color y posición de la trampa, tipo de atractante, etc.) que son determinantes a la hora de diseñar un sistema de trampado efectivo (POLAND ET AL. 2019), lo cual podría ser extrapolable al caso de *C. undatus*. Teniendo en cuenta la capacidad visual de *C. undatus* y el posible comportamiento de los individuos recién emergidos, no resulta descartable contemplar el uso de trampa verdes en el dosel como una alternativa para evaluar la actividad del oleano. De hecho, en otras especies se ha observado que la eficacia de trampas verdes colocadas en el dosel es elevada en términos de capturas (SILK ET AL. 2011, RASSATI ET AL. 2019), donde se sugiere que son interpretadas como un estímulo similar al follaje (CROOK ET AL. 2009).

En resumen, a día de hoy y con los datos de los que disponemos sobre la actividad del oleano, no es posible atribuirle la denominación de feromona sexual en sentido estricto, ni de feromona de agregación *a priori*, teniendo en cuenta la propia biología del insecto. Sin embargo, futuros ensayos orientados a la implementación de nuevas metodologías en las pruebas de campo (por ejemplo, color y disposición de las trampas) contribuirán sustancialmente a dilucidar el papel del oleano en la comunicación química entre individuos. Adicionalmente, la búsqueda de otros posibles compuestos activos del propio insecto sería de particular interés, ya que podrían incrementar la actividad del oleano, o bien tener actividad en otro contexto biológico.

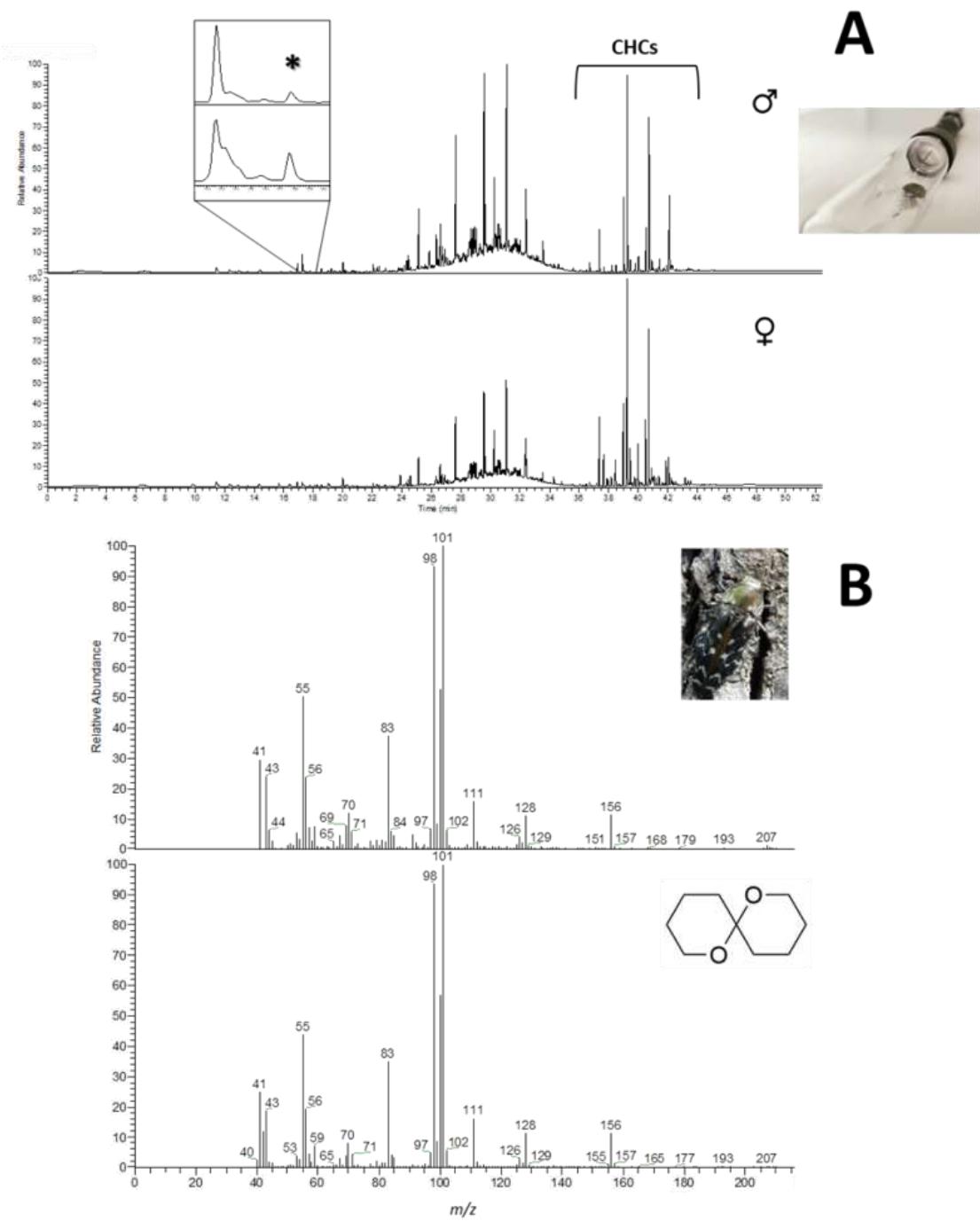


Figura 10. (A) Cromatograma obtenido mediante la captación de volátiles por microextracción en fase sólida a partir de muestra individuales de ambos sexos de *C. undatus*, y ampliación de la franja de tiempo correspondiente a la elución del oleano (indicado con un asterisco); (B) Espectros de masas del producto emitido por el insecto y una muestra sintética de oleano. Adaptada de LÓPEZ ET AL. (2021).

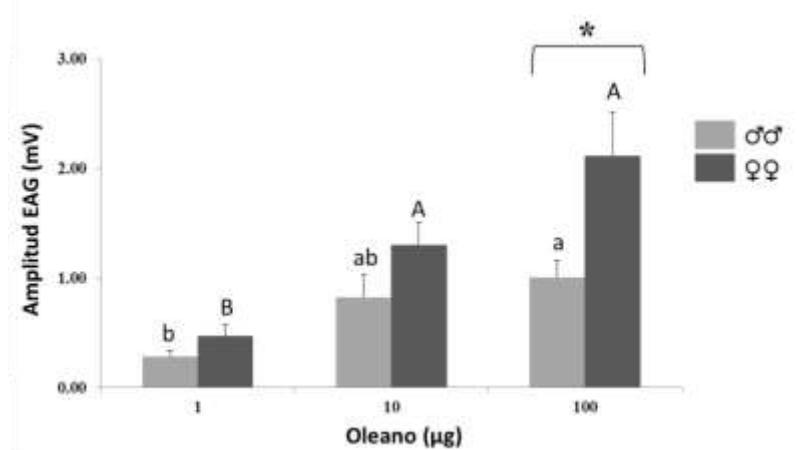


Figura 11. Respuesta electroantenográfica (mV + error estándar de la media) de machos ( $n = 5-6$  antenas, edad  $>7$  días) y hembras ( $n = 10-11$  antenas, edad  $>7$  días) vírgenes de *C. undatus* en respuesta a tres cantidades de oleano (1-100 µg). Las columnas con una letra diferente son estadísticamente diferentes (Análisis de la varianza seguida de test post-hoc de Tukey, con un nivel de significación de 0,05). El asterisco sobre un par de columnas indica la existencia de diferencias significativas entre ellas (test  $t$  de Student, con un nivel de significación de 0,05). Adaptada de LÓPEZ ET AL. (2021).

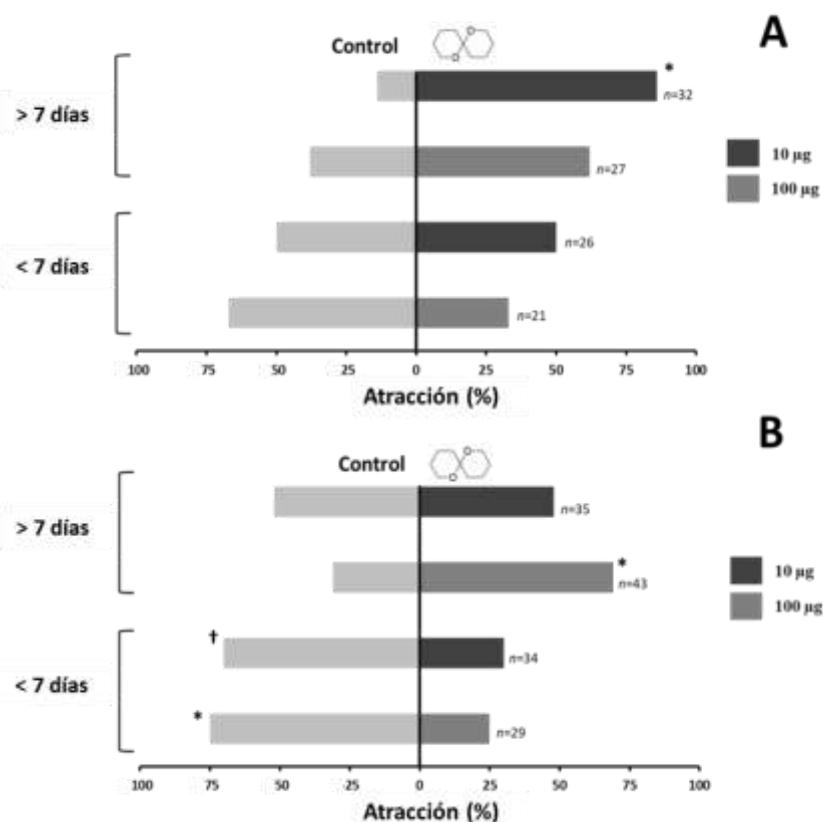


Figura 12. Respuesta (expresada como porcentaje de atracción) de (A) machos y (B) hembras vírgenes de *C. undatus* de dos categorías de edad (<7 días y >7 días) hacia oleano (10 y 100 µg). Los números al lado de cada barra indican el número de individuos empleados en cada ensayo. Las barras con asterisco son estadísticamente diferentes respecto a la atracción observada hacia el brazo control (test de  $\chi^2$ , con un nivel de significación de 0,05;  $\dagger, p = 0,06$ ). Adaptada de LÓPEZ ET AL. (2021).

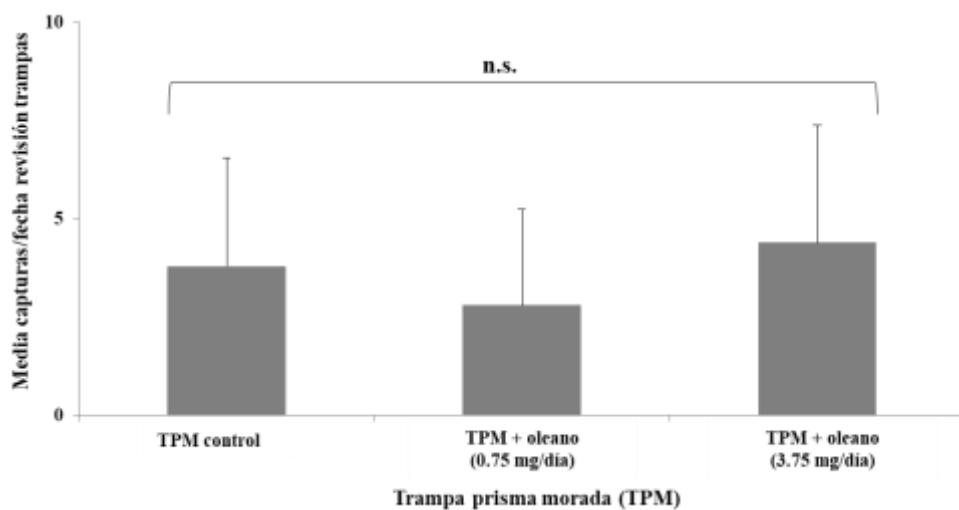


Figura 13. Número medio (y desviación estándar) de *C. undatus* capturados en trampas prisma moradas control y con dos tasas de emisión de oleano (0,75 y 3,75 mg/día) ( $n = 20$  trampas por categoría). No se detectan diferencias significativas entre el número medio de insectos capturados (n.s., test de Kruskal-Wallis con un nivel de significación de 0,05). Adaptada de LÓPEZ ET AL. (2021).

Al margen de la identificación de feromonas de carácter volátil en los bupréstidos, el número de estudios que han incidido en la caracterización de compuestos con implicación como feromona de contacto también ha sido muy limitado. Así, varios trabajos en *A. planipennis* han resaltado la presencia de dos hidrocarburos en la cutícula únicamente de hembras (SILK ET AL. 2009, LELITO ET AL. 2009). Sin embargo, de acuerdo a un estudio posterior, únicamente uno de ellos podría estar involucrado como feromona de contacto, ya que mientras la cantidad presente de este compuesto sufría un incremento según la edad de la hembra hasta los 18 días, el otro hidrocarburo solamente fue detectado en bajos niveles en hembras de entre tres y nueve días (RYALL ET AL. 2013). Por otro lado, en la especie *Capnodis tenebrionis* (L.) se ha determinado que en el pronoto de las hembras se emiten unas secreciones que parecen tener implicación en el reconocimiento de éstas por parte del macho (BARI ET AL. 2019). A su vez, han sido identificados unos hidrocarburos específicos en las hembras, los cuales carecen los machos y que podrían ser los responsables de la comunicación a corto alcance entre sexos (BARI ET AL. 2019). Teniendo en cuenta estos antecedentes, no es descartable que en *C. undatus* alguno de los sexos presente hidrocarburos específicos con un posible papel como feromona de contacto.

#### 4.2.2. Comunicación intraespecífica (insecto-alcornoque)

Durante la búsqueda de una planta adecuada, los insectos fitófagos han de ser capaces de detectar aquellas que son apropiadas, y discernir entre las señales químicas relevantes emitidas por la planta y otros olores presentes en el entorno, de manera que puedan orientarse desde la distancia hacia la planta objetivo. Este tipo de señales químicas emitidas en este caso por la planta son denominadas como cairomonas, ya que son compuestos emitidos por un organismo que son percibidos por un organismo de otra especie distinta, la cual se ve beneficiada en detrimento del organismo emisor (LÓPEZ ET AL. 2019). Si tomamos como ejemplo a *A. planipennis*, el volátil de hoja verde (Z)-3-hexenol resulta atractivo para los machos cuando se combina con trampas verdes dispuestas en el dosel (GRANT ET AL. 2010, 2011). Del mismo modo, en otras especies de bupréstidos se ha profundizado en el papel de los compuestos de las hojas de distintas especies de árboles huésped, determinándose que algunos volátiles emitidos, incluido el arriba

mencionado (*Z*-3-hexenol, resultan atractivos bajo condiciones de laboratorio o en el medio natural (COLEMAN ET AL. 2004, FÜRSTENAU ET AL. 2012, VUTS ET AL. 2016, BARI ET AL. 2019). En el caso de *C. undatus* se ha podido comprobar que una mezcla de cinco compuestos emitidos por las hojas de alcornoque, constituida por (*E*)-2-hexenol (100 mg), (*E*)-2-hexenal (93 mg), acetato de (*Z*)-3-hexenilo (66 mg), 1-hexanol (51 mg) y acetato de hexilo (11 mg), es más atractiva que el etanol o una mezcla de tres compuestos (geranilacetona, nonanal y decanal) en la atracción de las hembras hacia las trampas (FÜRSTENAU ET AL. 2015). Asimismo, este atractivo resulta más eficaz cuando se combina con el modelo de trampa prisma en comparación con la trampa de embudos múltiples Lindgren o con una trampa adhesiva en forma de panel (FÜRSTENAU ET AL. 2015).

No solo los volátiles emitidos por las hojas pueden ser relevantes mediando la atracción del insecto, sino también los compuestos emitidos a nivel de tronco. En *A. planipennis* tanto los machos como las hembras de esta especie perciben algunos compuestos sesquiterpénicos presentes en la corteza de fresnos estresados, los cuales resultan atractivos para ambos sexos (CROOK ET AL. 2008). Teniendo esta premisa en consideración, uno de los objetivos principales en los últimos años ha sido identificar qué compuestos del tronco de *Q. suber* resultan atractivos para *C. undatus*. Una de las primeras hipótesis que se planteó es el papel que puede estar desempeñando la propia capa generatriz del corcho como agente mediador de la atracción del insecto hacia aquellos árboles susceptibles de su ataque. Por ello, se ha caracterizado la composición química de la capa generatriz tanto de árboles no afectados como afectados por el insecto, con el fin de identificar algún compuesto discriminante entre ambas categorías de capa y que pudiera resultar atractivo para el insecto. Para acometer este fin, en 2019 se llevó a cabo un análisis comparativo de la composición de la capa generatriz de ambos tipos de alcornoques en una finca con graves daños por la culebrilla del corcho. Las muestras fueron tomadas practicando una incisión en el corcho para obtener secciones de capa generatriz (2-5 g peso seco) (Figura 14A), siendo después sumergidas inmediatamente en un disolvente (15 mL de hexano) y maceradas a 4 °C durante 4 h seguido de 3 h a temperatura ambiente (Figura 14B). El estudio de caracterización realizado por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas reveló que no existen diferencias significativas a nivel cualitativo y cuantitativo entre la composición de la capa generatriz de árboles sanos y atacados por el insecto. Estos resultados se ven respaldados tanto por los ensayos posteriores de electroantenografía como por ensayos de comportamiento. En el caso de los primeros, se observa que ambos sexos responden con la misma magnitud tanto al extracto de capa generatriz no atacada como de atacada (Figura 15). Asimismo, se puede observar que las hembras no muestran preferencia a nivel de comportamiento por una u otra capa generatriz al ser presentadas simultáneamente (Figura 16). Estos resultados llevan a concluir que a nivel de composición la capa generatriz de árboles afectados o no por el insecto no difieren cualitativamente.

Del mismo modo, en ensayos posteriores se ha podido comprobar que tanto los machos como las hembras se sienten significativamente atraídos por la capa generatriz cuando es presentada simultáneamente junto a aire como estímulo contrapuesto (Figura 17). En *A. bilineatus* las hembras aterrizan primero en la corteza de robles estresados, y posteriormente llegan los machos, lo cual podría implicar la intervención de compuestos feromonales (DUNN & POTTER 1988) y/o señales acústicas que median la atracción del sexo opuesto. Sin embargo, también se tiene constancia de que los machos se ven atraídos por volátiles del roble (DUNN ET AL. 1986), lo cual en su conjunto podría indicar que en la atracción del sexo opuesto están interviniendo señales químicas emitidas tanto por el insecto como por el árbol. El hecho de que ambos sexos de *C. undatus* muestren preferencia por la capa generatriz llama particularmente la atención, ya que en una

primera instancia se podría pensar que son las hembras las que principalmente debieran sentirse atraídas por el árbol en la búsqueda de un lugar propicio para depositar los huevos. Sin embargo, a la luz de los resultados obtenidos queda patente que la capa generatriz resulta atractiva para los machos, con lo que es necesario indagar qué compuestos de la capa generatriz están mediando la atracción de ambos sexos y sus implicaciones sobre la actividad del insecto.

Por último, cabe resaltar que dentro de esta línea de investigación enfocada a la caracterización de posibles cairomonas de *Q. suber* se ha establecido como nuevo objetivo la determinación de los compuestos emitidos al ambiente por el tronco del alcornoque. A día de hoy se ha optimizado una metodología para este fin, permitiendo realizar la captación de volátiles sin emplear técnicas destructivas para el árbol que puedan afectar al perfil de compuestos emitidos. Los estudios en curso conjugando tanto la fracción volátil emitida por el árbol como los componentes atractivos que componen la capa generatriz permitirá arrojar luz sobre aquellas señales clave en la selección de alcornoques susceptibles de ser atacados por el insecto.



Figura 14. (A) Detalle de la obtención de una muestra de capa generatriz; (B) Maceración en hexano de las muestras obtenidas.

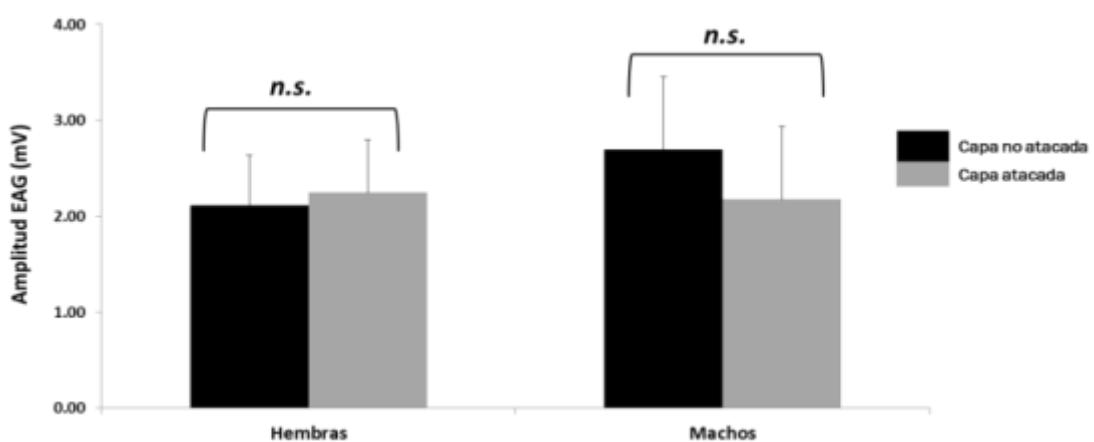


Figura 15. Respuesta electroantennográfica (mV + error estándar de la media) de machos ( $n = 5$  antenas, edad  $>7$  días) y hembras ( $n = 10$  antenas, edad  $>7$  días) de *C. undatus* en respuesta hacia el extracto macerado de capa generatriz no atacada (20  $\mu$ l) y atacada (20  $\mu$ l) (n.s.: no significativo, test t de Student, con un nivel de significación de 0,05).

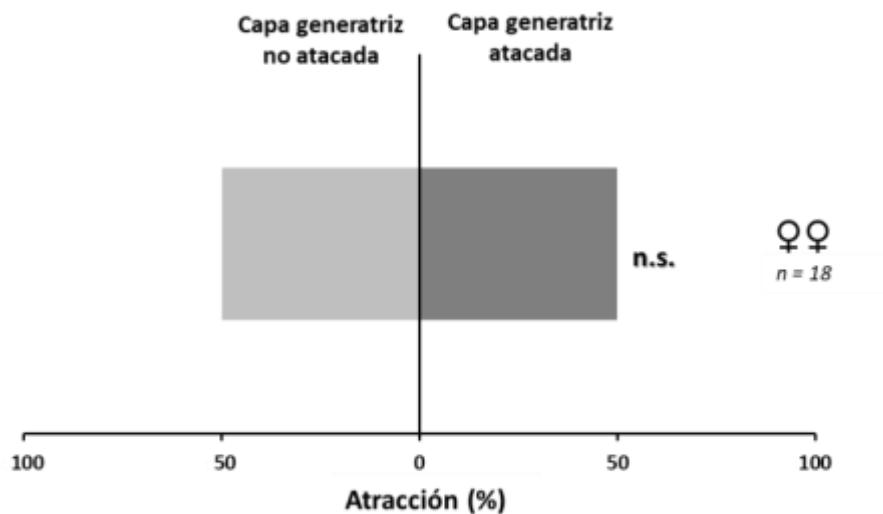


Figura 16. Respuesta (expresada como porcentaje de atracción) de hembras vírgenes de *C. undatus* ( $n = 18$ , edad  $>7$  días) expuestas simultáneamente a extractos macerados de capa generatriz de *Q. suber* no atacados (20  $\mu$ l) y atacados (20  $\mu$ l) (test de  $\chi^2$ , con un nivel de significación de 0,05; n.s.: no significativo).

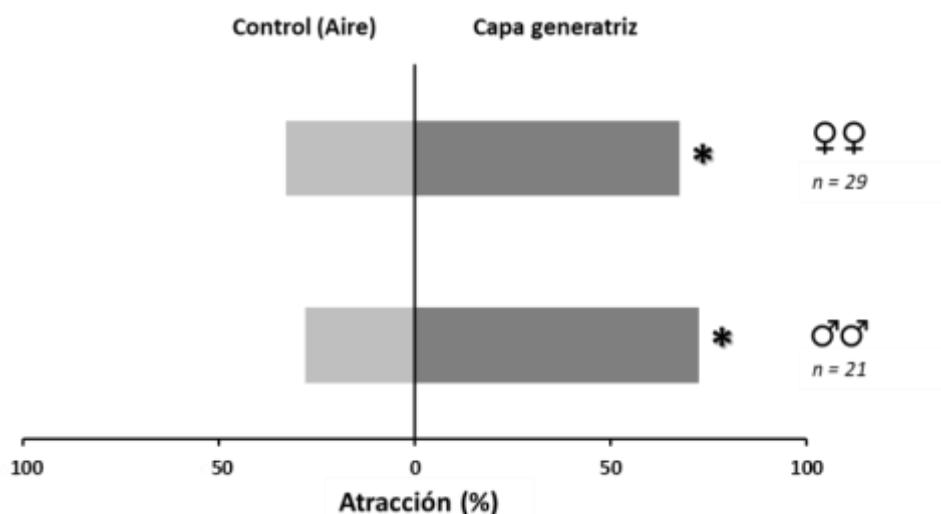


Figura 17. Respuesta (expresada como porcentaje de atracción) de hembras ( $n=29$ ) y machos ( $n=21$ ) de *C. undatus* (edad  $>7$  días) hacia extractos macerados de capa generatriz de *Q. suber* (20  $\mu$ l). Las barras con asterisco son estadísticamente diferentes respecto a la atracción observada hacia el brazo control (test de  $\chi^2$ , con un nivel de significación de 0,05).

## 5. Conclusiones

Los esfuerzos conjuntos llevados a cabo entre el Instituto de Química Avanzada de Cataluña, Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural (Generalitat de Cataluña) y Forestal Catalana a lo largo de más de una década han supuesto una contribución sustancial en distintos aspectos biológicos de *C. undatus*, todos ellos clave a la hora de desarrollar un sistema de control integrado de la plaga.

En primer lugar, mediante exhaustivos muestreos con trampas de emergencia y de vuelo ha sido posible trazar la fenología del insecto y conocer su ciclo biológico de manera más precisa, corroborando que el insecto muestra un ciclo bienal, y arrojar luz sobre aspectos desconocidos hasta la fecha, como la proporción sexual de la nueva generación de adultos, o la curva de vuelo que el insecto muestra en Cataluña.

Por otro lado, los avances realizados en el conocimiento de la capacidad visual de la especie, en consonancia con las múltiples pruebas de campo ejecutadas desde el 2003, han servido para definir la trampa prisma de color morado como el modelo más eficaz. Este tipo de trampa se muestra efectivo a la hora de capturar hembras grávidas cuando es colocada en el sotobosque, lo cual a la larga redundó en una disminución del número de individuos que pueden surgir en la siguiente generación. Sin embargo, a día de hoy se desconoce el hábitat en el que moran los machos y hembras vírgenes, así como qué tipo de metodología emplear para fomentar su captura.

En relación a la identificación de semioquímicos potencialmente atractivos para el insecto, los hallazgos reflejados en el presente trabajo arrojan luz sobre posibles candidatos implicados en la comunicación química de *C. undatus* a distintos niveles (insecto-insecto e insecto-árbol). Tanto el oleano como la capa generatriz resultan atractivos para ambos sexos en condiciones experimentales. Sin embargo, en el caso del oleano se observa que no induce un incremento en el número de capturas al ser combinado con la trampa prisma morada, mientras que a nivel de capa generatriz aún no han sido caracterizados los compuestos responsables de mediar dicha actividad. Actualmente continúan en desarrollo distintas vías de investigación para dilucidar el papel de estos compuestos, así como la implementación de nuevas metodologías para las pruebas de campo, con el fin de mejorar la eficacia del sistema de trampado actualmente instaurado.

## 7. Agradecimientos

Los autores agradecen a D. Mariano Rojo Sanz y D. Jorge Heras Dolader por el apoyo en el desarrollo de los estudios incluidos en el presente trabajo, así como a los propietarios forestales, gestores de fincas e industrias asociadas al aprovechamiento del corcho por el soporte logístico y las facilidades proporcionadas.

## 8. Bibliografía

- BAKER, R.; HERBERT, R.; HOWSE, P.E.; JONES, O.T.; FRANCKE, W.; REITH, W.; 1981. Identification and synthesis of the major sex pheromone of the olive fly (*Dacus oleae*). *J. Chem. Soc., Chem. Commun.* 1, 52-53.
- BARI, G.; SCALA, A.; GARZONE, V.; SALVIA, R.; YALCIN, C.; VERNILE, P.; ARESTA, A.M.; FACINI, O.; BARALDI, R.; BUFO, S.A.; VOGEL, H.; DE LILLO, E.; RAPPARINI F.; FALABELLA, P.; 2019. Chemical ecology of *Capnodis tenebrionis* (L.) (Coleoptera: Buprestidae): Behavioral and biochemical strategies for intraspecific and host interactions. *Front. Physiol.* 10, 1-21.
- BARTELTT, R.J.; COSSÉ, A.A.; ZILKOWSKI, B.W.; FRASER, I.; 2007. Antennally active macrolide from the emerald ash borer *Agrilus planipennis* emitted predominantly by females. *J. Chem. Ecol.* 33, 1299-1302.

BERNAL, C.J.; CARDILLO, E.; 2004. *Plagas y Enfermedades del Alcornocal. La Culebra del Corcho.* Cuadernos Forestales, IPROCOR, Junta de Extremadura, Mérida. 29 pp.

BOUCEK, Z.; 1959. A study of central European Eulophidae, II: *Dialinopsis* and *Cirrospilus* (Hymenoptera). *Acta Entomol. Mus. Natl. Pragae* 33, 171-187.

CÁRDENAS, A.M.; TOLEDO, D.; GALLARDO, P.; GUERRERO, J.; 2021. Assessment and distribution of damages caused by the trunk boring insects *Coraebus undatus* (Fabricius) (Coleoptera: Buprestidae) and *Reticulitermes grassei* Clément (Blattodea: Rhinotermitidae) in Mediterranean restored cork-oak forests. *Forests* 12, 1-15.

CARRASCO, A. et al. 2009. *Procesos de Decaimiento Forestal (la Seca): Situación del Conocimiento.* Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Córdoba. 112 pp.

CARRASCO, A.; GUZMÁN, J.R.; RUIZ, J.M.; RODRÍGUEZ, S.; 2019. *Manual de Diagnóstico Fitosanitario. Capítulo 1: Introducción.* Junta de Andalucía, LIFE BioDehesa. 131 pp.

CAVALETTO, G.; FACCOLI, M.; MARINI, L.; SPAETHE, J.; MAGNANI, G.; RASSATI, D.; 2020. Effect of trap color on captures of bark- and wood-boring beetles (Coleoptera; Buprestidae and Scolytinae) and associated predators. *Insects* 11, 749.

CEIA, R.S.; RAMOS, J.A.; 2016. Birds as predators of cork and holm oak pests. *Agrofor. Syst.* 90, 159-176.

CODINA, A.; 1926: Nota sobre el corc del suro *Coraebus undatus* (Fabr.) (Col.: Buprestidae). *Butll. Inst. Catalana Hist. Nat.* 26, 107-109.

COLEMAN, T.W.; CHEN, Y.; GRAVES, A.D.; HISHINUMA, S.M.; GRULKE, N.E.; FLINT, M.L.; SEYBOLD, S.L.; 2014. Developing monitoring techniques for the invasive goldspotted oak borer (Coleoptera: Buprestidae) in California. *Environ. Entomol.* 43, 729-743.

CROOK, D.J.; KHRIMIAN, A.; FRANCESE, J.A.; FRASER, I.; POLAND, T.M.; SAWYER, A.J.; MASTRO, V.C.; 2008. Development of a host-based semiochemical lure for trapping emerald ash borer *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae). *Environ. Entomol.* 37, 356-365.

CROOK, D.J.; FRANCESE, J.A.; ZYLSTRA, K.E.; FRASER, I.; SAWYER, A.J.; BARTELS, D.W.; LANCE, D.R.; MASTRO, V.C.; 2009. Laboratory and field response of the emerald ash borer (Coleoptera: Buprestidae), to selected regions of the electromagnetic spectrum. *J. Econ. Entomol.* 102, 2160-2169.

DOMINGUE, M.J.; IMREI, Z.; LELITO, J.P.; MUSKOVITS, J.; JANIK, G.; CSÓKA, G.; MASTRO, V.C.; BAKER, T.C.; 2013. Trapping of European buprestid beetles in oak forests using visual and olfactory cues. *Entomol. Exp. Appl.* 148, 116-129.

DOMINGUE, M.J.; LELITO, J.P.; MYRICK, A.J.; CSÓKA, G.; SZÖCS, L.; IMREI, Z.; BAKER, T.C.; 2016. Differences in spectral selectivity between stages of visually-guided mating approaches in a buprestid beetle. *J. Exp. Biol.* 219, 2837-2843.

DU MERLE, P.; ATTIE, M.; 1992. *Coroebus undatus* (Coleoptera: Buprestidae) sur chêne liège dans le Sud-Est de la France: estimation des dégâts, relations entre ceux-ci et certains facteurs du milieu. *Ann. Sci. For.* 49, 571-588.

DUNN, J.P.; POTTER, D.A.; 1988. Evidence for sexual attraction by the twolined chestnut borer *Agrilus bilineatus* (Weber) (Coleoptera: Buprestidae). *Can. Entomol.* 120, 1037-1039.

DUNN, J.; KIMMERER, T.; NORDIN, G.; 1986. The role of host tree condition in attack of white oaks by the twolined chestnut borer, *Agrilus bilineatus* (Weber) (Coleoptera: Buprestidae). *Oecologia* 70, 596-600.

EVANS, H.F.; MORAAL, L.G.; PAJARES, J.A.; 2007. Biology, ecology and economic importance of Buprestidae and Cerambycidae. Chapter 20, pp. 447-474. En: *Bark and Wood Boring Insects in Living Trees in Europe, a Synthesis* (eds.: LIEUTIER, F; DAY, K.R.; BATTISTI, A.; GRÉGOIRE, J.C.; EVANS, H.F.). Springer, Netherlands. 447 pp.

FRANCESE, J.A.; OLIVER, J.B.; FRASER, I.; LANCE, D.R.; YOUSSEF, N.; SAWYER, A.J.; MASTRO, V.C.; 2008. Influence of trap placement and design on capture of the emerald ash borer, *Agrilus planipennis* (Col.: Buprestidae). *J. Econ. Entomol.* 101, 1831-1837.

FRANCKE, W; KITCHING, W.; 2005. Spiroacetals in insects. *Curr. Org. Chem.* 5, 233-251.

FÜRSTENAU, B.; 2011. *Comunicación química intraespecífica de Coroebus spp. (Col.: Buprestidae) y Docistaurus maroccanus (Orthoptera: Acrididae), dos insectos plaga de la Península Ibérica*. Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona. 230 pp.

FÜRSTENAU, B.; ROSELL, G.; GUERRERO, A.; QUERO, C.; 2012. Electrophysiological and behavioral responses of the black-banded oak borer, *Coroebus florentinus*, to conspecific and host-plant volatiles. *J. Chem. Ecol.* 38, 378-388.

FÜRSTENAU, B.; QUERO, C.; RIBA, J.M.; ROSELL, G.; GUERRERO, A.; 2015. Field trapping of the flathead oak borer *Coroebus undatus* (Coleoptera: Buprestidae) with different traps and volatile lures. *Insect Sci.* 22, 139-149.

GALLARDO, A.; JIMÉNEZ, A.; ANTONIETTY, C.A.; VILLAGRÁN, M.; OCETE, M.E.; SORIA, F.J.; 2012. Forecasting infestation by *Coroebus undatus* (Col.: Buprestidae) in cork oak forests. *Int. J. Pest. Manag.* 58, 275-280.

GRANT, G.G.; RYALL, K.L.; LYONS, D.B.; ABOU-ZAID, M.M.; 2010. Differential response of male and female emerald ash borers (Col., Buprestidae) to (Z)-3-hexenol and manuka oil. *J. Appl. Entomol.* 134, 26-33.

GRANT, G.G.; POLAND, T.M.; CIARAMITARO, T.; LYONS, D.B.; JONES, G.C.; 2011. Comparison of male and female emerald ash borer (Coleoptera: Buprestidae) responses to phoebe oil and (Z)-3-hexenol lures in light green prism traps. *J. Econ. Entomol.* 104, 173-179.

GUERRERO, A.; 2013. Las Plagas del Alcornoque. Informe técnico. 19 pp.

HASTIR, P.; GASPAR, C.; 2002. Les «richards» (Col.: Buprestidae) de la faune de Belgique: éthologie, phénologie, classification et systématique. *Notes faunistiques de Gembloux*, 47: 3-40.

HELMS, A.M.; DE MORAES, C.M.; TRÖGER, A.; ALBORN, H.T.; FRANCKE, W.; TOOKER, J.F.; MESCHER, M.C.; 2017. Identification of an insect-produced olfactory cue that primes plant defenses. *Nat. Commun.* 8, 337.

IML-Institut Méditerranéen du Liège; 2000. *Pathologie de la suberaie en France: ravageurs et maladies du chêne liège*. Guide Technique de Vulgarisation. Region Languedoc-Roussillon. 23 pp.

JIMÉNEZ, A.; GALLARDO, A.; ANTONIETTY, C.A.; VILLAGRÁN, M.; OCETE, M.E.; SORIA, F.J.; 2012. Distribution of *Coraebus undatus* (Col.: Buprestidae) in cork oak forests of Southern Spain. *Int. J. Pest. Manag.* 58, 281-288.

KENIS, M.; HILSZCZANSKI, J.; 2007. Natural enemies of Cerambycidae and Buprestidae infesting living trees. Chapter 21, pp. 475-497. En: *Bark and wood boring insects in living trees in Europe, a synthesis* (eds.: LIEUTIER, F; DAY, K.R.; BATTISTI, A.; GRÉGOIRE, J.C; EVANS, H.F.). Springer, Netherlands. 447 pp.

KNIGHT, K.S.; BROWN, J.P.; LONG, R.P.; 2013. Factors affecting the survival of ash (*Fraxinus* spp.) trees infested by emerald ash borer (*Agrilus planipennis*). *Biol. Invasions* 15, 371-383.

KUBÁŇ, V.; MAJER, K.; KOLIBÁČ, J.; 2000. Classification of the tribe Coraebini Bedel, 1921 (Coleoptera, Buprestidae, Agrilinae). *Acta Mus. Morav. Sci. Biol.* 85, 185-287.

LELITO, J.P.; FRASER, I.; MASTRO, V.C.; TUMLINSON, J.H.; BÖRÖCZKY, K.; BAKER, T.C.; 2007. Visually mediated “paratrooper copulations” in the mating behavior of *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae), a highly destructive invasive pest of North American ash trees. *J. Insect Behav.* 20, 537-552.

LELITO, J.P.; BÖRÖCZKY, K.; JONES, T.H.; FRASER, I.; MASTRO, V.C.; TUMLINSON, J.H.; BAKER, T.C.; 2009. Behavioral evidence for a contact sex pheromone component of the emerald ash borer, *Agrilus planipennis* Fairmaire. *J. Chem. Ecol.* 35, 104-110.

LELITO, J.P.; DOMINGUE, M.J.; FRASER, I.; MASTRO, V.C.; TUMLINSON, J.H.; BAKER, T.C.; 2011. Field investigation of mating behaviour of *Agrilus cyanescens* and *Agrilus subcinctus*. *Can. Entomol.* 143, 370-379.

LÓPEZ S.; BAU, J.; GUERRERO, A.; QUERO, C.; 2019. Ecología química: aplicaciones ambientalmente sostenibles para el control de plagas. *Rev. Soc. Cat. Quím.* 18, 18-27.

LÓPEZ, S.; ÁLVAREZ-CALERO, J.M.; RIBA-FLINCH, J.M.; COCA-ABIA, M.M.; TORRELL, A.; QUERO, C.; 2021. Olean (1,7-dioxaspiro[5.5]undecane): A novel intraspecific chemical cue in *Coraebus undatus* (F.) (Coleoptera: Buprestidae). *Insects* 12, 1085. MARTÍN, C.; 1961. Ensayos de tratamiento contra el *Coraebus undatus*. *Bol. Serv. Plagas For.* 8, 73-83.

MARTÍN, C.; 1964. Notas sobre el *Coraebus undatus*, plaga del alcornoque. *Bol. Serv. Plagas For.* 14, 95-101.

MEGLÎC, A.; ILÎC, M.; QUERO, C.; ARIKAWA, K.; BELUŠÎC, G.; 2020. Two chiral types of randomly rotated ommatidia are distributed across the retina of the flathead oak borer *Coraebus undatus* (Coleoptera: Buprestidae). *J. Exp. Biol.* 223, jeb225920.

MENDES, A.M.S.C.; GRAÇA, J.A.R.; 2009. *Cork bottle stoppers and other cork products*, pp. 59-69. En: Cork oak woodlands on the edge: ecology, adaptive management and restoration (eds.: ARONSON, J.; PEREIRA, J.S.; PAUSAS, J.G.). Island Press: Washington DC.

MITECO; 2010. Control Biorracial Coroebus. [https://www.miteco.gob.es/ca/biodiversidad/formacion/control\\_bio\\_coroebus.aspx](https://www.miteco.gob.es/ca/biodiversidad/formacion/control_bio_coroebus.aspx)

MONTOYA, J.M.; 1988. *Los alcornocales*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Serie Manuales Técnicos S.E.A. Madrid. 155 pp.

NOUSHINI, S.; PARK, S.J.; JAMIE, I.; JAMIE, J.; TAYLOR, P.; 2021. Rectal gland exudates and emissions of *Bactrocera bryoniae*: chemical identification, electrophysiological and pheromonal functions. *Chemoecology* 31, 137-148.

PAUSAS, J.G., PEREIRA, J. S.; ARONSON, J.; 2009. *The tree*, pp. 11-23. En: Cork oak woodlands on the edge: ecology, adaptive management, and restoration (eds.: ARONSON, J.; PEREIRA, J.S.; PAUSAS, J.G.). Island Press: Washington DC.

PEREIRA, H.; 2007. *Cork: biology, production and uses*. Elsevier Science, Amsterdam. 346 pp.

PETRICE, T.R.; HAACK, R.A.; POLAND, T.M.; 2013. Attraction of *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae) and other buprestids to sticky traps of various colors and shapes. *Great Lakes Entomol.* 46, 13-30.

POLAND, T.M.; PETRICE, T.R.; CIARAMITARO, T.M.; 2019. Trap designs, colors, and lures for emerald ash borer detection. *Front. For. Glob. Chang.* 2, 80.

RASSATI, D.; MARINI, L.; MARCHIORO, M.; RAPUZZI, P.; MAGNANI, G.; POLONI, R.; DI GIOVANNI, F.; MAYO, P.; SWEENEY, J.; 2019. Developing trapping protocols for wood-boring beetles associated with broadleaf trees. *J. Pest. Sci.* 92, 267-279.

RIBA, J.M.; 2009. Estudio de aspectos biológicos y ecológicos de la culebrilla del corcho *Coraebus undatus* y de la culebrilla de las ramas *Coraebus florentinus*: resultados 2009. DMAH, Generalitat Catalunya ([https://www.miteco.gob.es/en/biodiversidad/formacion/memoria\\_tareas\\_catalunya\\_2009\\_tcm38-155556.pdf](https://www.miteco.gob.es/en/biodiversidad/formacion/memoria_tareas_catalunya_2009_tcm38-155556.pdf)). 19 pp.

RIBA, J.M.; 2010. *Platypus cylindrus* (perforador del tronc del suro). Fitxa núm. 7. *Catalunya Forestal (revista del Consorci Forestal de Catalunya)* 104, 25-26.

RIBA, J.M.; ROJO, M.; 2004. L'alzina surera (*Quercus suber*) i el corc del suro (*Coraebus undatus*). *Catalunya Forestal* 68, 1-2.

RIBA, J.M.; ROJO, M.; 2009. Estudi d'aspectes biològics i ecològics del corc del suro (*Coraebus undatus*). Part-I: Aspectes forestals i industrials; pp. 208-214. En: *Suredes i indústria surera: avui, ahir i demà*. Zapata (ed.), Palafrugell (Girona). 889 pp.

ROMANYK, N.; CADAHÍA, D.; 1992. *Plagas de Insectos en las masas forestales españolas*. Colecciones Técnicas, ICONA, MAPA, Madrid. 336 pp.

RYALL, K.L.; DUTKIEWICZ, D.; SILK, P.J.; ANTUNES, P.M.; OCHOA, I.; 2013. Ovarian development of *Agrilus planipennis*: effects of age and mating status and influence on attraction to host volatiles. *Entomol. Exp. Appl.* 149, 77-84.

SALLÉ, A.; 2016. Native buprestid and Longhorn beetles in the Mediterranean Basin. Chapter 7, pp. 199-219. En: *Insects and diseases of Mediterranean forest systems* (eds.: PAINÉ, T.D.; LIEUTIER, F.). Springer, London. 902 pp.

SÁNCHEZ, M.F.; 2013. *Plagas del corcho*. Jornadas de Sanidad Forestal en el Monte Mediterráneo.

SILK, P.J.; RYALL, K.; LYONS, D.B.; SWEENEY, J.; WU, J.; 2009. A contact sex pheromone component of the emerald ash borer *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae). *Naturwissenschaften* 96, 601-608.

SILK, P.J.; RYALL, K.; MAYO, P.; LEMAY, M.A.; GRANT, G.; CROOK, D.; COSSÉ, A.; FRASER I.; SWEENEY, J.D.; LYONS, D.B.; PITI, D.; SCARR, T.; MAGEE, D.; 2011. Evidence for a volatile pheromone in *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae) that increases attraction to a host foliar volatile. *Environ. Entomol.* 40, 904-916.

SILK, P.; MAYO, P.; RYALL, K.; ROSCOE, L.; 2019. Semiochemical and communication ecology of the emerald ash borer, *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae). *Insects* 10, 323.

SORIA, F.J.; OCETE, M.E.; 1989. Determinación de los estadios larvarios de *Coroebus undatus* (Fabr.) (Col.: Buprestidae) mediante técnicas biométricas. *Actas IX Bienal de la Real Sociedad Española de Historia Natural*: 144-155.

SORIA, F.J.; VILLAGRÁN, M.; OCETE, M.E.; 1992. Estudios poblacionales sobre *Coroebus undatus* (Fabricius) (Col.: Buprestidae) en alcornocales de Andalucía Occidental. I: Relación infestación-bosque. *Bol. San. Veg., Plagas* 18, 377-383.

SUÑER, D.; ABÓS, L.; 1994. Estudio de la infestación de *Coroebus undatus* (Fabricius)(Col., Buprestidae) en los alcornocales catalanes. *Sci. Gerundensis* 20, 45-53.

UNDERCORK; 2019. Gestão integrada da cobrilha da cortiça. *Programa de Desarrollo Rural 2014-2020*. Unión Europea. XX Feira do Montado, Portel, 29-NOV-2019. 24 pp. <https://www.unac.pt/index.php/id-i/grupos-operacionais-accão-1-1-pdr2020/undercork>.

UNIVERSIDAD DE SEVILLA; 2010. *Desarrollo de un plan de lucha integrada para la culebrilla del corcho, Coroebus undatus: resultados 2009*. 12 pp. [https://www.miteco.gob.es/ca/biodiversidad/formacion/present\\_universidad\\_sevilla\\_tcm34-155559.pdf](https://www.miteco.gob.es/ca/biodiversidad/formacion/present_universidad_sevilla_tcm34-155559.pdf).

VUTS, J.; WOODCOCK, C.M.; SUMNER, M.E.; CAULFIELD, J.C.; REED, K.; INWARD, D.J.; LEATHER, S.R.; PICKETT, J.A.; BIRKETT, M.A.; DENMAN, S.; 2016. Responses of the two-spotted oak buprestid, *Agrilus biguttatus* (Coleoptera: Buprestidae), to host tree volatiles. *Pest Manag. Sci.* 72, 845-851.

WACHTENDORF, W.; 1955. Beiträge zur Kenntnis der Eichenprachtkäfer *Agrilus biguttatus* Fabr und *Coraebus undatus* Fabr (Col.: Buprestidae). *Z. für Angew. Entomol.* 37, 327-339.

WANG, X.Y.; YANG, Z.Q.; GOULD, J.R.; ZHANG, Y.N.; LIU, E.S.; 2010. The biology and ecology of the emerald ash borer, *Agrilus planipennis*, in China. *J. Insect Sci.* 10, 128.