



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

REVISIÓN SISTEMÁTICA:
FEROMONAS GENÉRICAS DE CERAMBÍCIDOS

Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniera Agrónoma y al Grado de
Magíster en Ciencias Agropecuarias

FERNANDA MORALES LOBOS

Director de Tesis/AFE
Tomislav Merko Frane Curkovic Sekul

Profesores consejeros
Gabino Reginato M.
Luis Sazo R.

SANTIAGO - CHILE
2022

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

Revisión Sistemática: Feromonas Genéricas de Cerambícidos

Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al Título Profesional de Ingeniera Agrónoma y al Grado de Magíster en Ciencias Agropecuarias

FERNANDA MORALES LOBOS

	Calificaciones (Memoria de Título)	Calificaciones (Tesis de Grado)
DIRECTOR DE TESIS/AFE		
Tomislav Curkovic S. Ingeniero Agrónomo, Ph.D.	6,7	6,7
PROFESORES CONSEJEROS		
Gabino Reginato M. Ingeniero Agrónomo, MS.	6,3	6,3
Luis Sazo R. Ingeniero Agrónomo.	6,7	6,7

Santiago, Chile
2022

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, mis hermanos, Catalina, Benjamín y Valentín; a mis padres, Ximena y Marcelo, por habernos inculcado el gusto por la naturaleza, las plantas y los animales. A ellos que me han acompañado, apoyado y aconsejado, aun cuando las circunstancias de la vida no fueron las mejores, aun cuando los ánimos nos faltaban a todos, aun cuando la fuerza escaseaba y parecía que la energía y la tranquilidad ya no volvería, aun con todo eso, bien supimos mantenernos, apoyarnos entre todos y salir adelante. A mi madre por tener la paciencia que tuvo y sigue teniendo, por su cariño, dulzura, y por guiarme y orientarme tanto en la vida y estudios. A mi padre, que sé que estaría orgulloso de la familia que somos, de lo que hemos logrado, y de lo que he logrado, ya que fue el quien me dijo repetidamente, al momento de postular cuando aún estaba indecisa: “Agronomía en la Chile, Agronomía en la Chile...”

A mis amigos de siempre, Nicole, Verónica, Moya, Camilo y Chelo, por tantas risas y buenos momentos desde tantos años, por prestarme el hombro cada vez que los necesité, y porque, considerando lo poco que nos vemos, se que puedo contar con ellos y que el cariño se ha mantenido todo este tiempo.

A mis amigos de la facultad, Ariel, Camila, Constanza, Valentina, Bryan y Francisco, por la compañía y apoyo mutuo en estos seis años, las horas de estudio antes de cada evaluación y, por supuesto, las tan buenas celebraciones luego de cada evaluación.

A Ismael porque sin su compañía y preocupación, no estaría donde ahora estoy, y probablemente, ni siquiera estaría.

A mi profesor, Tomislav, por toda la valiosa información y conocimiento que me entregó desde sus ramos de pregrado, hasta esta última etapa de mis estudios.

Y a tantas otras personas que mi torpe memoria no me permite recordar en este preciso instante.

DEDICATORIA

A mis padres, Marcelo Iván Morales Floody y
Ximena del Pilar Lobos Herrera, por todo.

ÍNDICE

RESUMEN	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
MATERIALES Y MÉTODOS	4
Materiales	4
Metodología	4
Búsqueda inicial	4
Búsqueda sistemática	4
Organización de la información	5
RESULTADOS	8
Metodología de los experimentos	9
País de origen y año de publicación	9
Trampas	10
Compuestos feromonales	12
Taxonomía de cerambícidos y conservación de feromonas	15
DISCUSIÓN	22
Publicaciones, año y país de origen	22
Trampas	22
Taxonomía de cerambícidos y conservación de compuestos feromonales	23
Situación en Chile	27
CONCLUSIONES	29
BIBLIOGRAFÍA	30

Índice de cuadros

Cuadro 1. Listado de publicaciones utilizadas en la revisión sistemática.....	8
Cuadro 2. Compuestos feromonales utilizados en los ensayos de campo, respuesta atrayente y el número de veces que fueron tratamientos, considerando todas las publicaciones.....	13-14
Cuadro 3. Taxonomía, compuesto atractivo y tipo de feromona en los estudios revisados.....	16-20

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA en cuatro niveles del presente estudio.....	7
Figura 2. Cantidad de publicaciones sobre estudios de feromonas de cerambícidos por año en los últimos diez años (2011-2021).....	10
Figura 3. País de origen de los autores de las publicaciones de estudios sobre feromonas de cerambícidos en un periodo comprendido entre el año 2011 y 2021, y porcentaje de participación en las publicaciones incluidas en esta revisión. Donde N.E= No encontrado.....	11

RESUMEN

Las especies de la familia Cerambycidae constituyen un problema complejo para el sector silvícola y frutícola, debido a los hábitos alimenticios y conductuales de sus estados larvarios. Para su manejo eficiente se requieren métodos específicos e inocuos de detección, monitoreo y control de adultos, esto puede lograrse utilizando sus feromonas. Dentro de esta familia de coleópteros se ha reportado una alta conservación de feromonas, es decir, para más de una especie es atractiva una misma feromona, a estas se les conoce como “feromonas genéricas” y, para el ámbito agrícola y forestal, significan una adecuada alternativa para controlar cerambícidos. En la última década se ha estudiado la atractividad de feromonas identificadas de cerambícidos del hemisferio norte, con éxito en otras especies de las que se desconocen sus componentes feromonales. Desde estos estudios se recopila información sobre los componentes feromonales, las especies atraídas, la metodología usada y otros hallazgos. La metodología usada es similar, se identificaron los tres compuestos más utilizados, se observa una gran conservación de feromonas, y las utilidades de estas, como estudios de diversidad y para conocer patrones de actividad, tanto diarios como anuales, de las especies. Se sugiere el uso de feromonas genéricas, identificadas en ciertas tribus de otros países para estudios de cerambícidos pertenecientes a esos taxa en Chile.

Palabras clave: Cerambycidae, compuesto feromonal, biodiversidad, conservación de feromonas, manejo integrado de plagas.

ABSTRACT

Species of the Cerambycidae family constitute a complex problem for forestry and fruit industry, due to the feeding and behavioral habits of their larval stages. Efficient management requires methods of detection, monitoring and control of adults, which are specific and innocuous, this can be achieved by using their pheromones. Within this family of Coleoptera, a high conservation of pheromones has been reported, which implies that the same pheromone is attractive to more than one species, these pheromones are known as "generic pheromones" and for agriculture and forestry they are a suitable alternative to control cerambycids. In the last decade, the attractiveness of pheromones identified from northern hemisphere cerambycids has been studied successfully in other species whose pheromonal components are unknown. From these studies, information on the pheromonal components, the attracted species, the methodology used and other findings have been compiled. The methodology used is similar, the three most used compounds were identified, a great conservation of pheromones was observed, and the utilities of these, such as diversity studies and to know activity patterns, both daily and annual, of the species. The use of generic pheromones, identified in certain tribes of other countries, is suggested for studies of cerambycids of these taxa in Chile.

Key words: Cerambycidae, pheromonal compound, biodiversity, pheromone conservation, integrated pest management.

INTRODUCCIÓN

La productividad en la agricultura inicialmente se valió del funcionamiento del ecosistema, aprovechando los recursos e interacciones que este ofrecía (Lynde, 2020). Pero, ya que el aumento de la población trajo consigo una mayor demanda de alimentos, y la globalización propició la dispersión de plagas (Jeger *et al.*, 2011), se hizo necesario un cambio radical en la manera de ejercer la agricultura; ejemplo de esto es el uso de fertilizantes y plaguicidas sintéticos (Goulson, 2020), sustancias de diversa composición química, cuyo objetivo es controlar las poblaciones plaga, es decir, cualquier organismo que dificulte el crecimiento y desarrollo del cultivo (Ehler, 2006). Los plaguicidas sintéticos se presentaron, entonces, como una adecuada opción para tratar el aumento de plagas, pues son de bajo costo; de sencillo y cómodo uso; permiten un aumento en la producción; si son usados correctamente actúan eficazmente; presentan persistencia (Sánchez y Sánchez, 1985) y, al ser de amplio espectro, controlan varias especies de organismos plaga simultáneamente.

A pesar de sus ventajas, si no son usados con cuidado, estos productos pueden generar problemas mayores, como: contaminación ambiental; pérdidas de biodiversidad, generando un desequilibrio en poblaciones nativas y una inestabilidad en los ecosistemas (Vidal *et al.*, 2004); riesgo a la salud humana, si llegasen a ser ingeridos o en caso de exposiciones a plaguicidas por encima de las normas vigentes (Rojas *et al.*, 2000); dependencia a largo plazo de los productos, seguido de un aumento en los costos de producción (Contreras *et al.*, 2005), y el posible desarrollo de resistencia de las especies plaga. Esta se entiende como “el desarrollo de la habilidad para tolerar dosis altas de tóxicos, las cuales resultarían letales a la mayoría de los individuos en una población normal de la misma especie” (Badii y Almanza, 2007). El uso de insecticidas con un único sitio activo específico de acción; en dosis inadecuadas; del mismo ingrediente activo o de ingredientes activos pertenecientes al mismo grupo químico; en repetidas temporadas, o con igual mecanismo de acción, propician el desarrollo de la resistencia (Dittrich y Ernst., 1990). Esto es problemático, ya que inhabilita ingredientes activos o tipos de plaguicidas en las zonas tratadas con ellos, causando mermas en la producción.

Ante dichos problemas surgieron alternativas al control convencional, como los sistemas orgánicos o los tratados bajo un esquema de Manejo Integrado de Plagas, que combina e integra variadas herramientas de control y manejo (Moreno, 2000), como las feromonas. Estas se encuentran inmersas en la ecología química (Marante *et al.*, 2004), que estudia las relaciones químicas entre los seres vivos o entre ellos y su ambiente, y las respuestas causadas por estas relaciones, de modo que estas puedan ser usadas en favor de los sistemas productivos, sin perjuicios al ecosistema. Existen relaciones entre plantas o alelopatías (Blanco, 2006); entre vegetales y animales; e interacciones entre animales, con sustancias conocidas como semioquímicos. Estos son compuestos químicos o mezclas de ellos que sirven para transmitir mensajes entre individuos, intra o interespecíficos, para causar una reacción o respuesta, ya sea fisiológica o de comportamiento, en el individuo que recibió la señal química (Cortez, 2013). Se dividen en dos grandes grupos: los aleloquímicos y las feromonas.

Las feromonas que sirven en ambientes terrestres son sustancias químicas, volátiles, compuestas por varios tipos de moléculas (mezcla), emitidas por los insectos y otros animales, con el fin de comunicarse con individuos de su misma especie y obtener una interacción o respuesta de ellos (Wyatt, 2017). Este sistema de comunicación se caracteriza, también, porque usando varias especies los mismos compuestos feromonales, las señales difieren, según las proporciones relativas de los mismos en la mezcla o por la adición o sustracción de algunos. Las feromonas se clasifican según el tipo de respuesta que generen: de agregación, emitidas para formar agregaciones de individuos de ambos sexos, con el objetivo de, por ejemplo, sobrepasar la capacidad de resistencia de un hospedero y lograr colonizarlo (Chinchilla y Oehlschlager, 1992); de rastreo, usadas para indicar la ubicación de una fuente de alimento (Barán y Almirón, 2002); de alarma, que entregan la señal de un individuo amenazado; de distribución espacial, para señalar que un sustrato ya fue ocupado, y evitar competencia por recursos (Ramírez, 1996), y sexuales, para modificar conductas asociadas a la reproducción, tales como excitación, aproximación, cortejo y cópula.

La actividad específica de una feromona se asocia al uso de determinados componentes químicos como “mensaje único” o “exclusivo”, logrando así un alto grado de eficiencia en la comunicación y, a la vez, de aislamiento reproductivo en especies sincrónicas y simpátricas. Sin embargo, existen componentes feromonales que sirven a diferentes especies, las cuales los comparten en su mezcla específica. Entre especies emparentadas, ello es frecuente, de modo que se dice que estos componentes son conservados en un grupo (por ejemplo, dentro de un género), recibiendo la denominación de “feromonas genéricas”. Varios estudios han sido realizados en diversos lugares usando componentes feromonales identificados de una especie, y han resultado atraer a individuos de otras especies de la misma familia o incluso taxas inferiores (subfamilia, tribu, género). Ello se ha reportado especialmente en la última década en la familia Cerambycidae, donde componentes de la feromona de una especie identificada, por ejemplo en Norteamérica, se evalúan individualmente y atraen a ejemplares de especies relacionadas, en regiones lejanas del mundo, como Asia o Europa. Por ejemplo, el monochamol y ketol son atrayentes de 95 y 112 especies distintas de cerambícidos, respectivamente (Hayes *et al.*, 2016; Wong *et al.*, 2017). Especies aisladas sincrónica y simpátricamente pueden compartir los mismos componentes feromonales al no haber coincidencia en su distribución espacial o temporal.

Los cerambícidos son una familia del orden Coleoptera, la cual posee alrededor de 34.000 especies identificadas a la fecha (Rossa y Goczał, 2021), con un número relevante de ellas económicamente importante para el área forestal y agrícola. Se comunican a través de feromonas sexuales producidas por hembras, o de agregación producidas por machos. Poseen antenas largas, lo que les da el nombre de longicornios (Allison *et al.*, 2004), su cuerpo es alargado y subcilíndrico, con presencia o ausencia de pelos; pueden ser de diversos colores (Peña, 1996). Su importancia radica en sus larvas, pues son xilófagas, algunas ampliamente polífagas y voraces, por lo cual se les conoce también como “taladradores” o “sierras” y, en condiciones de alta presión de la plaga, pueden incluso matar al hospedero. Se alimentan de tejidos leñosos vivos o muertos, estructuras como tallos, raíces y ramas (Haack *et al.*, 2017). Se desarrollan en el interior del hospedero leñoso durante meses a años, consumiendo el floema y/o xilema (albura, duramen); también existe un bajo número de especies que no cumplen con este patrón de comportamiento, y que se alimentan de restos vegetales, de hojas o del exterior de las raíces (Shin *et al.*, 2021).

OBJETIVOS

Objetivo general

Realizar una revisión sistemática de las investigaciones publicadas en los últimos diez años, referidas al estudio de las feromonas genéricas en la familia Cerambycidae (Coleoptera).

Objetivos específicos

1. Caracterizar la metodología empleada en estudios de feromonas.
2. Identificar los compuestos feromonales conservados dentro de la familia, y más utilizados en los estudios.
3. Reconocer la conservación de las feromonas genéricas de cerambícidos, tomando en consideración su filogenia.
4. Relacionar los compuestos identificados en cerambícidos con las especies chilenas consideradas plaga, así como también las especies nativas del país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Se obtuvo información a través de la biblioteca digital de la Universidad de Chile (<https://www.uchile.cl/bibliotecas>), que incluye bases de datos, repositorios, tesis, libros electrónicos, monografías, revisiones, revistas especializadas, entre otros. Se utilizaron las bases de datos disponibles en la biblioteca digital: ISI – Web of Science, Scopus, Science Direct, Wiley y Springer, y la base de datos de Google Scholar y el repositorio de publicaciones de Sci-Hub.

Metodología

Se realizó una revisión sistemática de las publicaciones científicas, relacionadas con la ecología química de cerambycidos, específicamente aquellas que abordan las feromonas genéricas de estas especies y sobre estudios de campo que prueban la eficacia de dichas feromonas. Para la elaboración de esta revisión se sucedieron distintas fases, siguiendo como guía el reglamento de la declaración PRISMA (Figura 1) para revisiones sistemáticas (Moher *et al.*, 2009).

Búsqueda inicial

Se realizó durante el mes de agosto del año 2021, usando las bases de datos que ofrece la Universidad de Chile; se recurrió inicialmente a quince de ellas. Se utilizaron los siguientes términos en la búsqueda inicial: *generic pheromone*, *cerambycid*, *cerambycidae*, *biodiversity*, *chemical ecology*, *insect trapping*, *trapping of volatiles* y *gas chromatography*. Además, se utilizaron los operadores booleanos AND, OR y NOT, según conviniera. Esta búsqueda entregó una gran cantidad de publicaciones, muchas de las cuales se encontraron duplicadas o repetidas, o fueron poco útiles para la revisión.

Búsqueda sistemática

Durante septiembre y octubre del año 2021, se recurrió a las bases de datos que ofrecieron mejores resultados: ISI – Web of Science, Scopus, Springer, Science Direct y Wiley; la búsqueda se acotó a los últimos diez años, desde el año 2011 (inclusive) hasta el año 2021. La combinación de términos y operadores booleanos que arrojó resultados más precisos en las bases de datos fue: ((*generic pheromone*) AND (*cerambycid*) OR (*cerambycidae*)); esto excepto para el buscador de Wiley, que no arrojó ningún resultado con dicha combinación,

por lo que se utilizó: ((*generic pheromone*) AND (*cerambycid*)). No se consideraron las lenguas asiáticas en la búsqueda, por la dificultad de traducción y comprensión; se realizó, también, una búsqueda superficial con los términos en el idioma italiano y portugués, pero no arrojó resultados significativos, o bien, los textos encontrados se repetían utilizando los términos en inglés. Por ende, se empleó únicamente el idioma inglés, mayoritariamente usado para las publicaciones científicas, donde se obtuvieron los mejores resultados. Se obtuvo un total de 337 artículos, considerando las cinco bases de datos, y un artículo más en Google Scholar. Luego se procedió a seleccionarlos según los siguientes criterios.

Criterios de inclusión:

- Estudios publicados en el periodo comprendido entre enero del año 2011 y agosto del 2021.
- Publicaciones que tratan sobre investigaciones empíricas y no sobre revisiones o capítulos de libros.
- Estudios que evalúan la atracción de cerambícidos hacia feromonas mediante ensayos de campo.
- Estudios que especifican qué feromonas se utilizaron y en qué especies de cerambícidos fueron identificadas previamente.

Criterios de exclusión:

- Estudios que tratan sobre la identificación de feromonas de una única especie.
- Estudios que evalúan la atracción hacia feromonas de una única especie en campo.
- Estudios que evalúan la atracción hacia feromonas únicamente mediante pruebas de laboratorio.

Según estos criterios, se preseleccionaron las publicaciones y se consideraron adecuadas 79, luego de eliminar 240, por la lectura del título, y 18 que se encontraban duplicados. Posteriormente, con la lectura del resumen se eliminaron 44 artículos; las razones específicas de su eliminación se encuentran listadas en la Figura 1. Finalmente, se utilizó un total de 35 artículos, lo cuales cumplían con los criterios de inclusión. La gran mayoría de los artículos se encontraban disponibles en las bases de datos, sin embargo, algunos de ellos tenían el acceso bloqueado o restringido a membresías pagadas, por lo que se recurrió al repositorio Sci-Hub (<https://sci-hub.se/> o <https://sci-hub.ee/>), el cual permite acceder gratuitamente a las publicaciones al ingresar el DOI de estas.

Organización de la información

Se realizó una extracción de la información de las publicaciones, esta fue organizada en los siguientes ítems: año de publicación, lugar de estudio, duración, objetivo del estudio, metodología (tipo de trampa, tipo de emisor feromonal), compuestos feromonales utilizados y su procedencia, y resultados. En este último ítem, se organizó la información considerando la taxonomía de las especies (subfamilia, tribu, género y especie), y el compuesto feromonal al que fue atraída significativamente la especie.

Compuestos feromonales. Los tratamientos de los estudios seleccionados fueron en su mayoría compuestos feromonales ya identificados previamente en otras especies de cerambícidos, sin embargo, algunos tratamientos consistían en compuestos volátiles provenientes de hospederos; dichos tratamientos no fueron considerados en la revisión sistemática.

Se listaron todos los tratamientos basados en compuestos feromonales, cada uno de ellos fue buscado en la base de datos PubChem (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>), para corroborar sus sinónimos y evitar repeticiones del mismo compuesto nombrado de distinta manera, como el caso del compuesto (E)-6,10-dimethyl-5,9-undecadien-2-ol que también se conoce con el nombre de fuscumol. Se registró la cantidad de veces que fue usado cada compuesto dentro de todos los estudios. Se consideraron como compuestos distintos aquellos que corresponden a estereoisómeros, que son compuestos químicos que poseen la misma secuencia de enlace, pero difieren en su disposición espacial de átomos o grupos funcionales (Seijas y Vázquez, 2012), como el caso del compuesto (S)-3-hydroxy-2-hexanone con su estereoisómero (R)-3-hydroxy-2-hexanone.

Taxonomía de cerambícidos. No todas las publicaciones mencionaban la clasificación taxonómica de las especies investigadas; en estos casos, se recurrió a bases de datos como “Catalogue of Life” (<https://www.catalogueoflife.org/>), “The Pherobase” (<https://www.pherobase.com/>) y “Coleoptera Neotropical” (<http://www.coleoptera-neotropical.org/>).

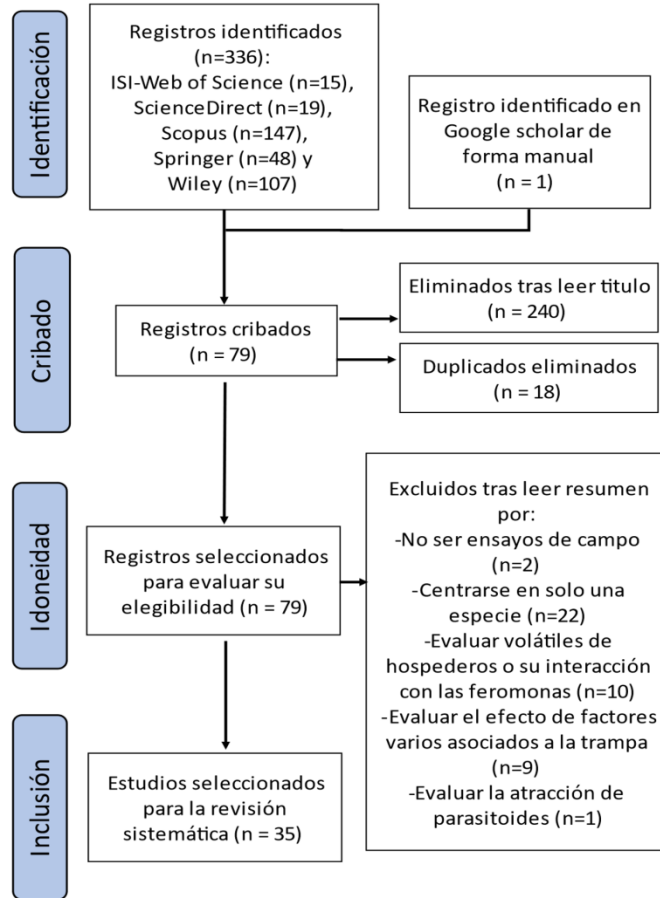


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA en cuatro niveles de la presente revisión.

RESULTADOS

En el Cuadro 1 se encuentran las 35 publicaciones utilizadas en la revisión; se muestra el primer autor o ambos en el caso en que eran solo dos; año y revista de publicación; con su impacto medido según el Impact Factor™ obtenido de la base de datos ISI – Web of Science, revisado el 20 de octubre del año 2021. Las publicaciones se encuentran ordenadas según el impacto de sus revistas, siendo la de mayor impacto “Ecological Indicators” y la de menor “The Canadian Entomologist”.

Cuadro 1. Listado de publicaciones utilizadas en la revisión sistemática.

Autor(es)	Año	Revista	Impacto
Brodie <i>et al.</i>	2019	Ecological Indicators	4.958
Silva <i>et al.</i>	2017	Frontiers in Ecology and Evolution	4.171
Ray <i>et al.</i>	2014	PLoS One	3.240
Wickham <i>et al.</i>	2021	Insects	2.769
Silva <i>et al.</i>	2020		
Hoch <i>et al.</i>	2020	Management of Biological Invasions	2.663
Molander <i>et al.</i>	2019	Journal of chemical ecology (4)	2.626
Ray <i>et al.</i>	2012		
Silva <i>et al.</i>	2018		
Diesel <i>et al.</i>	2017		
Aguirre <i>et al.</i>	2021	Agricultural and Forest Entomology	2.509
Hayes <i>et al.</i>	2016	Journal of Economic Entomology (9)	2.381
Wong <i>et al.</i>	2012		
Fierke <i>et al.</i>	2012		
Wickham <i>et al.</i>	2014		
Ray <i>et al.</i>	2015		
Miller <i>et al.</i>	2015		
Wickham <i>et al.</i>	2016		
Millar <i>et al.</i>	2017		
Hanks <i>et al.</i>	2018		
Silva <i>et al.</i>	2021	Environmental Entomology (5)	2.377
Allison <i>et al.</i>	2012		
Hughes <i>et al.</i>	2016		
Halloran <i>et al.</i>	2018		
Bobadoye, <i>et al.</i>	2018	Entomologia Experimentalis et Applicata	2.25
Silva <i>et al.</i>	2019		
Mitchell <i>et al.</i>	2011	Annals of the Entomological Society of America	2.099
Handle <i>et al.</i>	2015		
Barbour <i>et al.</i>	2011	Chemoecology	1.725
Hanks and Millar	2013		
Mitchell <i>et al.</i>	2012	Zeitschrift für Naturforschung C	1.649
Imrei <i>et al.</i>	2013		
Rassati <i>et al.</i>	2021	Insect science	1.325
Macias-Samano <i>et al.</i>	2012	The Canadian Entomologist	0.973
Ryall <i>et al.</i>	2015		

Metodología de los experimentos

Las publicaciones incluidas en esta revisión tenían diversos objetivos, tales como: evaluar la atracción de las especies hacia los compuestos feromonales; determinar los patrones de actividad diarios y anuales de cerambícidos; identificar la diversidad, abundancia y riqueza de cerambícidos dentro de un lugar determinado; generar o probar modelos de ocupación para predecir la distribución de los individuos en un hábitat o territorio; testear la inhibición de ciertos compuestos en compañía de otros, utilizando compuestos ópticamente diferentes o volátiles de plantas hospederas; conocer los métodos utilizados por cerambícidos con el mismo compuesto feromonal para mantener su aislación reproductiva, y generar herramientas de manejo y control de plagas.

País de origen y año de publicación

Considerando los lugares en los que se realizaron los ensayos de campo de cada estudio, se destaca que algunas publicaciones realizaron estudios en más de un país, como es el caso de Rassati *et al.* (2021), quienes realizaron en un mismo año un experimento en Italia y otro en Canadá. Se evidencia que el país con mayor cantidad de estudios corresponde a Estados Unidos, con un total de 18 publicaciones, lo que significa casi la mitad de los experimentos realizados. Luego se encuentra Brasil, con cinco experimentos, Canadá y China con tres, y el resto de los países (Australia, Austria, Italia, Hungría, Perú, Rumania, Reino Unido, Suiza y Kenia) con solo un experimento.

Se encontró que la gran mayoría de los sitios de estudios corresponden a reservas naturales: bosques nacionales; estaciones experimentales, como es el caso del Forest Science Experimental Station of the University of São Paulo (Silva *et al.*, 2021), el Atlantic Rain Forest de la misma universidad (Silva *et al.*, 2018) o el Acadia Research Forest (Canadá) (Ryall *et al.*, 2014), y reservas de vida salvaje, como la Sacramento River National Wildlife Refuge, en California (Ray *et al.*, 2014), las que podían o no tener algún tipo de manejo forestal. Hubo estudios que utilizaron sitios variados: Mitchell *et al.* (2011) montaron sus ensayos en cuatro sitios, un humedal, un área residencial, un aserradero y un bosque natural, todos en Texas; Hoch *et al.* (2020) utilizaron el puerto de Viena (Hafen Wien). También se realizaron estudios en granjas (Ray *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2017), y bosques urbanos, como el de Nairobi (Kenya) (Bobadoye *et al.*, 2019) y el de New Hampshire (Estados Unidos) (Millar *et al.*, 2017). Solo se halló un caso cuya finalidad fue estudiar una situación exclusivamente productiva, en un huerto de lúpulo (*Humulus lupulus L.*) en Idaho (Barbour *et al.*, 2011). Todos los sitios utilizados fueron seleccionados bajo el criterio de presencia o incluso infestación de las especies de cerambícidos de interés.

En cuanto a la cantidad de publicaciones por año, dentro de la última década se observa un *peak* en el año 2012, y un abrupto descenso para los años posteriores (Figura 2). La curva presenta un comportamiento fluctuante, variando desde las 5 a las 2 publicaciones por año. Además, se puede notar considerando un conjunto de años, que las cifras muestran una ligera tendencia creciente a partir del año 2014.

Se consideró como lugar de procedencia u origen de los autores, al país en donde estudiaron o bien, al país en donde se desempeñan como académicos en la actualidad, de acuerdo a la afiliación señalada en el documento. Se identificaron 125 autores diferentes; no fue posible hallar la de procedencia de dos de ellos (Figura 4); de 14 países de procedencia, EE.UU. posee la mayor cantidad de autores, cercano a la mitad de ellos.



Figura 2. Cantidad de publicaciones sobre estudios de feromonas de cerambrícidos por año en los últimos diez años (2011-2021).

Trampas

En 68,57% (24) de los estudios utilizaron trampas tipo *cross-vane flight intercept traps*, la mayoría de ellas de la empresa *AlphaScents* (OR, EE.UU.); el 14,29% (5) *multiple-funnel traps*, de 12 embudos por trampa (Hanks y Millar, 2013; Rassati *et al.*, 2021); 8,57% (3) de los estudios utilizó ambos tipos de trampas; el 2,86% (1) usó trampas *pitfall* en conjunto con trampas tipo *cross-vane flight intercept* (Barbour *et al.*, 2011), y la trampa *funnel trap* fue utilizada en solo un estudio (Ray *et al.*, 2014). Imrei *et al.* (2013) describen su trampa como *funnel traps* modelo VARb3 modificadas. El tipo de trampa utilizado está asociado a la disponibilidad de ellas y al comportamiento de los insectos objetivo, por ejemplo, el tipo *pitfall*, que corresponde a un contenedor ubicado a nivel del suelo con una abertura en su parte superior, a través de la cual caerán los insectos, es adecuado para capturar insectos cuyo hábito es principalmente caminador, lo cual no es frecuente en Cerambycidae, aunque si hay especies con dicho hábito, como los del género *Prionus*, de la subfamilia Prioninae. Por otro lado, las trampas tipo *cross-vane flight intercept traps* y *funnel trap* son más adecuadas para capturar insectos que se desplazan principalmente volando.

De los 35 estudios, 26 trataron sus trampas con Fluón, un fluopolímero que les da una característica resbaladiza a las superficies tratadas, con el objetivo de aumentar la eficiencia de captura de los insectos. En este sentido, los autores justifican dicha decisión en las publicaciones de Graham *et al.* (2010) y Allison *et al.* (2011), quienes probaron la utilidad del Fluon en la captura de insectos, sin efecto adverso sobre los insectos. De las restantes publicaciones, siete no usaron ningún producto; una trató las superficies de las trampas con Teflon (Hoch *et al.*, 2020), que causa un efecto similar al Fluon, y Brodie *et al.* (2019)

trataron sus trampas con Fluon, en los paneles de interceptación de la trampa, y con Rain-X (ITW Global Brands, Houston, Texas, U.S.A.) en el vaso colector, el cual también genera una superficie resbaladiza, impidiendo que los escarabajos capturados se escapen de la trampa, aumentando la eficiencia de captura.

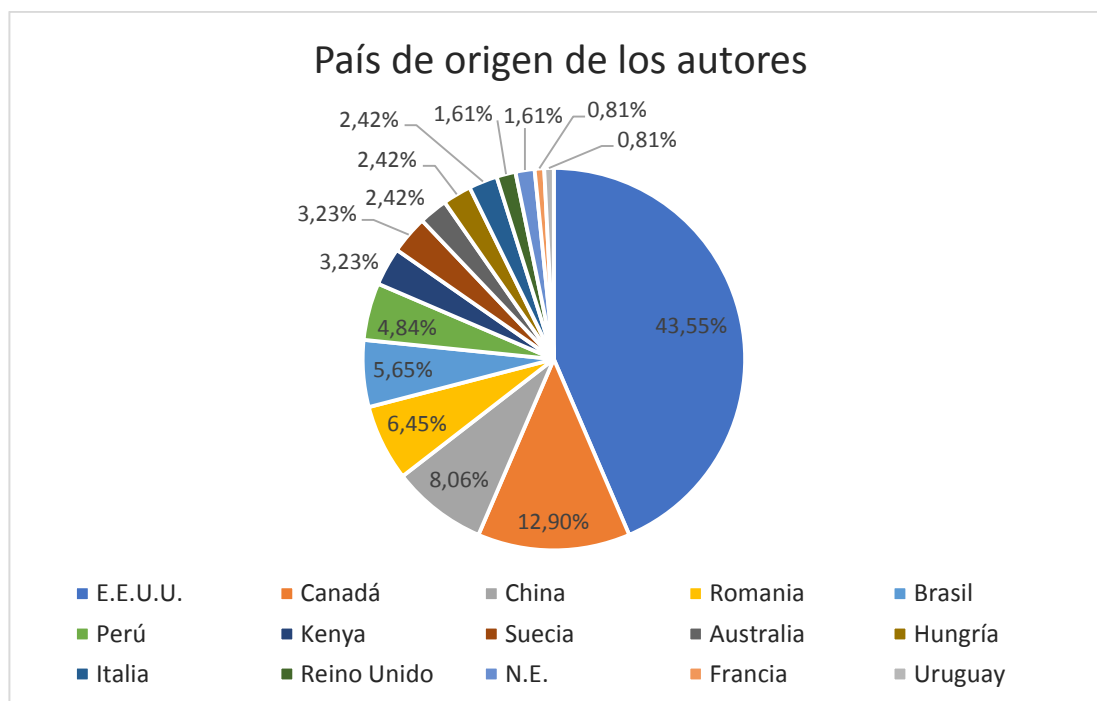


Figura 3. País de origen de los autores de las publicaciones de estudios sobre feromonas de cerambícidos en un periodo comprendido entre el año 2011 y 2021, y porcentaje de participación en las publicaciones incluidas en esta revisión. Donde N.E= No encontrado.

En cuanto a los conservantes y agentes insecticidas utilizados en los vasos colectores de las trampas, ocho experimentos usaron propileno glicol; cuatro una solución de agua, con sal y detergente; uno ambos elementos en combinación; dos una solución de agua con sal; dos etileno glicol; cuatro una solución de agua con detergente; uno una combinación de los últimos dos preservantes (Wickham *et al.*, 2014); uno una mezcla de agua con detergente y sal más etileno glicol (Rassati *et al.*, 2021); uno un insecticida en seco, consistente en un trozo de *red alpha-cypermethrin* (Storanet®; BASF Pflanzenschutz, Alemania) (Hoch *et al.*, 2020); uno utilizó como insecticida franjas de Ortho No-pest, cuyo ingrediente activo es diclorvos (Macias-Samano *et al.*, 2012), el que no se encuentra actualmente entre los plaguicidas autorizados en Chile (SAG, 2022), y uno usó un anticongelante que contiene propileno glicol (Splash RV & Marine Antifreeze; Miller *et al.*, 2015). Respecto a los detergentes utilizados en los estudios, en cinco de ellos se menciona que es detergente lavalozas, en uno que es un detergente inodoro y en los restantes no se especifica que tipo de detergente se usó.

Ocho experimentos no usaron agente preservante o insecticida en los vasos colectores, pues su objetivo fue capturar individuos vivos, evitar fuga de los insectos y aumentar su sobrevivencia, para posterior análisis de compuestos volátiles; las trampas en estos estudios fueron modificadas: cubriendo la trampa y su receptáculo con Fluon o Rain-X; con agujeros en los receptáculos, reemplazo del fondo con mallas de aluminio para permitir el drenaje del agua, o utilizando embudos y recipientes de un mayor volumen (1 ó 2 litros). No se evidencian modificaciones en las trampas para disminuir los ataques o canibalismo entre los individuos capturados en la trampa, sí se señala que los individuos fueron colectados con una mayor frecuencia, todos los días o cada dos días (Barbour *et al.*, 2011; Brodie *et al.*, 2019; Diesel *et al.*, 2017; Halloran *et al.*, 2018; Mitchel *et al.*, 2012; Ray *et al.*, 2012; Ray *et al.*, 2015; Wickham *et al.*, 2016). Finalmente, en dos de las publicaciones no se especifica el agente preservante usado (Imrei *et al.*, 2013; Mitchell *et al.*, 2011).

Compuestos feromonales

En total, se testearon 64 compuestos feromonales, ya sea compuestos individuales, sus estereoisómeros y las mezclas racémicas de ellos, es decir, una mezcla que tiene igual cantidad de un compuesto en su forma de enantiómero (+) y de enantiómero (-), lo que genera una mezcla ópticamente inactiva. Cabe destacar, que todos los compuestos mencionados son atractivos para al menos una especie de cerambícido (Cuadro 2), ya sea para especies identificadas en las publicaciones incluidas en esta revisión o en publicaciones previas. En el Cuadro 2 se encuentran listados todos los compuestos, acompañados de la cantidad de veces que se emplearon como tratamiento teniendo en cuenta los 35 estudios, se muestran agrupados según su estructura química. Se observa que a los grupos de fuscumol, hexanediol y 3-hydroxyhexan-2-one, pertenecen los compuestos más usados; dentro de este último grupo se encuentra el más probado, la mezcla racémica 3-hydroxyhexan-2-one, seguido por el compuesto monochamol, el cual es utilizado como compuesto feromonal por al menos 99 especies de cerambícidos pertenecientes a cinco subfamilias (Spondylidinae, Prioninae, Lepturinae, Lamiinae y Cerambycinae). Todos los compuestos mencionados fueron identificados previamente en otra especie de cerambícido, o bien, en otra especie de coleóptero, como es el caso del compuesto Ipsenol y el Ipsdienol, que originalmente se identificó como feromona de agregación en Curculiónidos, específicamente en escolitinos (Ryall *et al.*, 2014).

Las especies de cerambícidos utilizan mayoritariamente feromonas descritas como “de agregación” por sobre las feromonas sexuales (Cuadro 3), sin embargo, algunas publicaciones hallaron componentes que funcionaron como feromonas sexuales sobre los individuos, tal es el caso de la atracción ejercida únicamente hacia los machos de *Desmocerus*, género perteneciente a la subfamilia Lepturinae, por el compuesto (R)-desmolactona (Ray *et al.*, 2014); lo mismo sucede con el compuesto (2R*,3S*)-2,3-hexanediol el cual solo atrae a individuos macho de *Tragosoma depsarium* (L.) (subfamilia Prioninae) (Ray *et al.*, 2012).

Cuadro 2. Compuestos feromonales utilizados en los ensayos de campo, respuesta atrayente y el número de veces probados, considerando todas las publicaciones.

Compuesto	Número de veces	Atractivo	Total
Mono-chamol	13	Sí	13
Fuscumol	5	Sí	
Fuscumol acetate	7	Sí	
Racemic fuscumol	3	No	
Racemic fuscumol acetate	3	No	
R-fuscumol acetate	3	Sí	35
S-fuscumol acetate	3	Sí	
(R)-fuscumol	1	Sí	
(S)-fuscumol	1	Sí	
Racemic (E/Z)-fuscumol	4	Sí	
Racemic (E/Z)-fuscumol acetate	4	Sí	
(E)-fuscumol acetate	1	No	
2,3-hexanediol	3	Sí	
Anti-2,3-hexanediol	5	Sí	
Syn-2,3-hexanediol	6	Sí	
(2R,3R)-2,3-hexanediol	14	Sí	
(2R*,3S*)-2,3-hexanediol	8	Sí	47
(2S,3S)-2,3-hexanediol	6	Sí	
Racemic syn-2,3-hexanediol	4	No	
Racemic anti-2,3-hexanediol	1	No	
Syn-2,3-octanediol	3	No	
Anti-2,3-octanediol	3	No	
Racemic anti-2,3-octanediol	1	Sí	14
(2S,3R)-2,3-octanediol	1	Sí	
(2R*,3S*)-2,3-octanediol	2	Sí	
(2R*,3R*)-2,3-octanediol	3	Sí	
(2S,3S)-2,3-octanediol	1	No	
Racemic 3-hydroxyhexan-2-one	15	Sí	
3-hydroxyhexan-2-one	9	Sí	32
(R)-3-hydroxy-2-hexanone	6	Sí	
(S)-3-hydroxy-2-hexanone	2	Sí	
(R)-2-methyl-1-butanol	1	Sí	
(S)-2-methyl-1-butanol	1	No	10
2-methyl butanol	2	Sí	
Racemic 2-methylbutan-1-ol	6	Sí	

(continúa)

Cuadro 2. continuación

Compuesto	Número de veces		Total	
Racemic 3-hydroxyoctan-2-one	5	Sí	11	
3-hydroxy-2-octanone	6	Sí		
2,3-hexanedione	1	No	18	
Racemic 2-methyl-1-pentanol	1	No		
Decan-2-one	1	No		
2-Nonanone	2	Sí		
4-(heptyloxy)-butanal	1	No		
4-(heptyloxy)-butan-1-ol	1	No		
3,2-hydroxyketone	2	No		
Racemic (syn/anti) 2,3-alkanediol	1	No		
3,5-dimethyldodecanoic acid	1	Sí		
10-methyldodecanol	1	Sí		
Racemic 11-methyltridecanal	1	Sí		
Racemic 10-methyldodecanal	1	Sí		
3-hydroxydecan-2-one	4	No		
Prionic acid	1	Sí		21
Citral	2	Sí		
Geranyl acetone	3	Sí		
Hexanol	2	No		
Ipsenol	2	Sí		
Ipsidienol	1	Sí		
Racemic prionic acid	1	No		
Racemic desmolactone	1	No		
(S)-desmolactone	1	No		
(R)-desmolactone	1	Sí		
Pyrrole	4	Sí		
Semanopyrrole	1	Sí		
Thiopropanol	1	Sí		
Total compuestos= 63			201	

Se evidencia la conservación de feromonas entre especies nativas o endémicas de continentes distintos; ejemplo de ello es el 3-hydroxyhexan-2-one, utilizado por más de 70 especies, comprendidas en 12 tribus de la subfamilia Cerambycinae, cuyos hábitats o lugares de origen se encuentran en todos los continentes, con excepción de la Antártica, en donde no hay cerambícidos (Bobadoye *et al.*, 2019). Se observó, además, en algunos experimentos, a pesar de que las especies solo fueron atraídas a un componente, de todos los ofrecidos como tratamientos, sus números no fueron significativos, por lo que no se pudieron realizar los análisis estadísticos pertinentes que validaran la atracción de la especie a la feromona. Esto sucedió con algunas especies capturadas por Imrei *et al.* (2013), por ejemplo, seis individuos de *Pronocera angusta* Kriech fueron capturados durante el experimento solo en las trampas con 2-hexanone, lo cual no es suficiente para un análisis estadístico, pero si es sugerente y puede ser la base de nuevos estudios.

Taxonomía de cerambícidos y conservación de feromonas

De las 143 especies presentadas, 86 corresponden a la subfamilia Cerambycinae; 37 a Lamiinae, destacando en esta subfamilia la tribu Monochamini, con 17 especies; 12 a Prioninae; cuatro a Spondylinae, y, por último, tres especies de la subfamilia Lepturinae, todas pertenecientes al mismo género, *Desmocerus* (Cuadro 3). Se excluyeron del listado del Cuadro 3 los estudios de Handley *et al.* (2015), Silva *et al.* (2021) y Hoch *et al.* (2020), ya que testearon mezclas feromonales que bordeaban los 10 compuestos, por lo que no se pudo asociar una especie a un único compuesto, si no que a una mezcla compleja, información que no aplica para el objetivo de esta revisión.

De la totalidad de compuestos testeados, 42 son los que efectivamente atrajeron a las especies, es decir, el 66,6% de los compuestos. Una gran cantidad de las especies presentaron un comportamiento de agregación (atracción de ambos sexos) frente a las feromonas testeadas, lo que sugiere que quien emite la feromona en estas especies es el macho (Ray *et al.*, 2006). Por otro lado, las 15 especies pertenecientes a las subfamilias Prioninae y Lepturinae mostraron un comportamiento diferente, ya que solo los machos fueron atraídos a las trampas utilizadas, lo que indica que los compuestos corresponden a feromonas sexuales, y que solo son emitidos por las hembras de estas especies.

Los compuestos listados se identifican como feromonas de las especies que atrajeron, con excepción de lo sucedido con el lamiine *Acanthocinus princeps* (W.), perteneciente a la tribu Acanthocinini. Dicha especie fue atraída significativamente a dos compuestos, ipsdienol e ipsenol, que corresponden a feromonas de escolitinos, por lo que se describen como kairomonas respecto de su relación con dicho cerambícido (Macias-Samano *et al.*, 2012). Allison *et al.* (2001) explican que dicha relación puede deberse a que el cerambícido se alimente de la larva de escolitinos o que la presencia de este le indique al cerambícido la disponibilidad de material de hospedador. Cabe destacar que dentro de esta tribu, Acanthocinini, se han identificado feromonas en cinco especies, cada una perteneciente a un género distinto de la tribu (Hughes *et al.*, 2013; Meier *et al.*, 2016; Meier *et al.*, 2019).

Cuadro 3. Taxonomía, compuesto atractivo y tipo de feromona en los estudios revisados.

Subfamilia	Tribu	Compuesto	Tipo de Feromona
	Especie		
Cerambycinae			
	Anaglypitini		A
	<i>Cyrtophorus verrucosus</i>	3-ketol; 3R-ketol, (3R-ketol + 2-nonanone)	A
	<i>Microclytus compressicollis</i>	Racemic 3-hydroxyoctan-2-one	
	Bothriospilini		
	<i>Knulliana cincta</i>	Ketol, 3-ketol	A
	Callidiini		
	<i>Phymatodes aereus</i>	3-ketol + 2,3-diols, 3R-ketol	A
	<i>Phymatodes maculicollis</i>	3-ketol + R-octa+ etanol	A
	<i>Phymatodes testaceus</i>	3-ketol + R-octa + syn-diol; 3-ketol + 2,3-diols	A
	<i>Pyrrhidium sanguineum</i>	2-methyl-1-butanol + <u>Ketol</u>	A
	<i>Pyrrhidium alni</i>	2-methyl-1-butanol + <u>Ketol</u>	A
	<i>Pyrrhidium testaceus</i>	2-methyl-1-butanol + <u>Ketol</u>	A
	<i>Phymatodes aeneus</i>	3-ketol	A
	<i>Phymatodes amoenus</i>	(R)-2-methylbutan-1-ol	A
	<i>Phymatodes dimidiatus</i>	2-methylbutan-1-ol	A
	<i>Callidiellum villosulum</i>	(3-ketol + pyrrole)	A
	<i>Semanotus bifasciatus</i>	Pyrrole	A
	Callidiopini		
	<i>Bethelium tillides</i>	Ketol	A
	<i>Adrium especies*</i>	Ketol	A
	Clytini		
	<i>Xylotrechus australis</i>	Ketol	A
	<i>Xylotrechus stebbingi</i>	3-ketol	A
	<i>Xylotrechus colonus</i>	3R-ketol, 3S-ketol, S,S-diol, R,R-diol + R*,S*-diol, Fuscacet, citral, 3-ketol, ketol; (E/Z)-Fuscacet, (3-ketol + pyrrole)	A
	<i>X. atronotatus draconiceps</i>	Ketol	A
	<i>Xylotrechus incurvatus</i>	Ketol	A
	<i>Xylotrechus buqueti</i>	3-ketol + pyrrole	A
	<i>Xylotrechus sp. 10*</i>	Ketol	A
	<i>Megacyllene andesiana</i>	Anti-diol	A
	<i>Megacyllene caryae</i>	R,R-diol, syn-diol	A
	<i>Megacyllene acuta</i>	3-ketol + 2-methylbutan-1-ol, syn-diol	A
	<i>Megacyllene falsa</i>	3-ketol + 2-methylbutan-1-ol	A
	<i>Perissus mimicus</i>	Racemic anti-2,3-octanediol	A
	<i>Cotyclytus curvatus</i>	3R-ketol	A
	<i>Cotyclytus dorsalis</i>	3-ketol + 2-methylbutan-1-ol	A
	<i>Plagionotus detritus</i>	3-ketol + R-octa + syn-diol	A
	<i>Rhaphuma horsfieldi</i>	R,R-diol, R*,R*-K8	A(H)
	<i>Rhaphuma laosica</i>	R*,S*-diol	A

(continúa)

Cuadro 3. Continuación

Subfamilia			Tipo de Feromona
Tribu		Compuesto	
Especie			
Cerambycinae			
Clytini			
	<i>Demonax literatus literatus</i>	Ketol	A
	<i>Demonax gracilestriatus</i>	Ketol	A(M)
	<i>Demonax theresae</i>	R*,S*-K8	A
	<i>Demonax ordinatus</i>	R*,R*-K8	A(M)
	<i>Calanthemis conradti</i>	Ketol	A
	<i>Calanthemis hauseri</i>	Ketol	A
	<i>Calanthemis saltator</i>	Ketol	A
	<i>Calanthemis sp. 1*</i>	Ketol	A
	<i>Itaclytus olivaceus</i>	3-ketol	A
	<i>Neoclytus caprea</i>	3-ketol; 3R-ketol	A
	<i>Neoclytus mucronatus</i>	3-ketol; octa	A
	<i>Neoclytus m. mucronatus</i>	3-ketol, 3R-ketol	A
	<i>Neoclytus pusillus</i>	3-ketol	A
	<i>Neoclytus acuminatus</i>	syn-diol, R,R-diol	A
	<i>Neoclytus a. acuminatus</i>	2,3-diols; R,R-diol, syn-diol, S,S-diol	A
	<i>Neoclytus tenuiscriptus</i>	S,S-diol	A(H)
	<i>Neoclytus irroratus</i>	3R-ketol	A
	<i>Neoclytus m. modestus</i>	3R-ketol	A
	<i>Neoclytus conjunctus</i>	3R-ketol, 3-ketol	A
	<i>Neoclytus scutellaris</i>	3-ketol, octa	A
	<i>Neoclytus j. jouteli</i>	Syn-diol	A
	<i>Sarosestes fulminans</i>	3-ketol (en ausencia de R*,S*-diol); R*,S*-diol	A
	<i>Rusticoclytus annosus emotus</i>	3-ketol+ syn-diol + anti-diol	A
Compsocerini			
	<i>Orthostoma abdominale</i>	3-ketol	A
Currini			
	<i>Curius dentatus</i>	R*,S*-diol	A
Ehuriini			
	<i>Eburodacrys dubitata</i>	11-tridecanal	A(H)
	<i>Eburodacrys vittata</i>	10-dodecanal	A
	<i>Eburodacrys flexuosa</i>	10-dodecanal + 11-tridecanal (1:1)	A(H)
	<i>Eburodacrys lenkoi</i>	10-dodecanal + 11-tridecanal (1:1)	A(H)
Molorchini			
	<i>Molorchus umbellatarum</i>	R*,S*-K8	A
Obriini			
	<i>Obrium maculatum</i>	(E/Z)-Fusc+(E/Z)-Fuscacet; (Fusc+Fuscacet)	A
Oemini			
	<i>Psathyrus sp. 1*</i>	Ketol	A

(continúa)

Cuadro 3. Continuación

Subfamilia	Tribu	Compuesto	Tipo de Feromona
			Especie
Cerambycinae			
Dryobiini			
	<i>Dryobius sexnotatus</i> Linsley	3-ketol + pyrrole	A
Elaphidiini			
	<i>Anelaphus pumilus</i>	3-ketol	A
	<i>Anelaphus parallelus</i>	R,R-diol	A
	<i>Anelaphus villosus</i>	Syn-diol; R,R-diol	A
	<i>Allotraeus asiaticus</i>	Pyrrole	A
	<i>Elaphidion mucronatum</i>	Anti-diol	A
	<i>Ambonus distinctus</i>	3-ketol + pyrrole + thiopropanol	A
	<i>Ambonus electus</i>	3-ketol + pyrrole	A
	<i>Ambonus interrogationis</i>	3-ketol	A
	<i>Amorupi fulvoterminata</i>	Pyrrole	A
	<i>Stizocera consobrina</i>	2-nonanone + semanopyrrole, Pyrrole	A
Heteropsini			
	<i>Chrysoprasia aurigena</i>	3-ketol + pyrrole	A
	<i>Chrysoprasia linearis</i>	3-ketol	A
Ibidionini			
	<i>Heterachthes quadrimaculatus</i>	3-ketol; 2-nonanone + 10-dodecanol	A
	<i>Compsibidion graphicum</i>	10-dodecanol, (10-dodecanol + 10-dodecanal) (20:1)	A
	<i>Compsibidion sommeri</i>	10-dodecanol + 10-dodecanal (20:1)	A(H)
	<i>Tetraopidion mucoriferum</i>	10-dodecanol + 10-dodecanal (20:1), 10-dodecanol	
Tillomorphiini			
	<i>Euderces pini</i>	3-ketol	A
Trachyderini			
	<i>Ancylocera bicolor</i>	3-ketol+ syn-diol + anti-diol; anti-diol	A
Lamiinae			
Acanthoderini			
	<i>Acanthoderes quadrigibba</i>	(E/Z)-Fusc + (E/Z)-Fuscacet	A
	<i>Aegomorphus modestus</i>	(E/Z)-Fusc + (E/Z)-Fuscacet; (E/Z)-Fuscacet; Fuscacet; (S)-Fuscacet	A
	<i>Oreodera bituberculata</i>	Fusc	A
	<i>Discopus eques</i>	Fuscacet	
	<i>Psapharochrus maculatissimus</i>	(S)-Fuscacet, (S)-Fuscacet+ (R)-Fuscacet	A
	<i>Eupromerella plaumanni</i>	(R)-Fuscacet + (S)-Fuscacet	A(H)
	<i>Oplosia nubila</i>	Fuscacet	A(H)
Dorcaschematini			
	<i>Dorcaschema alternatum</i>	R*,S*-diol	A

(continúa)

Cuadro 3. Continuación

Subfamilia			
Tribu		Compuesto	Tipo de Feromona
Especie			
Lamiinae			
Acanthocinini			
<i>Hylettus seniculus</i>		(R)-Fuscacet	A
<i>Astylidius parvus</i>		(E/Z)-Fusc; (R)-Fusc	A
<i>Leptostylus transversus</i>		(E/Z)-Fusc	A
<i>Acanthocinus princeps</i>		Ipsdienol, ipsenol	Atrayente
<i>Styloleptus b. biustus</i>		Fusc + Fuscacet	A
<i>Astyleiopus variegatus</i>		(S)-Fusc + (S)-Fuscacet; (E/Z)-Fuscacet, (E/Z)-Fuscacet + (E/Z)-Fusc	A
<i>Astylopsis macula</i>		(E/Z)-Fusc + (E/Z)-Fuscacet; (S)-Fusc	A
<i>Graphisurus fasciatus</i>		(E/Z)-Fusc + (E/Z)-Fuscacet; (E/Z)-Fuscacet; (R)-Fusc + (R)-Fuscacet; Fuscacet	A
<i>Lepturges angulatus</i>		(E/Z)-Fusc + (E/Z)-Fuscacet; Fuscacet; (E/Z)- Fuscacet	A
<i>Lepturges confluens</i>		(E/Z)-Fusc + (E/Z)-Fuscacet	A
<i>Sternidius alpha</i>		(E/Z)-Fusc + (E/Z)-Fuscacet; (E/Z)-Fusc; Fusc	A
Monochamini			
<i>Acalolepta formosana</i>		Monochamol	A
<i>Pharsalia subgemmata</i>		Monochamol	A
<i>Pseudomacrochenus antennatus</i>		Monochamol	A(M)
<i>Xenohammus bimaculatus</i>		Monochamol	A(M)
<i>Monochamus carolinensis</i>		R,R-diol, monochamol	A
<i>Monochamus titillator</i>		R,R-diol + α -pinene, monochamol + α -pinene	A
<i>Monochamus spectabilis</i>		Monochamol	A
<i>Monochamus clamator</i>		Monochamol	A
<i>Monochamus obtusus</i>		Monochamol	A
<i>Monochamus bimaculatus</i>		Monochamol	A
<i>Monochamus urussovii</i>		Monochamol	A
<i>Monochamus marmorator</i>		Monochamol	A
<i>Monochamus saltuarius</i>		Monochamol	A
<i>Monochamus sutor</i>		Monochamol	A
<i>Monochamus scutellatus</i>		Monochamol	A
<i>Monochamus s. scutellatus</i>		Monochamol	A
<i>Monochamus notatus</i>		Monochamol	A

(continúa)

Cuadro 3. Continuación

Subfamilia Tribu Especie	Compuestos	Tipo de Feromona
Lepturinae		
Desmocerini		
<i>Desmocerus c. dimorphus</i>	(R)-Desmolactone	S
<i>Desmocerus a. cribripennis</i>	(R)-Desmolactone	S
<i>Desmocerus a. lacustris</i>	(R)-Desmolactone	S
Prioninae		
Megopidini		
<i>Megopsis costipennis</i>	R*,S*-K8	S
Meroscelisini		
<i>Tragosoma depsarium</i>	R,R-diol	S
<i>Tragosoma depsarium "harrisi"</i>	S,R-diol	S
<i>Tragosoma pilosicorne</i>	S,R-diol	S
Prionini		
<i>Prionus californicus</i>	3,5-decanoic acid	S
<i>Prionus lecontei</i>	3,5-decanoic acid	S
<i>Prionus linsleyi</i>	3,5-decanoic acid	S
<i>Prionus laticollis</i>	3,5-decanoic acid	S
<i>Prionus aztecus</i>	3,5-decanoic acid	S
<i>Prionus coriarius</i>	3,5-decanoic acid	S
<i>Prionus imbricornis</i>	3,5-decanoic acid; Prionic acid	S
<i>Prionus pocularis</i>	Prionic acid	S
Spondylidinae		
Asemini		
<i>Tetropium cinnamopterum</i>	(E/Z)-Fusc + (E/Z)-Fuscacet	A
<i>Tetropium schwarzianum</i>	(E/Z)-Fusc + (E/Z)-Fuscacet	A
<i>Tetropium abietis</i>	(S)-Fusc	A
<i>Asemum nitidum</i>	(S)-Fusc + Geranylacetone	A
<i>Asemum caseyi</i>	Geranylacetone	A

*Individuos a los que no se logró identificar por especie, solo por género.

Compuestos subrayados corresponden a los predominantes dentro de la mezcla feromonal. Algunos estudios evaluaron mezclas feromonales y otros compuestos individuales, por esto, en determinadas especies se da redundancia de compuestos.

Compuestos separados por “;” indican resultados de diferentes estudios.

Abreviaciones de los compuestos (si aplica): 3-ketol= racemic 3-hydroxyhexan-2-one; 3R-ketol= (R)-3-hydroxyhexan-2-one; 3S-ketol= (S)-3-hydroxyhexan-2-one; ketol= 3-hydroxyhexan-2-one; 2,3-diols= 2,3-hexanediol (4 estereoisómeros); syn-diol=syn-2,3-hexanediol; anti-diol=anti-2,3-hexanediol; R,R-diol= (2R,3R)-2,3-hexanediol; S,S-diol= (2S,3S)-2,3-hexanediol; R*,S*-diol= (2R*,3S*)-2,3-hexanediol; R*,R*-K8= (2R*,3R*)-2,3-octanediol; S,R-K8= (2S,3R)-2,3-octanediol; R*,S*-K8= (2R*,3S*)-2,3-octanediol; 11-tridecanal= Racemic 11-methyltridecanal; 10-dodecanal= Racemic 10-methyldodecanal; 10-dodecanol= 10-methyldodecanol; (E/Z)-Fuscacet= (E/Z)-Fuscumol acetato; (E/Z)-Fusc= (E/Z)-Fuscumol; (R)-Fuscacet= (R)-Fuscumol acetato; (S)-Fuscacet= (S)-Fuscumol acetato; (R)-Fusc= (R)-Fuscumol; (S)-Fusc= (S)-Fuscumol; 3,5-decanoic

acid= 3,5-dimethyldecanoic acid (4 estereoisómeros); Octa= 3-hydroxyoctan-2-one; R-Octa= racemic 3-hydroxyoctan-2-one.

Tipo de feromona: S= sexual; A= agregación; A(H)= agregación con predominancia de hembras; A(M)= agregación con predominancia de machos.

DISCUSIÓN

Publicaciones, año y país de origen

Los estudios se publicaron en 15 revistas diferentes, todas de alto impacto dentro de las respectivas disciplinas, de las cuales la mayoría corresponden a revistas especializadas en entomología o biodiversidad, contando ocho y cuatro respectivamente. El 88,5% de las publicaciones de esta revisión se encuentran en revistas especializadas en ecología química o entomología. Solo una revista no estaba directamente relacionada a alguno de estos tres temas mencionados, la revista PLoS One, que corresponde a una multidisciplinaria que publica investigaciones relacionadas con medicina y ciencia.

En casi todas las publicaciones realizaron sus experimentos en un único país de estudio, excepto tres (Hanks and Millar, 2013; Silva *et al.*, 2021; Barbour *et al.*, 2011), en donde se ejecutaron dos experimentos en países diferentes. Tomando en cuenta lo anterior, hubo 38 sitios de estudio, 30 de los cuales se ubicaron en el hemisferio norte, y los restantes en el hemisferio sur, lo cual coincide con la procedencia de los autores (Figura 4.), siendo un 84,8% del hemisferio norte, y un 13,71% del hemisferio sur. Al respecto, es relevante considerar que estudios como estos implican un esfuerzo económico, tiempo, mano de obra y disponibilidad de ciertos equipos, materiales y capacidad analítica para su ejecución (como algunos químicos); esta es, probablemente, la razón de porqué los países del hemisferio sur tienen menos estudios y desarrollo de estas herramientas.

En cuanto a la participación de autores en las publicaciones, estos fueron 125; dos autores participaron en 30 y 27 publicaciones, estos fueron J. G. Millar y L. M. Hanks, respectivamente; mientras que 100 autores participaron solo en una publicación; las publicaciones de los autores restantes oscilaron entre siete y dos. Ambos autores mencionados se destacan por su experticia en feromonas y taxonomía de cerambícidos, respectivamente. Se observaron asociaciones de trabajo entre autores, Millar y Hanks participaron juntos en 23 de las 35 publicaciones revisadas; dos de las publicaciones contaron con idéntico equipo de trabajo (Silva *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2017), ambas publicadas en revistas diferentes. Se observa que este corresponde a un campo que tiene algunos grupos consolidados de investigadores, y que genera interés en un número importante de académicos.

Trampas

Considerando los 36 estudios revisados, cuatro de ellos presentaron capturas para ciertas especies, aunque estas fueron no estadísticamente significativas según los parámetros estadísticos, por tanto no concluyentes, lo que impidió comprobar la atracción hacia los compuestos feromonales (Hanks y Millar, 2013; Aguirre *et al.*, 2021; Imrei *et al.*, 2013; Wickham *et al.*, 2021); esto podría sugerir, tal vez, que en dichas publicaciones hubo algún error metodológico asociado a las trampas, período en que se realizó el experimento o, incluso, a que las poblaciones de insectos hayan sido escasas en los lugares o épocas de

estudio. Dos de estos estudios utilizaron trampas tipo *crossvane panel trap* y dos tipo *funnel trap*; una de cada tipo estuvo cubierta con Fluon; las alturas utilizadas en estos experimentos variaron desde 1 metro a 18 metros, siendo 1 metro la altura más frecuente utilizada; también hubo diferencias en cuanto a los preservantes utilizados.

Dada la variedad de métodos usados, no es posible atribuir las capturas insuficientes a alguno de los factores mencionados. Además, cabe destacar que, a pesar de la información planteada, dichos estudios igualmente lograron relacionar las feromonas a otras especies donde sí tuvieron capturas significativas y que correspondían a las especies objetivo, por lo que se sugiere que las capturas insuficientes con ciertas especies no se deban a errores metodológicos, sino más bien a una diferencia de la temporalidad del experimento con el período de actividad de las especies o, incluso, con la magnitud poblacional de la especie en el lugar de estudio.

Respecto a las trampas, Graham *et al.* (2012) realizaron un estudio para evaluar la eficiencia de captura de *crossvane panel trap* y *multi-funnel trap* de 12 embudos, y de dos alturas diferentes, a 1,5 y a 3-10 metros sobre el suelo. Se encontró que algunas especies fueron capturadas exclusivamente en uno de ambos tipos de trampas, 11 y nueve especies para *crossvane panel trap* y *multi-funnel trap*, respectivamente; y que la primera trampa capturó 1,5 veces más insectos que la otra, lo cual valida el mayoritario uso de dicha trampa en los estudios revisados. Respecto de la altura de las trampas se concluyó que esta no es relevante para la mayoría de los cerambycidos que fueron capturados, excepto para dos especies, *Neoclytus m. mucronatus* y *Xylotrechus colonus*. La primera especie fue solo capturada en las trampas ubicadas a mayor altura; lo que no coincide estrictamente con la metodología utilizada en los estudios en los que fue capturada (Hanks and Millar, 2012; Hanks *et al.*, 2018), ya que ambas ubicaron sus trampas a dos metros sobre el suelo. En cuanto a *Xylotrechus colonus* fue capturado solo en la menor altura, lo que coincide con la altura de las trampas de los estudios en los que fue capturada, cabe destacar que esta especie fue atraída significativamente a más compuestos en la revisión (Diesel *et al.*, 2017; Hanks *et al.*, 2018; Hanks and Millar, 2012; Miller *et al.*, 2015; Mitchell *et al.*, 2011; Wong *et al.*, 2012). El uso de la correcta altura y tipo de trampas en los estudios de atracción feromonal podría influir fuertemente en los resultados de estos, por lo que es necesario tener conocimiento de ello, o bien, implementar ambos tipos de trampas y a diversas alturas para obtener resultados fidedignos.

Taxonomía de cerambycidos y conservación de compuestos feromonales

La familia Cerambycidae es uno de los grupos más diversos del orden Coleoptera y se compone de nueve subfamilias (Noguera, 2014), sin embargo, esta revisión contempló solo a cinco, y 4 de ellas no presentaron ninguna atracción significativa a los compuestos testeados: Parandrinae, Necydalinae, Dorcasominae y Apatophyseinae. Destaca entre las demás especies el cerambycine *Xylotrechus colonus* (F.), que entre todas las especies fue el que demostró atracción hacia más compuestos, con un total de 10 compuestos diferentes, cuatro de ellos testeados como mezcla de compuestos y no como compuestos únicos

(Diesel *et al.*, 2017; Hanks *et al.*, 2018; Hanks and Millar, 2013; Miller *et al.*, 2015; Mitchell *et al.*, 2011; Wong *et al.*, 2012).

Se observa una conservación de feromonas entre especies que pertenecen al mismo género, tribu e, incluso, entre especies de distintas subfamilias (Cuadro 3). Para un gran número de especies de la subfamilia Cerambycinae, los compuestos formados por seis carbonos, es decir, el 2,3-hexanediol y el 3-hydroxyhexan-2-one y sus estereoisómeros, resultaron atractivos, tanto como compuestos individuales (*Anelaphus villosus* (F.)), mezclas racémicas (*Orthostoma abdominale* (G.)) o en mezclas con otros compuestos (*Cotyclytus dorsalis* Laporte & Gory). Adicionalmente, el compuesto (2R,3R)-2,3-hexanediol fue atractivo para individuos de tres subfamilias distintas (Cerambycinae, Prioninae y Lamiinae). Ejemplo de esto último, son las tres siguientes especies, cada una perteneciente a las subfamilias antes mencionada: *Anelaphus parallelus* Newman, *Tragosoma depsarium* Linnaeus y *Monochamus carolinensis* Olivier.

Los compuestos Fuscumol, Fuscumol acetato, sus derivados y mezclas de ellos, predominan como compuestos feromonales atractivos dentro de la subfamilia Lamiine, y el compuesto monochamol dentro de la tribu Monochamini. Dentro de las cinco especies de la subfamilia Spondylidinae, cuatro de ellas fueron atraídas a compuestos como el Fuscumol y el Fuscumol acetato, y dos a un compuesto diferente, geranilacetona. Este último compuesto, junto a la desmolactona, la cual solo atrajo a tres especies del género *Desmocerus* (Lepturinae), fueron de los pocos que demostraron un comportamiento un tanto más “exclusivo”, es decir, no se observó una gran conservación en estos. Cabe destacar que, aun siendo atractivos para las especies, no todos los compuestos causaron la misma respuesta en estos. El (2R,3R)-2,3-hexanediol generó, en la mayoría de las especies para las que fue atractiva, una respuesta de tipo gregaria, atrayendo tanto machos como hembras; sin embargo, en el prionine *Tragosoma depsarium* (L.) causó una respuesta de tipo sexual, siendo atraídos únicamente machos, lo mismo sucede con las otras dos especies del mismo género (Ray *et al.*, 2012); al respecto, se puede decir que, los individuos de dicha subfamilia tienen un gran tamaño y sus hembras difícilmente vuelan, por lo que correspondería usar trampas de tipo *pitfall*, para asegurar una captura de individuos de ambos sexos de manera más homogénea.

Adicionalmente, algunos compuestos, si bien causaron una respuesta de agregación en todos los cerambycidos que atrajeron, en algunas especies la respuesta fue un tanto distinta, atrayendo en mayor medida a machos o a hembras; en Wickham *et al.* (2014) el 3-hydroxyhexan-2-one atrajo a más machos de *Demonax gracilestriatus*; lo mismo sucedió con su congénere *Demonax ordinatus* por el (2R*,3R*)-2,3-octanediol (Wickham *et al.*, 2014); en Ray *et al.* (2015) el (2S,3S)-2,3-hexanediol atrajo a más hembras de *Neoclytus tenuiscriptus*, al igual que la mezcla de 10-dodecanol y 10-dodecanal con el cerambycine *Compsibidion sommeri* (Silva *et al.*, 2020). Los autores señalan que, a pesar de la respuesta observada, esta debe ser tomada como algo preliminar, ya que, en general, se desconoce la estructura de la población de las especies, así como también el comportamiento de estas, referido a los tiempos de emergencia de ambos sexos en cada especie. Cuando se da esto último, puede suceder que sea del tipo protoginia o protoandria, en las cuales maduran o emergen primero las hembras o los machos, respectivamente. Para los insectos esto ya está

descrito, por ejemplo, en Cerambycidae, Pimentel *et al.* (2020) reportaron protoandria para *Monochamus scutellatus* y *M. carolinensis*, y protoginia para *M. galloprovincialis*.

En ciertos estudios, los tratamientos que fueron significativamente atractivos para las especies consistieron únicamente en mezclas de compuestos, lo que dificulta el identificar cuál de los compuestos corresponde al que es efectivamente atractivo para las especies. Por ejemplo, Boarbour *et al.* (2011) evaluaron la atractividad hacia la mezcla de los cuatro estereoisómeros de 3,5-dimethyldecanoic acid, y siete especies del género *Prionus* fueron atraídas a este; por su parte, *Plagionotus detritus* (L.) fue atraída a una mezcla de 4 componentes, los cuales no se evaluaron por separado (Rassati *et al.*, 2021), y lo mismo sucede con *Rusticoclytus annosus emotus* Brown (Millar *et al.*, 2017). Al respecto, puede ocurrir interacción entre los estereoisómeros, o la especie puede ser atraída a una forma en particular del compuesto por sobre las otras, es más, las otras formas químicas de este podrían no atraerle en absoluto (Cuadro 3, Cerambycinae; Wickham *et al.*, 2021). Otro ejemplo de esto es lo ocurrido con los compuestos (E/Z)-fusicumol y (E/Z)-fusicumol acetate, muy comúnmente actuando como mezcla en los tratamientos testeados.

Además, en algunos casos se da un antagonismo entre compuestos (Hanks *et al.*, 2018), pues las especies fueron más fuertemente atraídas a compuestos individuales que a la mezcla de ellos, indicando que un determinado compuesto ejercía dicho antagonismo sobre los otros, causando una menor atracción por parte del insecto. Por esto, hay que saber interpretar los resultados cuando los tratamientos son mezclas y, en el caso de que sea factible, sería adecuado realizar un estudio para clarificar dichas interacciones entre compuestos e identificar que rol cumple cada uno de ellos en la mezcla. Por otro lado, algunas especies mostraron ser atraídas únicamente por la mezcla de los compuestos, aun cuando estos se testearon por separado, ejemplo de esto es lo sucedido en la investigación de Silva *et al.* (2020), con 10-methyl dodecanal y 11-methyl tridecanal, y con los cerambycines *Eburodacrys flexuosa* Gounelle y *Eburodacrys lenkoi* Napp and Martins; o en Silva *et al.* (2018), donde los cerambycines *Cotylytus dorsalis* y *Megacyllene falsa* Chevrolat, fueron atraídos significativamente por la mezcla racémica de 3-hydroxyhexan-2-one + 2-methylbutan-o, pero no por cada uno de los compuestos por separado; lo mismo sucede con *Ambonus distinctus* Newman (Silva *et al.*, 2017), *Megacyllene acuta* Germar, *Cotylytus dorsalis* (Silva *et al.*, 2018).

La existencia de más de un estudio relacionado con una misma especie permite contrastar resultados y las respuestas de esta, lo que puede contribuir a aclarar a qué compuesto en específico la especie es atraída. Tal es el caso de lo sucedido con el cerambycine *Phymatodes testaceus* (L.), que se capturó e identificó en dos estudios distintos, y que fue atraída a dos mezclas diferentes en su composición excepto que ambas contenían la mezcla racémica de 3-hydroxyhexan-2-one, lo que sugiere que dicha especie es fuertemente atraída al compuesto mencionado (Rassati *et al.*, 2021; Hanks y Millar, 2013). Caso similar ocurre con *Rhaphuma horsfieldii* White, pues la mezcla racémica de 2,3-octanediol lo atrajo significativamente (Wickham *et al.*, 2014), aunque posteriormente se comprobó que su atracción era a una de las formas isoméricas del compuesto, el (2S,3R)-2,3-octanediol (Wickham *et al.*, 2021).

De lo anterior se desprende que, para desarrollar herramientas basadas en feromonas, ¿en Chile sería más útil probar mezclas de compuestos para evaluar la respuesta de los cerambícidos? ó ¿sería más adecuado probar compuestos individuales? Al menos para la realidad de la fauna chilena, con altos niveles de endemismo, y la dificultad para realizar estudios como los aquí analizados, quizás sería más útil probar compuestos individuales, y obtener la información de las respuestas de los insectos de manera más precisa, esto coincide con los estudios ya realizados en el país por el académico Tomislav Curkovic.

Algunos resultados de los aquí revisados no fueron consistentes; la atracción de *Neoclytus mucronatus* Fabricius hacia la mezcla racémica 3-hydroxyhexan-2-one fue detectada por Miller *et al.* (2015) pero no por Wong *et al.* (2012). Algo similar describió Millar *et al.* (2017) entre dos sitios de estudio con la especie *Ancylocera bicolor* Oliver. La explicación de los autores es que, incluso la atracción débil a ciertos compuestos se puede interpretar estadísticamente como una atracción fuerte, si es que no se encuentran entre los tratamientos testeados compuestos que efectivamente generen una atracción fuerte para la especie. Además, dichas diferencias podrían obedecer a factores como las variables asociadas a la trampa, su altura, la población de la especie en un determinado lugar, la diferencia en los hospedadores de la especie o incluso, el período experimental respecto del período de actividad de la especie. Por esto último, es recomendable que para los estudios de este tipo se considere un periodo experimental más extenso, de modo de abarcar los periodos de actividad de los insectos y así obtener resultados que concuerden con el comportamiento de las especies. Adicionalmente, Millar *et al.* (2017) y Rassati *et al.* (2021) encontraron que la respuesta no coincidió con lo esperado y no se observó una conservación de feromonas. Si bien ya se mencionaron factores que pueden causar esta variación geográfica de respuesta, Löfstedt (1990), luego de observar esta diferencia de respuesta en polillas, la explica según una variación genética dentro de poblaciones aisladas geográficamente: una de tipo “monomórfica”, en la que ambas poblaciones utilizan los mismos compuestos, pero en diferentes proporciones dentro de la mezcla feromonal, y una de tipo “polimórfica”, donde las poblaciones utilizan diferentes compuestos en su mezcla feromonal. Esta explicación también podría aplicar a ciertas poblaciones de cerambícidos que no cumplen con la conservación feromonal.

A pesar de que el monochamol corresponde a un compuesto evidentemente atractivo para las especies del género *Monochamus*, a *Monochamus titillator* no le atrajo significativamente, aunque sí fue atraída por la mezcla de monochamol + α -pinene (Alison *et al.*, 2012). Al respecto, α -pinene actúa como feromona de la familia Staphylinidae (Coleoptera) y compuesto volátil de diversas coníferas, y aumenta la atracción a los compuestos feromonales de las especies de cerambícidos (el Cuadro 3 no lo muestra ya que no fue el foco de esta revisión). Dentro de los estudios no fue el único compuesto que presentó dicho comportamiento: el etanol cumplió ese rol para *Phymatodes maculicollis* LeConte (Rasatti *et al.*, 2021); (R)-fusicumol acetato para *Psapharochrus culatissimus* (Silva *et al.*, (2019), y 2-nonanone para el cerambycinae *Cryptocorus verrucosus* (Mitchell *et al.*, 2012). Estos compuestos “sinergistas” no son atractivos para las especies cuando se encuentran solos, por lo que pueden ser compuestos que formen parte de la mezcla feromonal, pero en muy bajas cantidades, o que sea un volátil emitido por algún hospedero de la especie, actuando como una kairomona para el cerambícido.

Ante la conservación de compuestos feromonales, y el riesgo de que se efectúen cópulas interespecíficas, ¿cómo lo hacen las especies que comparten compuestos feromonales para mantener su aislación reproductiva, aun cuando cohabitan en un mismo espacio geográfico en un mismo tiempo? Al respecto, algunos compuestos actúan como antagonistas o inhibidores para determinadas especies, pudiendo ser compuestos estereoisómeros del compuesto principal de la mezcla o, bien, compuestos bastante diferentes entre ellos (Hanks *et al.*, 2019). Otras hipótesis para la aislación reproductiva están más asociadas al comportamiento de las especies, como la diferencia en sus periodos de actividad, tanto durante el año, así como durante un día; el uso de distintos hospederos o, incluso, dentro de un mismo hospedero, el uso de diferentes estratos o ubicación a diferentes alturas del árbol (Wickham *et al.*, 2021); los mismos autores generaron un modelo de predicción de la distribución de las especies en una provincia China, utilizando, además, variables como índice de área foliar y la pendiente del terreno.

Situación en Chile

La familia Cerambycidae se distribuye en el área insular y continental de Chile, exceptuando el territorio antártico. Se ha reportado la presencia de seis subfamilias de cerambícidos: Cerambycinae, Lamiinae, Lepturinae, Parandrinae, Prioninae y Necydalinae (Monné, 2016). En el ámbito agrícola y forestal destacan especies como los cerambycines exóticos *Phoracantha semipunctata* Fabricius y *Phoracantha recurva* Newman (Australia) y conocidos como “escarabajo taladrador del eucalipto”, que afectan a especies pertenecientes al género *Eucalyptus* (Ripa *et al.*, 2004; Urrutia *et al.*, 2005) y el “barrenador europeo de las casas” (*Hylotrupes bajulus* L.) (SAG, 2018) que ataca madera de pino insigne. Entre las especies nativas destacan por su impacto en frutales la “sierra del frambueso” (*Callisphyrus macropus*, Necydalinae) y la “sierra del manzano” (*Callisphyrus apicicornis* Fairmaire & Germain, Necydalinae) (Curkovic, 2008), de la cual se tiene evidencia conductual de comunicación a través de feromonas sexuales producidas por hembras de la especie (Curkovic y Ferrera, 2012).

En cuanto a los escarabajos taladradores del eucalipto, pertenecientes a la tribu Phoracantini, en los resultados de esta revisión no se identificó ninguna especie de dicha tribu (Cuadro 3). No obstante, dentro de la subfamilia a la que pertenecen las especies, varios de los compuestos feromonales atractivos son cadenas de seis carbonos más grupos funcionales, como el 3-hydroxy-2-one o el 2,3-hexanediol y todos sus respectivos estereoisómeros. Esto, si bien sugiere que sería adecuado realizar ensayos de campo utilizando dichos compuestos para evaluar la atracción del taladrador del eucalipto en Chile, cuando se han usado con este fin, no se han logrado capturas significativas de insectos de dicha tribu (Comunicación personal del profesor Tomislav Curkovic). Para las otras especies, conocidas como sierras, las tres de la subfamilia Necydalinae, no se pueden hacer mayores relaciones con los resultados obtenidos en esta revisión, ya que no se identificaron trabajos con especies la subfamilia.

También habitan en Chile otras especies de cerambícidos, nativos o endémicos, que son importantes a nivel de ecosistema, dado el rol que cumplen estos insectos en su entorno, como en la descomposición de la madera, lo que implica una preocupación a nivel agrícola

o forestal. Algunos de estos son: el cerambycine “lautarito” (*Lautarus concinnus* Philippi & Philippi); el lamiine “tinturita” o “cachudo” (*Azygocera picturata* Fairmaire et Germain); el cerambycine “taladro testáceo” (*Chenoderus testaceus* Blanchard in Gay); el cerambycine “taladrador o gusanera del roble” (*Holopterus chilensis* Blanchard in Gay), que ha causado un severo impacto en bosques de *Nothofagus alpina*, *Nothofagus dombeyi* y, principalmente, *Nothofagus obliqua*, especie valiosa a nivel comercial y de biodiversidad de los bosque del sur de Chile (Cabrera, 1997); el prionine “taladro magallánico” (*Microplophorus magellanicus* Blanchard) (Figueroa y Corales, 2018); el cerambycine “taladro del ñirre” (*Calydon submetallicum* Blanchard in Gay), el cual también puede afectar madera caída de pino insigne y pino oregón (Rojas y Gallardo, 2004); la “sierra del coihue” (*Callisphyrus semicaligatus* Philippi, Necydalinae); el polífago “taladrillo del peumo” (*Eryphus laetus* Blanchard; Cerambicinae), que afecta especies nativas, frutales y de importancia forestal (Artigas, 1994; Lanfranco y Ruiz, 2012), y la “madre de la culebra” (*Acanthinodera cummingi* Hope; Prioninae), una de las especies de insectos más reconocidas dentro del país, que se encuentra protegida por la Ley de Caza (SAG, 2019) y de la cual se dispone de poca información de su presencia y tamaño poblacional.

Exceptuando el cerambycine *Hylotrupes bajulus* (Reddy *et al.*, 2005), ninguna de estas especies ha sido asociada empíricamente a algún compuesto feromonal, es decir, se desconoce su ecología química. Sin embargo, dados los antecedentes de conservación de feromonas y las subfamilias a las que pertenecen, es posible que alguna de estas especies nativas de Chile comparta compuestos feromonales con algún cerambícido de otras regiones del mundo emparentados filogenéticamente, para los cuales sí se hayan identificado sus componentes feromonales, los cuales se podrían testear en Chile; por ejemplo, el taladrillo *Eryphus laetus* pertenece a la tribu Heteropsini, de la cual al menos dos especies ya han demostrado ser atraídas a un compuesto feromonal. Teniendo esto en cuenta, si bien el uso de feromonas es una excelente herramienta para monitorear y manejar las especies plaga, se debe usar con cuidado y teniendo conocimiento previo sobre la fauna del entorno, tal como señalan Brodie *et al.* (2019), cuyo experimento se realizó con el fin de generar una herramienta para manejar especies consideradas plaga y, a la vez, en conservación. Si la especie plaga comparte feromonas con alguna especie endémica o nativa, al usar la feromona se podría afectar negativamente la población de esta última, lo cual es muy relevante teniendo en cuenta el importante valor de estas especies en cuanto a biodiversidad y su rol en el ecosistema, como en la polinización (Hequet, 1996) y, principalmente, en la degradación de la madera. Considerando, además, que algunas especies han visto afectada su dinámica y su población debido a diversos factores, como la fragmentación del hábitat o la introducción de especies exóticas (Muñoz *et al.*, 2021), y el escaso conocimiento que se tiene de la entomofauna nativa sin importancia económica en Chile conocida, es vital tener un especial cuidado para conservar dichas especies.

CONCLUSIONES

Existe amplio conocimiento y gran similitud en la metodología utilizada por los diferentes estudios, aunque varía el tipo de trampa, los conservantes o agentes insecticidas de los vasos colectores.

Los compuestos feromonales más testeados en la última década son: el Monochamol, muy asociado a las especies de la tribu Monochamini; el (2R,3R)-2,3-hexanediol, compuesto feromonal de tres subfamilias distintas; y la mezcla racémica de 3-hydroxyhexan-2-one, muy presente en Cerambycinae. Los compuestos derivados del fuscumol y su acetato, han sido ampliamente testeados en estudios; atractivos para las especies capturadas de Spondylinae, así como también para especies pertenecientes a Lamiinae.

Hay una notable conservación de feromonas entre especies emparentadas filogenéticamente, de un mismo género o tribu, aunque también entre especies más lejanas, de distinta subfamilia. Aunque poco frecuente, hay especies que, aun perteneciendo a la misma subfamilia, no presentan una conservación feromonal.

Si bien, no fue posible relacionar las especies presentes en Chile con los compuestos feromonales, descritos en las publicaciones revisadas, hay tribus presentes en Chile, que utilizan feromonas genéricas testeadas en otras partes del mundo, lo que sugiere que dichos compuestos también podrían ser atractivos para las especies chilenas de la misma tribu, dada la conservación demostrada en esta familia de coleópteros. Para el desarrollo de herramientas basadas en feromonas debe generarse conocimiento de la ecología química de las especies de cerambícidos presentes en Chile.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, O. J., R. Paredes- Espinosa, R. Aguilar, I. Mezones, T.E. Guerrero, M.L. Monné, and J. Allison, J. 2021. Screening known Cerambycidae pheromones for activity with the Peruvian fauna. *Agricultural and Forest Entomology* 23(4): 506-511.
- Allison, J.D., J.H. Borden, R.L. McIntosh, P. De Groot, and R. Gries. 2001. Kairomonal response by four *Monochamus* species (Coleoptera: Cerambycidae) to bark beetle pheromones. *Journal of Chemical Ecology* 27: 633-646.
- Allison, J.D., J.H. Borden, and S.J. Seybold. 2004. A review of the chemical ecology of the Cerambycidae (Coleoptera). *Chemoecology* 14: 123–150.
- Allison, J. D., J.L. McKenney, J.G. Millar, J.S. Mcelfresh, R.F. Mitchell, and L.M. Hanks. 2012. Response of the woodborers *Monochamus carolinensis* and *Monochamus titillator* (Coleoptera: Cerambycidae) to known cerambycid pheromones in the presence and absence of the host plant volatile α -pinene. *Environmental entomology* 41(6): 1587-1596.
- Allison, J.D., C. Wood Johnson, J.R. Meeker, B.L. Strom, and S.M. Butler. 2011. Effect of aerosol surface lubricants on the abundance and richness of selected forest insects captured in multiple-funnel and panel traps. *Journal of Economic Entomology* 104: 1258–1264.
- Artigas, N. 1994. *Callideriphus laetus* Blanchard. p. 136-137. *In*: Artigas N. (ed.) *Entomología Económica*, Vol. 2. Santiago, Región Metropolitana, Chile.
- Badii, M. H., and V.G Almanza. 2007. Resistencia en insectos, plantas y microorganismos. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica* 4(18): 9-25.
- Barán, B., and M. Almirón. 2002. Colonia de hormigas en un ambiente paralelo asincrono. Centro Nacional de computación, Universidad de Asunción.
- Barbour, J. D., J.G. Millar, J. Rodstein, A. Ray, D. Alston, M. Rejzek, and L. Hanks. 2011. Synthetic 3, 5-dimethyldodecanoic acid serves as a general attractant for multiple species of *Prionus* (Coleoptera: Cerambycidae). *Annals of the Entomological Society of America* 104(3): 588-593.
- Blanco, Y. 2006. La utilización de la alelopatía y sus efectos en diferentes cultivos agrícolas. *Cultivos tropicales* 27(3): 5-16.
- Bobadoye, B., B. Torto, A. Fombong, Y. Zou, K. Adlbauer, L. Hanks, and J.G. Millar. 2019. Evidence of aggregation–sex pheromone use by longhorned beetles (Coleoptera: Cerambycidae) species native to Africa. *Environmental entomology* 48(1): 189-192.

Brodie, B. S., V.D. Popescu, R. Iosif., C. Ciocanea, S. Manolache, G. Vanau, and L. Rozyłowicz. 2019. Non-lethal monitoring of longicorn beetle communities using generic pheromone lures and occupancy models. *Ecological Indicators* 101: 330-340.

Cabrera, P. 1997. Impacto de *Holopterus chilensis* (Coleoptera: Cerambycidae) en renovales de *Nothofagus obliqua* en la provincia de Valdivia, Chile: avances hacia la evaluación del daño. *Bosque* 18(1): 9-19.

Chinchilla, C. M., and A.C. Oehlschlager. 1992. Comparación de trampas para capturar adultos de *Rhynchophorus palmarum* utilizando la feromona de agregación producida por el macho. *ASD Oil Palm Papers* 5: 9-14.

Contreras, I., O. Molina, and B. González. 2005. Negociación de los Pesticidas utilizados para el control de plagas y enfermedades-Rubro Papa. Municipio Rangel-Estado Mérida. *Visión Gerencial* (2): 99-116.

Cortez, V. 2013. Ecología química y perspectivas de su aplicación en la conservación de la biodiversidad. Universidad de Alicante, Centro Iberoamericano de la Biodiversidad.

Curkovic, T. 2008. La sierra del manzano: antecedentes biológicos y bases para el desarrollo del control de adultos. *Aconex*, 98: 10-14.

Curkovic, T., and C. Ferrera. 2012. Female calling and male flight orientation and searching behaviors in *Callisphyrus apicicornis*: evidence for a female-produced sex attractant pheromone. *Ciencia e Investigación Agraria: Revista Latinoamericana de Ciencias de la Agricultura* 39(1): 147-158.

Diesel, N. M., Y. Zou, T.D. Johnson, D.A. Diesel, J.G. Millar, J.A. Mongold-Diers, and L.M. Hanks. 2017. The rare North American cerambycid beetle *Dryobius sexnotatus* shares a novel pyrrole pheromone component with species in Asia and South America. *Journal of Chemical Ecology* 43(8): 739-744.

Dittrich, V., and G. Ernst. 1990. Chemical control and insecticide resistance of whiteflies. *Whiteflies: their bionomics, pest status and management*. 263-286.

Ehler, L. E. 2006. Integrated pest management (IPM): definition, historical development and implementation, and the other IPM. *Pest Management Science* 62(9): 787-789.

Fierke, M. K., D.D. Skabeikis, J.G. Millar, S.A. Teale, J.S. McElfresh, and L.M. Hanks. 2012. Identification of a male-produced aggregation pheromone for *Monochamus scutellatus scutellatus* and an attractant for the congener *Monochamus notatus* (Coleoptera: Cerambycidae). *Journal of Economic Entomology* 105(6): 2029-2034.

- Figueroa, R. A., and E. S. Corales. 2018. Insectos típicos del bosque valdiviano – una guía educativa para niños, padres y profesores de escuela. Edición de los autores, Valdivia. Versión digital. 79 pp.
- Graham, E.E., R.F. Mitchell, P.F. Reagel, J.D. Barbour, J.G. Millar, and L. M. Hanks. 2010. Treating panel traps with a fluoropolymer enhances their efficiency in capturing cerambycid beetles. *Journal of Economic Entomology*, 103: 641–647.
- Graham, E.E., T.M. Poland, D.G. McCullough, and J.G. Millar. 2012. A comparison of trap type and height for capturing cerambycid beetles (Coleoptera). *Journal of Economic Entomology* 105(3): 837-846.
- Goulson, D. 2020. Pesticides, Corporate Irresponsibility, and the Fate of Our Planet. *One Earth*. 302-305.
- Haack, R., M. Keena, and D. Eyre. 2017. Life history and population dynamics of cerambycids. p. 71-103. *In: Wang, Q. (ed.) Cerambycidae of the World: Biology and Pest Management*. CRC Press. Boca Raton, Florida, E.E.U.U.
- Halloran, S. T., R.M. Collignon, J.S. McElfresh, and J. Millar. 2018. Fuscumol and geranylacetone as pheromone components of Californian longhorn beetles (Coleoptera: Cerambycidae) in the subfamily Spondylidinae. *Environmental entomology* 47(5): 1300-1305.
- Handley, K., J. Hough-Goldstein, L.M. Hanks, J.G. Millar, and V. D'amico. 2015. Species richness and phenology of cerambycid beetles in urban forest fragments of northern Delaware. *Annals of the Entomological Society of America* 108(3): 251-262.
- Hanks, L. M., and J.G. Millar. 2013. Field bioassays of cerambycid pheromones reveal widespread parsimony of pheromone structures, enhancement by host plant volatiles, and antagonism by components from heterospecifics. *Chemoecology* 23(1): 21-44.
- Hanks, L. M., J.A. Mongold-Diers, T.H. Atkinson, M.K. Fierke, M.D. Ginzel, E.E. Graham, and J.G. Millar. 2018. Blends of pheromones, with and without host plant volatiles, can attract multiple species of cerambycid beetles simultaneously. *Journal of Economic Entomology* 111(2): 716-724.
- Hanks, L. M., J. A. Mongold-Diers, R. F. Mitchell, Y. Zou, J. C. Wong, L. R. Meier, and J. G. Millar. 2019. The role of minor pheromone components in segregating 14 species of longhorned beetles (Coleoptera: Cerambycidae) of the subfamily Cerambycinae. *Journal of Economic Entomology* 112(5): 2236-2252.
- Hayes, R., M. Griffiths, H. Nahrung, P. Arnold, L. Hanks, and J. Millar. 2016. Optimizing Generic Cerambycid Pheromone Lures for Australian Biosecurity and

Biodiversity Monitoring. *Journal of Economic Entomology* 109: 1741–1749.

Hequet, V. 1996. Longicornes de Guyane. ORSTOM. Cayenne.

Hoch, G., J. Connell, and A. Roques. 2020. Testing multi-lure traps for surveillance of native and alien longhorn beetles (Coleoptera, Cerambycidae) at ports of entry and in forests in Austria. *Management of Biological Invasions* 11(4): 677.

Hughes, G. P., L.R. Meier, Y. Zou, J.G. Millar, L.M. Hanks, and M.D. Ginzl. 2016. Stereochemistry of fuscumol and fuscumol acetate influences attraction of longhorned beetles (Coleoptera: Cerambycidae) of the subfamily Lamiinae. *Environmental Entomology* 45(5): 1271-1275.

Hughes, G.P., Zou, Y., Millar, J.G., and Ginzl, M.D. 2013. (S)-fuscumol and (S)-fuscumol acetate produced by a male *Astyleiopus variegatus* (Coleoptera: Cerambycidae). *The Canadian Entomologist* 145: 327-332.

Imrei, Z., J.G. Millar, and M. Tóth. 2013. Field screening of known pheromone components of longhorned beetles in the subfamily Cerambycinae (Coleoptera: Cerambycidae) in Hungary. *Zeitschrift für Naturforschung C*. 68(5-6): 236-242.

Jeger, M., M. Pautasso, and J. Stack. 2011. Climate, globalization and trade: impacts on dispersal and invasion of fungal plant pathogens. *Fungal diseases: an emerging challenge to human, animal and plant health*, 273-296.

Lanfranco D., and C.G. Ruiz. 2010. Capítulo 8: Barrenadores del floema. p. 173-174. In: Ide S. (ed.) *Entomología forestal en Chile*. Valdivia, Region de Los Rios, Chile.

Lynde, M. R. 2020. Innovation y entrepreneurship driving food system transformation. *Physiology & Behavior*, 220, 112866.

Löfstedt, C. 1990. Population variation and genetic control of pheromone communication systems in moths. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 54(3): 199-218.

Luppichini P., and R. Ripa. 2004. Coleópteros xilófagos presentes en la madera en servicio en Chile. p. 19-39. In: Ripa, R., y P. Luppichini (eds) *Termitas y otros insectos xilófagos en Chile: especies, biología y manejo*. Santiago, Región Metropolitana, Chile.

Macias-Samano, J. E., D. Wakarchuk, J.G. Millar, and L.M. Hanks. 2012. 2-Undecyloxy-1-ethanol in combination with other semiochemicals attracts three *Monochamus* species (Coleoptera: Cerambycidae) in British Columbia, Canada. *The Canadian Entomologist* 144(6): 764-768.

Marante, F., A. Castellano, F. Oyola, and J. Barrera. 2004. Ecología química en hongos y líquenes. *Revista Académica Colombiana de Ciencias* 26: 509-528.

Meier, L.R., Y. Zou, J.G. Millar, J.A. Mongold-Diers, and L.M. Hanks. 2016. Synergism between enantiomers creates species-specific pheromone blends and minimizes cross-attraction for two species of cerambycid beetles. *Journal of Chemical Ecology* 42: 1181-1192.

Meier, L.R., J.G. Millar, J.A. Mongold-Diers, and L.M. Hanks. 2019. (S)-Sulcatol is a pheromone component for two species of cerambycid beetles in the subfamily Lamiinae. *Journal of Chemical Ecology* 45: 447-454.

Millar, J. G., R.F. Mitchell, J.A. Mongold-Diers, Y. Zou, C.E. Bográn, M.K. Fierke, and L.M. Hanks. 2017. Identifying possible pheromones of cerambycid beetles by field testing known pheromone components in four widely separated regions of the United States. *Journal of Economic Entomology* 111(1): 252-259.

Miller, D. R., C.M. Crowe, P.D. Mayo, P.J. Silk, and J.D. Sweeney. 2015. Responses of Cerambycidae and other insects to traps baited with ethanol, 2, 3-hexanediol, and 3, 2-hydroxyketone lures in North-Central Georgia. *Journal of Economic Entomology* 108(5): 2354-2365.

Mitchell, R. F., E.E. Graham, J.C. Wong, P.F. Reagel, B.L. Striman, G.P. Hughes, and L.M. Hanks. 2011. Fuscumol and fuscumol acetate are general attractants for many species of cerambycid beetles in the subfamily Lamiinae. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 141(1): 71-77.

Mitchell, R. F., J.G. Millar, and L.M. Hanks. 2012. Blends of (R)-3-hydroxyhexan-2-one and alkan-2-ones identified as potential pheromones produced by three species of cerambycid beetles. *Chemoecology* 23(2): 121-127.

Moher, D. A. Liberati, J. Tetzlaff, D.G. Altman. 2009. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Med* 6(7): e1000097.

Molander, M. A., I.B. Winde, J. Burman, F.N. Nyabuga, T.U. Lindblom, L.M. Hanks, and M.C. Larsson. 2019. Common cerambycid pheromone components as attractants for longhorn beetles (Cerambycidae) breeding in ephemeral oak substrates in Northern Europe. *Journal of Chemical Ecology* 45(7): 537-548.

Monné, M. 2016. Catalogue of the Cerambycidae (Coleoptera) of the Neotropical Region. Part I. Subfamily Cerambycinae.

Moreno, I. P. 2000. Fundamentos teóricos del manejo integrado de plagas. *Boletín de la SEA*. (27): 127-133.

Muñoz, F., Huerta, A., and Curkovic, T. 2021. Diversidad de coleópteros epigeos en bosques de *Nothofagus glauca* y plantaciones de *Pinus radiata* en Chile central.

Revista Colombiana de Entomología 47(1).

Noguera, F. A. 2014. Biodiversidad de Cerambycidae (Coleoptera) en México. Revista Mexicana De Biodiversidad 85: 290-297.

Peña, L. 1996. Introducción al estudio de los insectos de Chile. Tercera edición. Editorial Universitaria. Santiago, Región Metropolitana, Chile.

Pimentel, C.S., and M.P. Ayres. 2020. Competition and climate affect body size and sexual size dimorphism in pine sawyer beetles. Bulletin of Insectology 73(2): 265-273.

Ramírez, P. 1996. Las feromonas de insectos y su aplicación en agricultura. Revista Palmas 17(3): 27-32.

Rassati, D., M. Marchioro, L. Flaherty, R. Poloni, S. Edwards, M. Faccoli, and J. Sweeney. 2021. Response of native and exotic longhorn beetles to common pheromone components provides partial support for the pheromone-free space hypothesis. Insect Science 28(3): 793-810.

Ray, A. M., R.A. Arnold, I. Swift, P.A. Schapker, S. McCann, C.J. Marshall, and J.G. Millar. 2014. (R)-Desmolactone is a sex pheromone or sex attractant for the endangered valley elderberry longhorn beetle *Desmocerus californicus dimorphus* and several congeners (Cerambycidae: Lepturinae). PLoS One 9(12): e115498.

Ray, A. M., J.D. Barbour, J.S. McElfresh, J.A. Moreira, I. Swift, I.M. Wright, and L.M. Hanks. 2012. 2, 3-Hexanediols as sex attractants and a female-produced sex pheromone for cerambycid beetles in the prionine genus *Tragosoma*. Journal of Chemical Ecology 38(9): 1151-1158.

Ray, A. M., E. S. Lacey, and L. M. Hanks, L. M. 2006. Predicted taxonomic patterns in pheromone production by longhorned beetles. Naturwissenschaften 93(11): 543.

Ray, A. M., J.G. Millar, J.A. Moreira, J.S. McElfresh, R.F. Mitchell, J.D. Barbour, and L.M. Hanks. 2015. North American species of cerambycid beetles in the genus *Neoclytus* share a common hydroxyhexanone-hexanediol pheromone structural motif. Journal of Economic Entomology 108(4): 1860-1868.

Reddy, G. V., R. Fetzkoether, U. Noldt, and K. Dettner. 2005. Capture of female *Hylotrupes bajulus* as influenced by trap type and pheromone blend. Journal of Chemical Ecology 31(9): 2169-2177.

Rojas, E., y R. Gallardo. 2004. Manual de insectos asociados a maderas en la zona sur de Chile. División Protección Agrícola. Proyecto Vigilancia y Control de Plagas Forestales. Santiago, Chile. Servicio Agrícola y Ganadero.

- Rojas, A., M.E. Ojeda, and X. Barraza. 2000. Malformaciones congénitas y exposición a pesticidas. *Revista Médica de Chile* 128(4): 399-404.
- Rossa, R., and Goczał, J. 2021. Global diversity and distribution of longhorn beetles (Coleoptera: Cerambycidae). *The European Zoological Journal* 88(1): 289-302.
- Ryall, K., P. Silk, R.P. Webster, J.M. Gutowski, Q. Li. Meng, and J.D. Sweeney. 2015. Further evidence that monochamol is attractive to *Monochamus* (Coleoptera: Cerambycidae) species, with attraction synergised by host plant volatiles and bark beetle (Coleoptera: Curculionidae) pheromones. *The Canadian Entomologist* 147(5): 564-579.
- SAG. 2018. Control de *Hylotrupes bajulus* Linnaeus (Coleoptera, Cerambycidae), barrenador europeo de las casas, en una zona rural de las Regiones de O'Higgins y el Maule.
- SAG. 2019. Ficha de antecedentes de especie: *Acanthinodera cummingi*. Chile.
- SAG. 2022. Lista de Plaguicidas con autorización Vigente. Chile.
- Sánchez, M. J., and M. Sánchez. 1985. Los plaguicidas. Adsorción y evolución en el suelo. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, España.
- Seijas, J. A., and M.D. Vázquez. 2012. Estereoisomería. Universidade de Santiago de Compostela. Servizo de Publicacións e Intercambio Científico.
- Shin N., S. Shin, Y. Okamura, R. Kirsch, V. Lombard, P. Svacha, and Y. Pauchet. 2021. Larvae of longhorned beetles (Coleoptera; Cerambycidae) have evolved a diverse and phylogenetically conserved array of plant cell wall degrading enzymes. *Systematic Entomology* 46(4): 784-797.
- Silva, W. D., L.M. Hanks, J.C. Alvarez, F.Z. Madalon, J.M. Bento, J.E. Bello, and J.G. Millar. 2020. Variations on a theme: two structural motifs create species-specific pheromone channels for multiple species of South American cerambycid beetles. *Insects* 11(4): 222.
- Silva, W. D., L.M. Hanks, J.A. Mongold-Diers, A.C. Grommes, J.M. Bento, and J.G. Millar. 2021. 2-Nonanone is a Critical Pheromone Component for Cerambycid Beetle Species Native to North and South America. *Environmental Entomology* 50(3): 599-604.
- Silva, W. D., J.G. Millar, L.M. Hanks, C.M. Costa, M.O. Leite, M. Tonelli, and J.M. Bento. 2018. Interspecific cross-attraction between the South American cerambycid beetles *Cotyctytus curvatus* and *Megacyllene acuta* is averted by minor pheromone components. *Journal of Chemical Ecology* 44(3): 268-275.

Silva, W. D., Y. Zou, J. Bento, L.M. Hanks, and J.G. Millar. 2017. Aggregation-sex pheromones and likely pheromones of 11 South American cerambycid beetles, and partitioning of pheromone channels. *Frontiers in Ecology and Evolution* 5: 101.

Silva, W. D., Y. Zou, L.M. Hanks, J.M. Bento, and J.G. Millar. 2019. Enantiomers of fuscumol acetate comprise the aggregation- sex pheromone of the South American cerambycid beetle *Psapharochrus maculatissimus*, and likely pheromones of the cerambycids *Eupromerella plaumanni* and *Hylettus seniculus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 167(11): 915-921.

Urrutia, A. R., M.G. Cogollor, A.F. Ruilova, and J.C. Silva. 2005. CAPITULO IV *Phoracantha semipunctata* Fabricius y *Phoracantha recurva* Newman (Coleoptera, Cerambycidae), “TALADRADOR DEL EUCALIPTO”. p. 85-110. *In: Control biológico de plagas forestales de importancia económica en Chile. Santiago, Región Metropolitana, Chile.*

Vidal, J. M., M. González-Rodríguez, A. Vega, and A. Frenich. 2004. Estudio de la contaminación por pesticidas en aguas ambientales de la provincia de Almería. *Revista Ecosistemas* 13(3).

Wickham, J. D., R.D. Harrison, W. Lu, Y. Chen, L.M. Hanks, and J.G. Millar. 2021. Rapid assessment of cerambycid beetle biodiversity in a tropical rainforest in Yunnan Province, China, using a multicomponent pheromone lure. *Insects* 12(4): 277.

Wickham, J. D., R.D. Harrison, W. Lu, Z. Guo, J.G. Millar, L.M. Hanks, and Y. Chen. 2014. Generic lures attract cerambycid beetles in a tropical montane rain forest in southern China. *Journal of Economic Entomology* 107(1): 259-267.

Wickham, J. D., W. Lu, L.W. Zhang, Y. Chen, Y. Zou, L.M. Hanks, and J.G. Millar. 2016. Likely aggregation-sex pheromones of the Invasive beetle *Callidiellum villosulum*, and the related Asian species *Allotraeus asiaticus*, *Semanotus bifasciatus*, and *Xylotrechus buqueti* (Coleoptera: Cerambycidae). *Journal of Economic Entomology* 109(5): 2243-2246.

Wong, J. C., R.F. Mitchell, B.L. Striman, J.G. Millar, and L.M. Hanks. 2012. Blending synthetic pheromones of cerambycid beetles to develop trap lures that simultaneously attract multiple species. *Journal of Economic Entomology* 105(3): 906-915.

Wong, J., Y. Zou, J. Millar, and L. Hanks. 2017. Attraction of Cerambycid Beetles to Their Aggregation-Sex Pheromones Is Influenced by Volatiles from Host Plants of Their Larvae. *Environmental Entomology* 46: 649-653.

Wyatt, T. D. 2017. Pheromones. *Current Biology*, 27(15): R739-R743.

