



UNIVERSIDAD DE CHILE

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO**

MEMORIA DE TÍTULO

**EVALUACIÓN DE FEROMONAS GENÉRICAS DE CERAMBÍCIDOS EN
ESPECIES DE IMPORTANCIA ECONÓMICA PRESENTES EN 2
LOCALIDADES DE LA ARAUCANÍA, CHILE.**

ARLY DE LOS ANDES CHEUQUEL PICHUNMAN

**Santiago, Chile
2022**



UNIVERSIDAD DE CHILE

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO**

MEMORIA DE TÍTULO

**EVALUACIÓN DE FEROMONAS GENÉRICAS DE CERAMBÍCIDOS EN
ESPECIES DE IMPORTANCIA ECONÓMICA PRESENTES EN 2
LOCALIDADES DE LA ARAUCANÍA, CHILE.**

**EVALUATION OF GENERIC PHEROMONES OF CERAMBIIDS ON SPECIES
OF ECONOMIC IMPORTANCE PRESENT IN 2 ARAUCANIA LOCATIONS,
CHILE**

ARLY DE LOS ANDES CHEUQUEL PICHUNMAN

**Santiago, Chile
2022**



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

EVALUACIÓN DE FEROMONAS GENÉRICAS DE CERAMBÍCIDOS EN
ESPECIES DE IMPORTANCIA ECONÓMICA PRESENTES EN 2
LOCALIDADES DE LA ARAUCANÍA, CHILE.

Memoria para optar al título
Profesional de Ingeniera Agrónoma

ARLY DE LOS ANDES CHEUQUEL PICHUNMAN

PROFESOR GUÍA

Sr. Tomislav Curkovic S.
Ingeniero Agrónomo, Ph. D.

Calificaciones

6,5

PROFESORES EVALUADORES

Sra. Amanda Huerta F.
Ingeniera Forestal, Dra.

7,0

Sr. Juan Manuel Uribe M.
Ingeniero Agrónomo.

Juan
Manuel
Uribe
Meneses

Firmado
digitalmente por
Juan Manuel
Uribe Meneses
Fecha:
2022.08.31
11:46:45 -04'00'

6,7

Santiago, Chile
2022

AGRADECIMIENTOS

Me van a faltar páginas para agradecer a un sinnúmero de personas que se han involucrado de una u otra manera en este trabajo, sin embargo, merecen reconocimiento especial a mis padres Sergio y Nancy que con su esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera universitaria y me brindaron todo el apoyo para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

Asimismo, quiero agradecer infinitamente a Sergio, Javiera y Natalia que con sus palabras de aliento, o simplemente con un abrazo, me ayudaron a ver las cosas de una manera distinta y más posibles. Ojalá algún día yo me convierta en esa fuerza para que puedan seguir avanzando en sus proyectos.

De igual forma, quiero agradecer a mi Profesor Guía Tomislav Curkovic que, gracias a sus sugerencias, correcciones y su eterna paciencia me ayudó en el desarrollo de esta memoria. También agradezco al equipo del Laboratorio de Comportamiento y Ecología Química de Plagas (CEQUIP) y al profesor Danilo Cepeda por toda la ayuda facilitada y por el grato momento que pasé en el periodo experimental.

A cada ser que se me cruzó en el camino de la vida, profesores, funcionarios, amigos de carrera, me quedo con un hermoso recuerdo de cada uno.

Y para terminar, me quiero decir a mí misma “Si se pudo Arly, si se pudo”. Feliz doy por culminada esta etapa.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
HIPÓTESIS.....	6
OBJETIVO GENERAL	6
MATERIALES Y MÉTODOS	7
Lugar y época de estudio.....	7
Antecedentes del lugar de estudio	7
Trampas y solución feromonal	8
Montaje en campo para capturas y reposición de feromonas	9
Métodos de colecta y limpieza de muestras	9
Identificación de Cerambycidae y sexado.....	9
Diseño experimental y análisis estadístico	10
RESULTADOS.....	11
DISCUSIÓN	17
CONCLUSIONES	20
BIBLIOGRAFÍA.....	21
ANEXOS.....	26
Vistas dorsales y/o ventrales de especies capturadas por sexo, y genitalia.....	26
Cerambycidae capturados.....	30
Método de extracción de genitalia interna.....	32
Fichas de las Especies de importancia económica capturadas	33

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Compuestos feromonales genéricos de cerambícidos evaluados y control.....	10
Cuadro 2. Cerambícidos atraídos por los compuestos de feromonas y control	11
Cuadro 3. Especies por sub-familia y número de ejemplares capturados por localidad y total.....	12
Cuadro 4. Capturas de individuos de cada subfamilia por cada tratamiento	13
Cuadro 5. Recuento de capturas asociadas al sexo de las especies mayormente capturadas	14
Cuadro 6. Prueba de comparaciones múltiples de Fisher para la especie <i>Eryphus laetus</i> ...	16

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Trampa de interceptación y vaso colector	8
Figura 2. Trampa de interceptación en campo	8
Figura 3. Dinámica de capturas observadas durante el periodo de verano 2019 de las especies mayormente capturadas	15
Figura 4. Vistas dorsal y ventral (extremo posterior) de machos y hembras de la especie <i>Eryphus laetus</i>	26
Figura 5. Vistas dorsal y ventral (extremo posterior) y genitalia interna de machos y hembras de la especie <i>Calydon submetallicum</i>	27
Figura 6. Vistas dorsal y ventral (extremo posterior) y genitalia interna de machos y hembras de la especie <i>Chenoderus testaceus</i>	28
Figura 7. Vista dorsal, vista de la antena y genitalia interna de machos y hembras de la especie <i>Hephaestion corralensis</i>	29
Figura 8. Fotografías de Cerambícidos capturados e identificados en las zonas de Estudio	30

RESUMEN

En varios estudios recientes se ha reconocido la capacidad que tienen las feromonas de una especie originaria de una región biogeográfica en generar una respuesta en especies cercanas a nivel de sub-familia, pero presentes en otra región, sin traslape en sus distribuciones. Estos compuestos denominados “feromonas genéricas” sirven como una estrategia alternativa a la identificación específica, al probarlos como posible herramienta de monitoreo para desarrollar manejo integrado de plagas. En Chile a la fecha, no hay reportes de feromonas de cerambícidos nativos, por tanto, esta aproximación “genérica”, puede ser útil para conocer los componentes feromonales que controlarían sus conductas, e implementar métodos de manejo. En este estudio se usaron componentes feromonales de cerambícidos del hemisferio norte (Neárticas) y se evaluó su capacidad de atracción en especies neotropicales presentes en Chile.

El ensayo se realizó en predios o sitios ubicados en las localidades de Rucamanque y Maquehue, Región de la Araucanía, entre enero y marzo de 2019. Ambos sectores presentan un remanente nativo de Roble, Raulí y Lingue como también especies exóticas, entre malezas y frutales. Se utilizaron trampas de interceptación en las cuales se fijó una bolsa semipermeable con una carga conocida de cada componente feromonal diluido en alcohol isopropílico; se probaron individualmente 8 compuestos. Cada trampa fue colgada a 2 m de altura, considerando al menos 20 m de distanciamiento entre ellas. La disposición de cada tratamiento se hizo acorde a un diseño en bloques completamente aleatorizado. Dos bloques se dispusieron en Maquehue y uno en Rucamanque. Se hicieron recuentos de capturas y renovación de feromonas en forma semanal, en 9 semanas consecutivas. En total se capturaron 538 ejemplares pertenecientes a 11 especies de cerambícidos y el tratamiento 3-hidroxihexan-2-one colectó más del 60% de los individuos, mayoritariamente de la especie *Callydon submetallicum* y *Eryphus laetus*. Se concluyó que algunas feromonas genéricas de especies del hemisferio norte fueron significativamente atractivas para especies nativas (de Chile o Sudamérica), y atrajeron ambos sexos, lo que sugiere que actúan como componentes de feromonas de agregación. Estos componentes pueden servir para el estudio y manejo de dichas especies, mientras no se identifiquen los componentes feromonales que les son propios.

Palabras clave: Filogenia de Cerambycidae, Manejo integrado de plagas, Trampa de interceptación.

ABSTRACT

Several recent studies have recognized the ability of pheromones from a species native to one biogeographic region to generate a response in species that are close at the subfamily level, but present in another region, with no overlap in their distributions. These compounds called "generic pheromones" serve as an alternative strategy to specific identification by testing them as a possible monitoring tool to develop integrated pest management. In Chile to date, there are no reports of pheromones of native cerambycids, therefore, this "generic" approach may be useful to know the pheromonal compounds that would control their behaviors and implement management methods. In this study, pheromonal components of cerambycids from the northern hemisphere were used (Nearctic) and their capacity to attract neotropical species present in Chile was evaluated.

The trial was conducted on fields or sites located in the localities of Rucamanque and Maquehue, Araucanía Region, between January and March 2019. Both sectors have a native remnant of Oak, Rauli and Lingue as well as exotic species, among weeds and fruit trees. Interception traps were used in which a semi-permeable bag was fixed with a known load of each pheromonal component diluted in isopropyl alcohol; 8 compounds were tested individually. Each trap was hung at a height of 2 m, considering at least 20 m of distance between them. The arrangement of each treatment was made according to a completely randomized block design. Two blocks were arranged in Maquehue and one in Rucamanque. Pheromone capture and renewal counts were made weekly, in 9 consecutive weeks. A total of 538 specimens belonging to 11 species of cerambycids were captured and the 3-hydroxyhexan-2-one treatment collected more than 60% of the individuals, mostly of the species *Callydon submetallicum* and *Eryphus laetus*. It was concluded that some generic pheromones of northern hemisphere species were significantly attractive to native species (from Chile or South America), and attracted both sexes, suggesting that they act as components of aggregation pheromones. These components may be useful for the study and management of these species, as long as the pheromonal components that are specific to them are not identified.

Key words: Interception trap, Cerambycidae Phylogeny, Integrated Pest Management.

INTRODUCCIÓN

La implementación del manejo integrado de plagas (MIP), ha tomado mayor importancia en el último tiempo ante la necesidad de llevar a cabo una agricultura rentable y a la vez sustentable con el entorno. Dicho concepto se define como el estudio sistemático de la compatibilidad y optimización de acciones asociadas a los elementos del manejo de plagas (Stenberg, 2017), basándose en principios ecológicos e integración de diferentes técnicas (Karuppuchamy y Venugopal, 2016). Una de las numerosas técnicas que implementa el manejo integrado de plagas es el uso de semioquímicos, que corresponde a señales químicas producidas por un organismo y que regulan la interacción conductual entre estos (Wyatt, 2019). Dentro del grupo de semioquímicos más conocidos se encuentran las feromonas. Las feromonas son señales químicas que se envían entre organismos de la misma especie, las cuales tienen roles variables de comportamiento, que incluyen aquellos que median la conducta sexual, de agregación, entre otras (Blomquist y Vogt, 2021). Entre los métodos MIP, la utilización de feromonas ha resultado ser uno de los más fiables y efectivos para la detección, control y cuantificación de especies plaga (Millar, 2007; Hanks y Millar, 2016).

Diversas publicaciones han expuesto el alto grado de especificidad que las feromonas pueden llegar a tener para favorecer el encuentro entre organismos de la misma especie. Debido a esto, y frente a la necesidad de manejar especies plaga, se ha tenido que identificar y sintetizar una diversidad de feromonas (Birch, 1974). Sin embargo, ello implica estudios complejos, lentos y costosos. Recientemente se ha evidenciado que el uso de determinados componentes feromonales identificados para una especie resultan también ser efectivos para múltiples especies (Hanks y Millar, 2013). Estos compuestos, ahora denominados “feromonas genéricas” atraen a un grupo diverso de insectos, lo que es muy útil cuando la respectiva feromona específica aún se desconoce (Brodie et al., 2019). La aseveración anterior se basa en que existe una conservación notable de estructuras químicas en los compuestos feromonales, los que resultan estar estrechamente relacionados en grupos taxonómicos cercanos (familia, subfamilia, tribu, género, etc.) y cuya especificidad es, usualmente, proporcionada por la variación de estos componentes químicos que contiene la mezcla feromonal específica (Hanks et al., 2007; Wickham et al., 2014; Hayes et al., 2016).

Las primeras menciones que documentan el mismo fenómeno son referidas a la atracción no específica de tortricidos (Orden Lepidóptera), donde se observó que el uso de un emisor de determinados componentes feromonales atraía no solamente a la especie objetivo, sino que también a polillas de otras especies (Comeau, 1971; Cardé y Baker, 1984). Fue recién en las dos últimas décadas que el concepto tomó relevancia en especies de Cerambycidae, esto debido al escaso conocimiento relativo a la ecología química de este grupo de insectos (Allison, Borden y Seybold, 2004) y que actualmente ante los avances obtenidos representa uno de los grupos de insectos mejor estudiados en esta materia (Hanks y Millar, 2017).

Hasta la fecha se han identificado atrayentes de 5 de las 8 subfamilias actualmente reconocidas dentro de Cerambycidae (Cerambycinae, Lamiinae, Spondylidinae, Prioninae y Lepturinae) y estas feromonas son de dos tipos; feromonas de agregación (o feromonas de agregación sexual), la que es producida por los machos para la aglomeración de ambos sexos y fomentar la reproducción, y feromonas sexuales que son producidas por hembras y que atraen

exclusivamente los machos (Cardé, 2014; Millar y Hanks, 2017). El uso de estos compuestos en campo ha generado la atracción de diversas especies de grupos de igual taxa (Hanks y Millar 2013; Wickham et al., 2014).

La familia Cerambycidae, comúnmente conocidos como “longicornios” o “taladradores”, se encuentra entre las familias más diversas y económicamente importantes de la orden Coleoptera (Wang, 2017). El número de *sp.* descritas en el mundo es de unas 36.300 en más de 5.300 géneros, las que se distribuyen en todo el mundo (Tavakilian, 2015; Monné, Monné y Wang, 2017).

Este grupo de especies presenta una estructura morfológica diversa en los estados adultos (Linsley, 1961; Noguera 2014). Los rasgos más destacables de este grupo de insectos son: la presencia de antenas filiformes y alargadas, las que se encuentran generalmente insertas en sus ojos emarginados, son criptopentámeros, es decir, que el cuarto segmento se encuentra inserto en la hendidura del tercer segmento que es bilobulado, lo que hace parecer que el tarso presenta 4 segmentos (Artigas, 1994). En cuanto al estado larvario, estas son alargadas y ligeramente deprimidas al igual que su cabeza, usualmente muestran un decrecimiento gradual del ancho entre el tórax y el abdomen, muchas son de color blanco a cremoso, con finos pelos, con los costados redondeados, piezas bucales prolongadas y patas torácicas poco desarrolladas o ausentes (Rojas y Gallardo, 2004).

Respecto a su alimentación, tanto larvas como adultos son fitófagos (Haack, Keena y Eyre, 2017). La mayoría de los cerambícidos se desarrollan y se alimentan de tallos, ramas y raíces de plantas leñosas, principalmente de árboles, los que se pueden encontrar en distinta condición de salud y edad (Haack, Eyre y Haack, 2017). Los estados larvarios aprovechan gran parte de los tejidos del hospedero, alimentándose principalmente de ritidoma, albura o duramen, efectuando galerías circulares u ovaladas a lo largo del tronco y ramas (Artigas, 1994). Algunos pueden ser estrictamente monófagos mientras que otros son altamente polífagos (Haack, Keena y Eyre, 2017). Por último, la alimentación de los estados adultos es variable, las que pueden ser flores, corteza, follaje, savia, frutos, raíces y hongos (Noguera y Gutiérrez, 2017).

Los huevos se colocan de manera individual o en grupos en el hospedero y la cantidad puede variar considerablemente en la fecundidad de cada especie (Duffy, 1953; Haack, 2017). El tiempo promedio en que suelen eclosionar los huevos son de dos semanas, pero varía mucho entre especies (Craighead 1923; Butovitsch, 1939; Duffy, 1953; Linsley, 1961; Haack, 2017). Una vez que eclosionan los huevos, las larvas se introducen rápidamente en los tejidos del hospedero o en el suelo donde se alimentan y se desarrollan durante los próximos meses o años (Haack, Keena y Eyre, 2017). Como resultado del desarrollo larvario prolongado y la alimentación extensiva que suele ocurrir dentro de la planta, la etapa larvaria de los cerambícidos es sin lugar a duda la etapa de vida más prolongada y dañina para la planta hospedera (Haack, Keena y Eyre, 2017).

Los daños generados por la familia Cerambycidae son considerables en el área forestal y agrícola, esto debido a que las plantas cultivadas se ven debilitadas por la alimentación en la etapa larvaria y que así mismo, su daño se acentúa mayormente ante la transmisión de parásitos y enfermedades resultando ser fatales para el hospedero (Wang, 2017; Rossa y

Goczal, 2021), como es el caso de especies de *Monochamus* que son vectores del nemátodo del pino (*Bursaphelenchus xylophilus*; Nematoda: Aphelenchoididae) los que son agentes causantes de la enfermedad del marchitamiento del pino (Mamiya, 1983; Millar y Hanks, 2017). Por otra parte, en el área productiva causa daños en los troncos y maderas aserradas, lo que rebajan las especificaciones técnicas provocando importantes pérdidas económicas (Jankowiak y Rossa, 2007; Akbulut y Stamps, 2012; Rossa y Goczal, 2021). Adicionalmente, las especies de cerambícidos han sido interceptadas fuera de sus áreas de distribución nativas y algunas de ellas han establecido nuevas poblaciones, causando graves daños y dificultando las medidas de protección y control (Brockhoff y Liebhold, 2017; Rassati et al., 2020) Debido a lo anterior, algunas especies se consideran plagas cuarentenarias como es el caso del Barrenador europeo (*Hylotrupes bajulus*), que afecta maderas de coníferas de los géneros *Pinus*, *Picea*, *Abies* y *Larix* y que por este motivo debe estar en constante control en Chile (Res. Ex N°5430/2019, Ley Chile)

A nivel nacional, los cerambícidos se encuentran ampliamente distribuidos a lo largo del país, especialmente en la zona centro sur, coincidiendo con el mayor sector de hospederos productivos del área frutícola y forestal (Barriga et al., 1993). Son más de 200 especies reportadas, entre nativas y algunas introducidas, las que se encuentran distribuidas en 6 subfamilias: Cerambycinae, Lamiinae, Lepturinae, Necydalinae, Parandrinae, Priorinae (Monné, 2021).

Si bien, existen investigaciones de especies de cerambícidos nativos e inclusive de especies introducidas en Chile, salvo contadas excepciones, estas no abordan su ecología química. Es por esto, que la aproximación del uso de feromonas genéricas proporcionaría el conocimiento de algunos componentes feromonales que medien sus conductas, en especial de aquellas especies que requieren mayor atención en términos económicos. Además, esta aproximación podría conducir al desarrollo de herramientas de monitoreo o tácticas de control (Sanchez-Husillos et al., 2015; Sweeney et al., 2017; Curkovic et al., 2018). Por lo tanto, el empleo de feromonas genéricas también sería de gran valor para el estudio incipiente del comportamiento y ecología química de este grupo de insectos. Adicionalmente ayudará a mejorar el conocimiento de la fauna local, así como para detectar y reconocer la entrada de posibles plagas que tengan la oportunidad de establecerse e iniciar los manejos respectivos.

El siguiente estudio se evaluó la eficacia de distintos compuestos feromonales identificados de especies norteamericanas y evaluados individualmente, como atrayentes de cerambícidos nativos, en dos localidades ubicadas en la región de la Araucanía.

HIPÓTESIS

El empleo de componentes feromonales genéricos de cerambícidos de otras regiones del mundo, sirven para atraer cerambícidos nativos y/o exóticos en Chile.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar componentes feromonales genéricos individuales de cerambícidos como potenciales atrayentes de especies de importancia económica y otras, presentes en Chile.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar y época de estudio

El estudio se desarrolló en dos predios que se encuentran bajo la tutela de la Universidad de la Frontera en Temuco, entre enero y marzo, 2019; el Campo Experimental Maquehue, ubicado a 17 km al sur de la ciudad Temuco y el Parque Ecológico Rucamanque, localizado a 12,2 km al noroeste, ambos en la región de La Araucanía.

Antecedentes del lugar de estudio

El Campo Experimental Maquehue de la Universidad de La Frontera está ubicado en el llano central, en la Comuna de Freire, Provincia de Cautín (-38.83803,-72.69402; 157 m.s.n.m), región de La Araucanía. El predio cuenta con una superficie de 258 ha, de las cuales 5 ha corresponden a remanente nativo en un reducido espacio de distribución, el resto de superficie destinada al establecimiento de frutales, cultivos agrícolas y zonas de pastoreo. La zona posee un clima mediterráneo templado con estación seca en febrero. La temperatura promedio anual es de 12°C y el periodo libre de heladas es enero y febrero (Báez, 2013). Las precipitaciones que afectan la zona de estudio son en promedio de 1.328 mm anual, siendo junio el mes más lluvioso. El remanente vegetal en el predio corresponde a un bosque de Roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst), Laurel (*Laurelia sempervirens* (Ruiz & Pav)) y Lingue (*Persea lingue* (Ruiz & Pav) Nees) con introducción de plantas silvestres como Zarzamora (*Rubus ulmifolius* Schott) y otras (Orellana, 2010).

Respecto a la Reserva Ecológica Rucamanque, está situado en la comuna de Temuco, Provincia de Cautín (-38.65902,-72.60392; 352 m.s.n.m), región de La Araucanía (Lara, 2013). La reserva cuenta con una superficie de 435,1 hectáreas, ubicado en el cordón montañoso Huimpíl-Ñielol (Espinosa et al., 2009; Jara, 2013). La zona posee un clima templado húmedo, con precipitaciones y temperaturas promedio anuales de 1.332 mm y 10 °C respectivamente, distribuyéndose las precipitaciones principalmente en invierno, dejando uno o dos meses de sequía en el verano, registrándose las máximas temperaturas entre diciembre y marzo, y las mínimas entre julio y agosto (Hayek y Di Castri, 1975; Ramírez et al., 1989; Salas, 2001; Durán, 2010). La reserva presenta una formación de Bosque de la Frontera, donde las comunidades presentes corresponden al Bosque de Olivillo (*Aextoxicom punctatum* Ruiz & Pav), Bosque de Roble-Laurel-Lingue (*N. obliqua* - *L. sempervirens* - *P. lingue*), Matorral de Maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz), Matorral de Quila (*Chusquea quila* Kunth), Matorral de Coligue (*Chusquea culeou* Desv.), Matorral de Zarzamora (*R. ulmifolius*), Pradera seca y Pradera Húmeda (Jara, 2013), así también plantaciones exóticas de coníferas (Zuñiga et al., 2009) y algunos árboles frutales. De todas las comunidades nombradas, las asociaciones *N. obliqua* - *L. sempervirens* - *P. lingue* son las más abundantes (Tapia, Zuñiga y Rebolledo, 2011).

Trampas y solución feromonal

Para el montaje en campo se utilizaron trampas de intercepción de vuelo marca *Alpha Scents* (Figura 1). En cada trampa se fijó a una bolsa pequeña transparente de polietileno con cierre hermético (5x10cm y 0,05 mm de espesor, modelo Bagette número 14770) como emisor, dispuesta en el centro del panel de intercepción. La trampa en su parte inferior tenía un recipiente colector que contenía una solución de detergente neutro (inodoro), sal de mesa y agua destilada donde posteriormente cayeron y se conservaron los individuos atraídos, hasta el servicio de la trampa. Para la preparación de soluciones *stock*, se diluyeron 2.000 mg de cada componente feromonal (que corresponde a cada tratamiento, cuadro 1) en 40 mL de alcohol isopropílico (solvente). La bolsa emisora contenía 1 mL de la respectiva solución (tratamiento), la cual se fijó en la zona central del panel de la trampa. Tanto las trampas como los componentes feromonales, se importaron desde California, EE. UU., en particular los últimos fueron proporcionados por el Dr. J. Millar, académico e investigador de la Universidad de California.



Figura 2. Trampa de intercepción y vaso colector



Figura 1. Trampa de intercepción en campo

Montaje en campo para capturas y reposición de feromonas

Se probó un componente feromonal en cada trampa, es decir, estos se evaluaron individualmente, y estas fueron dispuestas en terreno de manera aleatoria y separadas entre ellas considerando al menos 20 metros en cada sector. Para la instalación de las trampas, estas se colgaron con un alambre en una rama cuya altura era de 1,5- 2 metros del suelo. Las bolsas pequeñas de solución feromonal, fueron renovadas con 1 mL de cada de solución stock de manera semanal hasta fines de marzo. La instalación de las trampas inició el 8 de enero de 2019 y las renovaciones de las feromonas se hicieron semanalmente entre el 15 de enero hasta el 5 de marzo de 2019.

Métodos de colecta y limpieza de muestras

Se utilizó un colador para coleccionar los individuos que cayeron en el pote ubicado en la parte inferior de cada trampa. El material colado se guardó en una bolsa previamente rotulada con cada tratamiento. El material coleccionado fue trasladado al laboratorio de Comportamiento y Ecología Química de Plagas (CEQUIP) perteneciente a la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile. Cada bolsa se sometió a un proceso de limpieza en donde se separaron los ejemplares de cerambycidos, y estos fueron transferidos a frascos con alcohol al 70% para su conservación. Cada frasco fue rotulado según tratamiento, localidad y fecha de colecta. El periodo de colecta semanal fue desde el 15 de enero hasta el 12 de marzo de 2019.

Identificación de Cerambycidae y sexado

De los frascos de conservación, se identificaron todos los ejemplares correspondientes a Cerambycidae mediante la orientación de expertos, ayuda de ilustraciones y comparaciones de ejemplares provenientes del Museo Entomológico de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile. El procedimiento de observación de muestra consistió en colocar los ejemplares en placas Petri y estas fueron observadas bajo lupa (10x - 40x de magnificación). Una vez reconocidos los aspectos generales según especie, se procedió la identificación del sexo mediante características de anatomía externa. Para aquellos ejemplares que no se tuvo mayor antecedente de su sexo, se procedió la identificación mediante genitalia interna (ver Anexo I). Una vez identificados la especie de los individuos, se contó y clasificó cada uno de ellos según subfamilia y sexo para luego proceder al análisis estadístico.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se realizó un diseño en bloques completamente aleatorizado: dos bloques se ubicaron en Maquehue y uno en Rucamanque. Cada bloque correspondió a una repetición y contuvo a los 8 tratamientos de componentes feromonales, más el tratamiento control. La unidad experimental fue la trampa de intercepción y el total de unidades experimentales fue de 27 trampas. Los tratamientos feromonales y el control (Testigo) se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Compuestos feromonales genéricos de cerambícidos evaluados y control.

<u>N° Tratamiento</u>	<u>Compuesto Feromonal</u>
T1	Monocamol
T2	Fuscumol
T3	2R*, 3S - Hexanodiol
T4	2-Metilbutanol
T5	Fuscumol acetato
T6	2R*, 3R* - Hexanodiol
T7	3 – Hidroxi hexan - 2- ona
T8	Geranilacetona
T9	<u>Alcohol isopropílico (Control)</u>

Una vez que se obtuvieron los resultados correspondientes al recuento de ejemplares por especie y sexo, se analizó el número de capturas acumuladas por tratamiento. Para esto, se aplicó el Modelo Lineal Generalizado Mixto, utilizando una distribución de Poisson y función de enlace Log. Para verificar si existió diferencias entre los tratamientos evaluados, se realizó el test de Wald y una vez confirmado las diferencias, se utilizaron las medias de los tratamientos para realizar una prueba de comparaciones múltiples de Fisher con un 5% de significancia. Los análisis sólo se realizaron para especies que tuvieron capturas acumuladas > 20 en los diferentes tratamientos. No se hizo para *C. submetallicum* por la evidencia contundente de los resultados, donde prácticamente todos los ejemplares se capturaron en un solo tratamiento, siguiendo la recomendación del asesor estadístico.

RESULTADOS

De acuerdo con los muestreos realizados durante la temporada, se recolectaron un total de 538 longicornios (cuadro 2); el mayor número de individuos fueron atraídos por trampas cebadas con 3-Hidroxi hexan-2-ona (60%), seguido de 2R*,3S- Hexanodiol (11%) y 2R*,3R*- Hexanodiol (7%). En cuanto al tratamiento que registró mayor número de especies capturadas fue Fuscumol acetato.

Por otro lado, los tratamientos tuvieron mayores capturas en R2 de la localidad de Maquehue y R1 de la localidad de Rucamanque. El tratamiento 7 generó mayores capturas en los sitios estudiados, principalmente en Rucamanque.

Cuadro 2. Cerambícidos atraídos por los compuestos de feromonas y control.

Tratamiento	N ° de Tratamiento	N° total de Especies	N° total de Individuos	Rucamanque			Maquehue		
				R1	R2	R3	R1	R2	R3
Monocamol	1	3	32	4	21	7			
Fuscumol	2	5	24	7	13	4			
2R*, 3S-Hexanodiol	3	6	60	10	45	5			
2-Metilbutanol	4	3	4	0	2	2			
Fuscumol acetato	5	9	25	9	6	10			
2R*, 3R* -Hexanodiol	6	2	38	2	31	5			
3-Hidroxi hexan-2-ona	7	5	327	148	121	58			
Geranilacetona	8	4	13	6	2	5			
Alcohol isopropílico (Control)	9	5	15	1	13	1			
Total	-	-	538	187	254	97			

En cuanto a las especies capturadas en los sitios de estudio, estas corresponden a 11 especies de tres subfamilias (cuadro 3), de las cuales 6 especies fueron capturadas en Rucamanque y 9 especies en Maquehue; 3 especies eran comunes en ambos sectores. De todas las especies recolectadas, el 58% corresponde a la subfamilia Cerambycinae. El mayor número de capturas fueron de las especies *E. laetus* (24 capturas en Rucamanque y 245 capturas en Maquehue) y *C. submetallicum* (133 capturas en Rucamanque y 85 capturas en Maquehue). El resto de las especies tuvieron valores menores a 20 capturas por sitio.

Cuadro 3. Especies por sub-familia y número de ejemplares capturados por localidad y total.

Subfamilia y Especie	R1	R2	R3	Total
Cerambycinae				
<i>Calydon submetallicum</i>	133	45	40	218
<i>Chenoderus testaceus</i>	16	2	2	20
<i>Cotyachryson sulcicorne</i>	-	1	-	1
<i>Eryphus laetus</i>	24	201	44	269
<i>Maripanus decoratus</i>	2	-	-	2
<i>Xenocompsa flavonitida</i>	-	-	8	8
<i>Xenocompsa semipolita</i>	-	-	1	1
Subtotal Cerambycinae	175	249	95	519
Lamiinae				
<i>Acanopterus cristatipennis</i>	-	4	-	4
<i>Neohebestola humeralis</i>	-	1	2	3
Subtotal Lamiinae	-	5	2	7
Necydalinae				
<i>Hephaestion corralensis</i>	11	0	0	11
<i>Stenorholapus virescens</i>	1	0	0	1
Subtotal Necydalinae	12	-	-	12

En cuanto al registro de individuos capturados en cada tratamiento (cuadro 4), *E. laetus* y *C. submetallicum* fueron las especies más atraídas por los tratamientos, principalmente por el tratamiento 3-Hidroxi hexan-2-ona (T7). Para el caso particular de *E. laetus*, los tratamientos T3 (2R*, 3S-Hexanodiol) y T6 (2R*, 3R* -Hexanodiol) respectivamente son los componentes que muestran mayores capturas luego de T7. La mayoría de las capturas en número de especies y de ejemplares se concentran en la subfamilia Cerambycinae, atraídas por los tratamientos T7, T6 y T3, respectivamente. Por otra parte, se registran capturas en todos los tratamientos para la especie *E. laetus*. Prácticamente todas las capturas (216 de 218) de la especie *C. submetallicum* fueron registrados en 3-Hidroxi hexan-2-ona (T7) y una captura en dos tratamientos. Las mayores capturas de *C. testaceus* ocurrieron con el tratamiento Fuscumol (T2), seguido de Monocamol (T1), 2R*, 3S-Hexanodiol (T3) y 3-Hidroxi hexan-2-ona (T7). Los 3 tratamientos nombrados anteriormente presentan capturas iguales. Por otro lado, el compuesto Fuscumol acetato (T5) es el tratamiento que mostró menos capturas. Por último, en *Hephaestion corralensis*, el tratamiento Geranilacetona (T8) resultó ser el que capturó la mayor cantidad de ejemplares mientras que los otros tratamientos atractivos se mantuvieron con capturas más bajas.

Cuadro 4. Capturas de individuos de cada subfamilia por cada tratamiento

Subfamilia y Tribu ¹	Especie	Tratamiento								
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Control
Cerambycinae										
Callidiini	<i>Calydon submetallicum</i>	-	-	-	1	1	-	216	-	-
Unxiini	<i>Chenoderus testaceus</i>	4	5	4	-	2	-	4	-	1
Dichophyiini	<i>Eryphus laetus</i>	27	15	51	2	15	37	105	5	12
Compsocerini	<i>Maripanus decoratus</i>	-	-	1	-	1	-	-	-	-
Achrysonini	<i>Cotyachryson sulcicorne</i>	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Achrysonini	<i>Xenocompsa flavonitida</i>	-	2	1	-	1	1	1	2	-
Achrysonini	<i>Xenocompsa semipolita</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-
Lamiinae										
Desmiphorini	<i>Acanopterus cristatipennis</i>	-	1	-	-	1	-	-	1	1
Forsteriini	<i>Neohebestola humeralis</i>	1	-	1	-	-	-	-	-	1
Necydalinae										
Necydalini	<i>Hephaestion corralensis</i>	-	1	2	-	2	-	1	5	-
Necydalini	<i>Stenorhopalus virescens</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-

¹ Monné, 2021

Se realizó un recuento de capturas en la categoría de sexo en cada tratamiento para aquellas especies que contaban con un número mayor o igual a 10 capturas en total (especies marcadas en cuadro 4). Como se puede apreciar en los números totales del cuadro 5, la especie *C. submetallicum* registra mayores capturas de hembras que de machos y ambos casos atraídos principalmente por el tratamiento 3-Hidroxi hexan-2-ona (T7). Para el caso de *E. laetus*, se registran mayores capturas de hembras que de machos. También se logra observar que se registran capturas en todos los tratamientos para el caso de las hembras y no así para los machos, donde 2-metilbutanol (T4) y Geranilacetona (T8) fueron los tratamientos en que no se registraron ninguna captura. Para el caso de *Hephaestion* sp. registraron más capturas de hembras que de machos y estas se concentran en T8. Por último, *C. testaceus*, las mayores capturas son de machos por medio de los tratamientos T1, T2 y T3 con valores iguales.

Cuadro 5. Recuento de capturas por sexo de las especies con mayores capturas acumuladas (sobre 10 capturas).

Tratamiento	Especie y Sexo							
	<i>Calydon submetallicum</i>		<i>Chenoderus testaceus</i>		<i>Eryphus laetus</i>		<i>Hephaestion sp.</i>	
	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
Monocamol	-	-	4	-	11	16	-	-
Fuscumol	-	-	4	1	8	7	-	1
2R*, 3S - Hexanodiol	-	-	4	-	15	36	1	1
2 metilbutanol	-	1	-	-	-	2	-	-
Fuscumol acetato	1	-	2	-	5	10	-	2
2R*,3R-Hexanodiol	-	-	-	-	15	22	-	-
3-hidroxihexan-2-ona	94	122	3	1	58	47	-	1
Geranilacetona	-	-	-	-	-	5	-	5
Alcohol isopropílico (T9)	-	-	1	-	4	8	-	-
Total	95	123	18	2	116	153	1	10

Por último, la dinámica de las especies mayormente capturadas (figura 3), se visualiza que *E. laetus* presenta un aumento de capturas hasta mediados de la temporada, decayendo a inicios de marzo. En cambio *C. submetallicum* presenta tres momentos con mayor actividad en capturas durante la temporada, siendo las dos últimas semanas el momento las de menor actividad. Para el caso de *C. testaceus* y *Hephaestion corralensis*, las mayores capturas se observan al inicio del verano y este cesa durante el resto del periodo de muestreo.

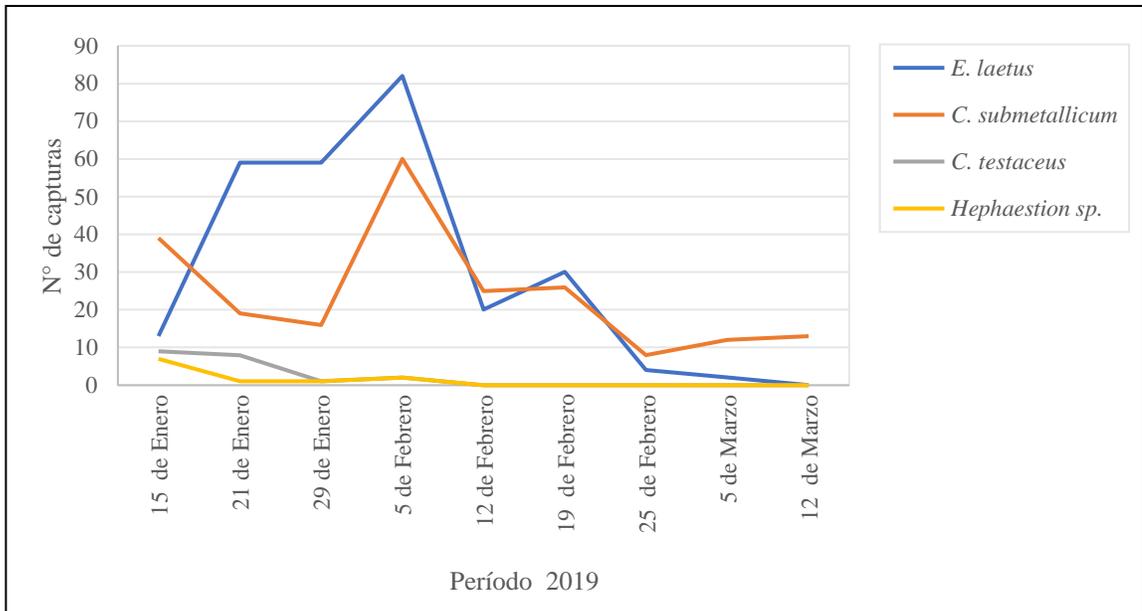


Figura 3. Dinámica de capturas observadas durante el periodo de verano 2019 de las especies mayormente capturadas.

El cuadro 6 muestra el análisis estadístico referente al número de capturas totales y diferenciado por sexo efectuadas en cada tratamiento correspondiente a *E. laetus*. La prueba de comparaciones múltiples de Fisher indicó que existen diferencias significativas entre tratamientos tanto en el número de capturas totales como también para capturas de macho y hembra (p -valor $\leq 0,0001$), siendo 3-hidroxihexan-2-ona (T7) el tratamiento con mayores niveles de captura para las tres mediciones, seguido por los tratamientos 2R*, 3S-Hexanodiol (T3) y 2R*,3R-Hexanodiol (T6).

La ausencia de diferencias entre el resto de los componentes y el control (testigo), incluso siendo T9 estadísticamente superior a T4 en el total, sugiere que las capturas se deben a la cualidad de intercepción del tipo de trampas usadas. Por otro lado, para los análisis de machos capturados no se incluyeron dos tratamientos debido a que no presentaron capturas (2 metilbutanol y Geranilacetona).

Cuadro 6. Prueba de comparaciones múltiples de Fisher para la especie *Eryphus laetus*.

	Tratamiento	<u>TOTAL <i>E. laetus</i></u>		<u>♂ <i>E. laetus</i></u>		<u>♀ <i>E. laetus</i></u>	
		Medias	P.C.M	Medias	P.C.M	Medias	P.C.M
T1	Monocamol	6,02	CD	2,22	BC	3,82	CD
T2	Fuscumol	3,34	DE	1,62	BC	1,67	DE
T3	2R*, 3S - Hexanodiol	11,36	B	3,03	B	8,59	AB
T4	2 metilbutanol	0,45	G	-	-	0,48	E
T5	Fuscumol acetato	3,34	DE	1,01	BC	2,39	CDE
T6	2R*,3R-Hexanodiol	8,24	BC	3,03	B	5,25	BC
T7	3-hidroxihexan-2-ona	23,4	A	11,71	A	11,22	A
T8	Geranilacetona	1,11	FG	-	-	1,19	E
Control	Alcohol isopropílico	2,67	EF	0,81	C	1,91	DE

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \geq 0,05$).

DISCUSIÓN

El análisis general deja en evidencia que los componentes feromonales de cerambícidos identificados de especies norteamericanas y otras regiones del mundo, resultaron ser atractivos para especies nativas en la zona de estudio. De hecho, las feromonas utilizadas se obtuvieron principalmente de especies de la subfamilia Cerambycinae, pero también algunas provienen de Lamiinae y Spondilynidae, lo que coincide con los principales resultados del presente estudio en La Araucanía. Ello cumple con el supuesto de que especies de diferentes zonas geográficas y cercanas taxonómicamente (a nivel de subfamilia y/o tribu) producen feromonas de composición similar (Allison et al., 2012), generando con frecuencia niveles de atracción cruzada a estos compuestos (Millar y Hanks, 2017).

Los resultados muestran que los tratamientos fueron mayormente atractivos en dos repeticiones (cuadro 2) y que el compuesto 3-hidroxihexan-2-ona (T7) es el componente feromonal que atrajo mayor número de ejemplares (cuadro 3), principalmente dos especies pertenecientes a la subfamilia Cerambycinae; *Callydon submetallicum* y *Eryphus laetus* (Cuadro 4), el que representa un 60% del total de ejemplares capturados. Además, las capturas de *E. laetus* y *C. submetallicum* son relativamente similares en ambos sexos lo que sugiere que este componente puede ser parte de sus respectivas feromonas de agregación, lo que debe verificarse en futuros estudios. Cabe mencionar que, de las especies mencionadas, *C. submetallicum* mostró una estricta preferencia por trampas cebadas con 3-hidroxihexan-2-ona sobre los demás tratamientos, mientras que *E. laetus* fue atraído significativamente, además, por otros dos compuestos.

Estudios previos, han mencionado que 3-hidroxihexan-2-ona se encuentra altamente conservado en la subfamilia Cerambycinae, principalmente en las tribus Anaglyptini, Clytini, Dichophyiini (anteriormente Heteropsini; Botero y Monné, 2018), Elaphidiini, Tillomorphini, Trachyderini y Callidiini (Lacey, 2009; Ray et al., 2006; Hanks et al., 2007; Ray et al., 2009; Millar y Hanks, 2017). A mayor abundamiento, la presencia de 3-hidroxihexan-2-ona en *C. submetallicum* y *E. laetus* permite reafirmar que este compuesto efectivamente atrae especies de la tribu Callidiini y Dichophyiini. Respecto a las demás especies capturadas por T7, pese a que en su mayoría correspondieron a especies de la misma subfamilia, no se puede tener certeza de que fue por efecto del tratamiento, ya que presentaron capturas acotadas y sin diferencias significativas respecto del testigo durante la temporada.

Por otro lado, los resultados obtenidos por 2R*, 3S - Hexanodiol (T3) y 2R*,3R-Hexanodiol (T6) muestran que tienen igual número de capturas significativa después del mejor tratamiento y que podrían considerarse como opción para atraer a *E. laetus*. La mayoría de las capturas asociadas a este tratamiento son de especies de la subfamilia Cerambycinae (cuadro 5). Lo visto en otras publicaciones evidencia que los compuestos 2R*, 3S - Hexanodiol y 2R*,3R-Hexanodiol, tienen efectividad de atracción a especies cerambicinas en otras regiones del mundo (Lacey et al., 2004), por lo que los resultados de *E. laetus*

reafirmarían de forma parcial este efecto.

En relación con los tratamientos Fuscumol (T2) y Fuscumol acetato (T5), ambos compuestos registran capturas de especies que pertenecen a la subfamilia Cerambycinae (cuadro 5). Tanto Fuscumol como Fuscumol acetato, son feromonas de agregación conservadas en la subfamilia Lamiinae y que también han servido como atrayente para algunas especies de la subfamilia Cerambycinae (Mitchell et al., 2011). A pesar de que Cerambycinae, en concreto la especie *E. laetus* registraron capturas, estas no mostraron diferencias significativas importantes en la temporada para mayor interpretación (cuadro 7).

Si bien, el uso de Fuscumol y Fuscumol acetato mostraron efectividad en especies de la subfamilia Lamiinae en otras regiones del mundo y principalmente especies de la tribu Acanthoderini y Acanthocinini (Hughes et al., 2013), no fue así en especies Lamiinae chilenas en este estudio, debido a las bajas capturas acumuladas por lo que no se analizaron estadísticamente. La atracción se pudo ver reducida porque los tratamientos no fueron suficientemente atractivos de manera individual y que posiblemente estos mismos compuestos sean más atrayentes si su uso es mediante mezclas, así como también utilizando los estereoisómeros de estos (Meier et al., 2019). Según Hughes et al., (2016) la quiralidad de los compuestos Fuscumol y Fuscumol acetato podría desempeñar un papel importante al momento de atraer especies y que, además, las mezclas en distintas proporciones podrían servir como feromonas para especies simpátricas.

Acerca de Monocamol (T1), este compuesto registra capturas principalmente de la especie *E. laetus*, sin embargo, no mostraron diferencias significativas en la temporada (ver cuadro 6). Puesto que Monocamol es una feromona de agregación que se encuentra conservada en especies del género *Monochamus* (subfamilia Lamiinae) (Pajares et al., 2013; Wickham et al., 2014), no es de sorprenderse que el compuesto no haya registrado capturas de este grupo en concreto, ya que en la actualidad no se cuentan con registros de especies *Monochamus* nativas en Chile (Monné, 2021), a menos que consideren la especie *Monochamus galloprovincialis*, considerada especie cuarentenaria y que fue interceptado en los productos madereros en el último tiempo en Talcahuano (Biobío Chile, 2021) y que no cuenta con registro de establecimiento en Chile producto de su control .

Ahora bien, ante una posible hipótesis (que se debería corroborar con estudios posteriores), si llegase a interceptarse una especie del género *Monochamus* en Chile, la evaluación del uso del compuesto Monocamol debe ser efectiva, ya que, en experimentos en campo realizados en otras regiones del mundo, se demuestra la capacidad de atracción de este compuesto en la mayoría de las especies de este grupo de insectos (Schroeder, 2019).

Los compuestos geranilacetona (T8) y 2-metilbutanol (T4) fueron los tratamientos menos atractivos en toda la temporada (cuadro 2). Sin embargo, pese a que 2-metilbutanol presentó una cantidad baja de capturas, todas ellas pertenecen a ejemplares de la subfamilia Cerambycinae, principalmente de la tribu Dhichopyiini, Callidiini y Achrysonini (cuadro 4). Según lo reportado por otros autores, el compuesto 2-metilbutanol ha sido identificado

principalmente en ejemplares de la Tribu Callidiini como una feromona de agregación sexual (Molander et al., 2018). Por otro lado, geranilacetona, muestra capturas acotadas pero mayoritarias de una especie proveniente de la subfamilia Necydalinae (*H. corralensis*), sin embargo, el número de capturas no permite concluir que ello haya sido por el efecto del tratamiento. La baja efectividad de los compuestos nombrados podría vincularse a que su función no estaría vinculada a la atracción intraespecífica, sino que más bien, tendrían un papel en la mediación de la interacción entre especies simpátricas, lo que antagonizaría la atracción por un componente de una feromona compartida (Hanks et al., 2019).

Las publicaciones más actuales sugieren que las mezclas feromonales podrían mejorar las capturas en número de especies (Wong et al., 2012). Tales mezclas pueden ser ventajosas ya que se ha observado que especies de cerambícidos responden con más intensidad a combinaciones que a compuestos de manera individual y que su actividad combinada también ha sido efectiva a especies que no necesariamente presentan estos compuestos (Ray et al., 2015). Si bien es cierto la efectividad de las mezclas, no es posible concluir al respecto ya que el presente estudio fue diseñado con evaluaciones de compuestos individuales, y todavía es posible que algún compuesto en una mezcla funcione como un antagonista con alguna(s) especie(s) (Meier et al., 2019)

La fenología estacional de las especies también podría considerarse esencial al momento de usar señuelos genéricos. Si se observa la figura 3, el uso de feromonas en la temporada, sólo se vieron capturas importantes (en el rango de cientos) de las especies *E. laetus* y *C. submetallicum*, lo que podría decirse que efectivamente coincidió con el periodo de vuelo de estas (ver ficha técnica en Anexo), en comparación a las otras especies en que se veían números mínimos. El motivo por el que no se hayan registrado números considerables de otras especies, en la que los compuestos testeados fueran atractivos, es que posiblemente no se hizo coincidir el momento del ensayo con el periodo de vuelo de ellas. Esto, si se observa en la naturaleza, explicaría también en que reducen la atracción cruzada producto de la segregación estacional de las especies y diferencias en el periodo de vuelo cuando se presentan componentes feromonales similares o idénticas (Hanks y Millar, 2013; Hanks et al., 2014 y Mitchell et al., 2015).

Con respecto a las especies capturadas, todas son especies nativas y tienen una diversidad hospederos en que llevan a cabo su desarrollo (Ver anexo). Además, algunos cuentan con antecedentes de haber sido detectados en otros sectores del mundo tales como E.E.U.U (Pizarro et al., 2019). La mayoría de las veces, sus daños no son detectados de manera temprana, visualizándose finalmente en el producto maderero (Wang, 2017). Si bien, algunas de ellas presentan estrategias para su manejo, no son lo suficientemente efectivos y es por esto por lo que, el uso de feromonas genéricas sería una forma más efectiva para el manejo de la población como Cerambycidae en cultivares forestales y agrícolas en la actualidad, mientras no se precisen sus respectivas feromonas.

Finalizando, la base de datos obtenidos en Science Citation Index Expanded (SCI Expanded) de Web of Science, se encontraron más de 428 publicaciones referentes a feromonas de cerambícidos en las últimas 4 décadas, enfocadas a diversas disciplinas y que siguen aumentando. En cuanto a estas investigaciones, sus aplicaciones han sido diversas y orientadas a contribuir en el conocimiento de ecología química en cerambícidos, centrado tanto en el desarrollo de técnicas de control y monitoreo de plagas introducidas o nativas, así como también al estudio de las dinámicas poblacionales y ecología en áreas forestales.

De los artículos publicados, a nivel mundial quien lidera esta área del conocimiento es EE. UU. con un total de 197 registros. Por el otro lado, Brasil, Chile y Uruguay son los países que en Latinoamérica cuentan con un mayor número de publicaciones, siendo Brasil quien ostenta un número total de 15 registros, seguido por Chile con 7 registros y después Uruguay. con 3 registros. Si bien, a nivel nacional la investigación de diferentes aspectos de especies cerambícidas se ha visto en auge tanto en especies nativas como introducidas, el estudio para su manejo sigue siendo escaso, al igual que el estudio de su ecología química. Es por este motivo que la labor investigativa en este tipo de materias se considera crucial para el hallazgo de estructuras feromonales, principalmente en lo relativo al grupo de insectos cerambícidos.

CONCLUSIONES

El compuesto 3 hidroxihexan-2-ona fue el más atractivo en número de ejemplares atraídos, con resultados significativos en dos especies: *Calydon submetallicum* y *Eryphus laetus*. Le siguen los dos isómeros de hexanodiol para *E. laetus*.

Tanto 3 hidroxihexan-2-ona y los dos isómeros de hexanodiol parecen funcionar como feromona de agregación para las especies nombradas. Los demás componentes no tuvieron resultados concluyentes, aunque destaca fuscumol acetato que atrajo 9 especies de cerambícidos.

Por último, las capturas correspondieron a especies nativas, algunas de importancia económica y que no cuentan con manejos para su control. Es por esto, que el uso de feromonas genéricas sería una opción para el monitoreo y posterior manejo de estas especies

BIBLIOGRAFÍA

- 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 alpha-pinene. *Environmental Entomology*, 41(6): 1587-1596.
- Allison, J.D.; T.H. Borden and S.J. Seybold. 2004. A review of the chemical ecology of the Cerambycidae (Coleoptera). *Chemoecology*, 14: 123-150.
- Artigas, J. N. 1994. Familia Cerambycidae. (cap. 27.6, pp. 120-160). En su: Entomología Económica: Insectos de interés agrícola, forestal, médico y veterinario. (Primera Edición). Concepción: Chile: Ediciones Universidad de Concepción. 943p.
- Báez, P. 2013. Marco referencial para el estudio de Bosques de *Nothofagus obliqua* (Mirb.) afectados por *Holopterus chilensis* (Blanch.) en Chile. Memoria de Ingeniero Forestal. Temuco, Chile: Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad de la Frontera. 80p
- Barriga, J.; T. Curkovic; T. Fichet; J. Henríquez y J. Macaya. 1993. Nuevos Antecedentes de Coleopteros Xilófagos y Plantas Hospederas en Chile, con una recopilación de citas previas. *Revista Chilena de Entomología*, 20: 65-91.
- Birch, M.C. 1974. Aphrodisiac Pheromones in insects. *American Elsevier*
- Blomquist, G. and R. Vogt. 2021. Production and reception of insect pheromones: Introduction and overview (cap. 1, pp. 1-12). En: Insect Pheromone Biochemistry and Molecular Biology. Second Edition. UK: Academic Press. 729p.
- Botero, J.P. and M.L. Monné. 2018. Cladistic análisis of the tribe Eburiini Blanchard, 1945 and revalidation of the tribe Dychophyiini Gistel, 1848 (Coleoptera: Cerambycidae). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 20: 1-28.
- Brodie, B.S.; V. D. Popescu; R. Iosif; C. Ciocanea; S. Manolache; G. Vanau; A. A. Gavrilidis; R. Serafim and L. Rozyłowicz. 2019. Non-lethal monitoring of longicorn beetle communities using generic pheromone lures and occupancy models. *Ecological indicators*, 101: 330-340.
- Cardé, R. and T.C. Baker. 1984. Sexual Communication with Pheromones. *Chemical Ecology of insects*, 355 -383.
- Curkovic, T.; D. Rodríguez; A. Huerta; J. Bergmann and R. Ceballos. 2018. Behavioral and physiological response of male *Callisphyrus apicicornis* (Coleoptera: Cerambycidae) to virgin con-specific females' extracts. *Chilean Journal of Agricultural Research*; 78(4): 470-477.
- Durán, V. 2010. Flora Pteridophytica nativa asociada a las distintas comunidades

- vegetacionales en el Predio Rucamanque, IX Región. Memoria de Ingeniero Forestal. Temuco, Chile: Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad de la Frontera. 93p.
- FAO. 2008. Manual de Plagas y Enfermedades del Bosque Nativo en Chile. Primera Edition. Santiago: Chile: Imprenta Maval Ltda.
- González, G. 2012. Patologías bióticas de la madera de los bosques templados de Chile, a la Selva Atlántica de Misiones. Tesina Magíster en Madera-Módulo 1. Concepción, Chile: Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño. 70p.
- Haack, R.A. 2017. Feeding Biology of Cerambycids. (cap. 3, pp.105-132). En: Wang, Q. (ed). *Cerambycidae of the World*. NW, E.E.U.U.: CRC Press. 643p.
- Haack, R.A.; M. A. Keena and D. Eyre. 2017. Life History and Population Dynamics of Cerambycids. (cap. 2, pp. 71-104). En: Wang, Q. (ed). *Cerambycidae of the World*. NW, E.E.U.U.: CRC Press. 643p.
- 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. and J.G. Millar. 2016. Sex and Aggregation-Sex Pheromones of Cerambycid Beetles: Basic Science and Practical Applications. *Journal of Economic Entomology*, 42(7): 631-654.
- Hanks, L.M.; J.A. Mongold; R.F. Mitchell; Y. Zou; J.C. Wong; L.R. Meier; T.D. Johnson 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.A.; M.W. Griffiths; H.F. Nahrung; P.A. Arnold; L. M. Hanks and J. G. Millar. 2016. Optimizing Generic Cerambycid Pheromone Lures for Australian Biosecurity and Biodiversity Monitoring. *Journal of Economic Entomology*, 0(0): 1-9.
- Hughes, G.P.; Y. Zou; J.G., Millar and M.D. Ginzel. 2013. (S)-fusicumol and (S)-fusicumol acetate produced by a male *Astyleiopus variegatus* (Coleoptera: Cerambycidae). *Entomological Society of Canada*, 145: 327-332.
- Hughes, G.P.; L.R. Meier, Y. Zou; J.G. Millar; L.M. Hanks and M.D. Ginzel. 2016. Stereochemistry of Fusicumol and Fusicumol Acetate Influences Attraction of Longhorned Beetles (Coleoptera: Cerambycidae) of the Subfamily Lamiinae. *Chemical Ecology*, 45(5): 1271-1275.
- Jara, N. 2013. Capacidad de carga turística en el sendero “Triwe” del Predio Rucamanque y generación de un sistema de registro de visitantes. Memoria de Ingeniero en Recursos Naturales. Temuco, Chile: Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad de la Frontera. 97p.

- Karuppuchamy, P. and S. Venugopal. 2016. Integrated Pest Management (cap. 21, pp. 651-684). In: Omkar (Ed.). Ecofriendly Pest Management for Food Security. India: Academic Press. 762p.
- Lacey, E.S.; M.D. Hinzl; J.G. Millar and L.M. Hanks. 2004. Male-produced aggregation Pheromone of the Cerambycid Beetle *Neoclytus acuminatus acuminatus*. *Journal of Chemical Ecology*, 30(8): 1493-1507.
- Lara, C. 2013. Caracterización de avifauna diurna en sendero Triwe como potencial del turismo de intereses especiales en el predio Rucamanque. Memoria de Ingeniero en Recursos Naturales. Temuco, Chile: Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad de la Frontera. 75p.
- 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(11): 1181-1192.
- Millar, J.G. and L.M. Hanks. 2017. Chemical Ecology of Cerambycids. (cap. 5, 161-208). En: Wang, Q. (ed). Cerambycidae of the World. NW, E.E.U.U.: CRC Press. 643p.
- Mitchell, R.F.; E.E., Graham; J.C.H., Wong; P.F., Reagel; B.L. Striman; G.P., Hughes; M.A., Paschen; M.D., Ginzl; J.C. Millar 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: 71-77.
- Mitchell, R.F.; P.F. Reagel; J.C.H. Wong; L.R. Meier; W.D. Silva; J. Mongold-Diers; J.G. Millar and L.M. Hanks. 2015. Cerambycid Beetle Species with Similar Pheromones are Segregated by Phenology and Minor Pheromone Components. *Journal of Chemical Ecology*, 41(5): 431 -441.
- Monné, M.L.; M.A. Monné and Q. Wang. 2017. General Morphology, Classification, and Biology of Cerambycidae. (cap. 1, pp. 1-70). En: Wang, Q. (ed). Cerambycidae of the World. NW, E.E.U.U.: CRC Press. 643p.
- Monné, M. 2021. Catalogue of the Cerambycidae (Coleoptera) of the Neotropical Region. Part I. Subfamily Cerambycinae.
- Monné, M. 2021. Catalogue of the Cerambycidae (Coleoptera) of the Neotropical Region. Part II. Subfamily Lamiinae.
- Monné, M. 2021. Catalogue of the Cerambycidae (Coleoptera) of the Neotropical Region. Part III. Subfamilies Lepturinae, Necydalinae, Parandrinae, Prioninae, Spondylidinae and Families Oxypeltidae, Vesperidae and Disteniidae.
- Navarrete, W. 2006. Caracterización entomológica de renovales de *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser (Comuna de Empedrado, VII Región). Memoria de Ingeniero Forestal. Santiago: Chile: Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. 84p.
- Noguera, F.A. 2014. Biodiversity of Cerambycidae (Coleoptera) in Mexico. *Revista*

- Mexicana de Biodiversidad*, 85(1): 290-297.
- Noguera, F.A. y N. Gutiérrez. 2017. Familia Cerambycidae. Taxonomía de Insectos: Orden Coleoptera. *CHAP*, 293-303.
- Orellana, P. 2010. Estudio de la flora nativa en remanentes vegetacionales presentes en el Predio Maquehue de la Universidad de la Frontera. Memoria de Ingeniero Agrónomo. Temuco, Chile: Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad de la Frontera. 83p.
- Pizarro, J.; F.M. Alfaro; R.A. Muñoz; J.E. Barriga and L. Letelier. 2019. Arthropods of forestry and medical-veterinary importance in the Limarí basin (Coquimbo region, Chile). *Ciencia e investigación agrarian*, 46(1): 40-49.
- Rassati, D.; M. Marchioro; L. Flaherty; R. Poloni; S. Edwards; M. Faccoli and J. Sweeney. 2020. 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.; 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 Economic Entomology*, 108: 1860 -1868.
- Resolución N° 5430 Exenta. Declara el Control obligatorio de la plaga *Hylotrupes bajulus* (Linnaeus, 1758). [En línea]. 23 de julio de 2019. Santiago, Chile: Recuperado en < <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1134440&idParte=&idVersion=>> Consultado el: 7 de junio de 2022.
- Risso, T.; Talcahuano: detectan plaga forestal en embalajes de madera provenientes del extranjero. *Biobio Chile*. Concepción, Chile. 5 de mayo de 2021. [en línea](En sección: Nacional). Recuperado en: < <https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-del-bio-bio/2021/05/05/talcahuano-detectan-plaga-forestal-en-embalajes-de-madera-provenientes-del-extranjero.shtml>> Consultado el: 12 de junio de 2022.
- Rojas, E. y R. Gallardo. 2004. Manual de Insectos Asociados a Maderas en la zona sur de Chile. SAG: Ministerio de Agricultura. 66p
- Rossa, R. and J. Goczal. 2021. Global diversity and distribution of longhorn beetles (Coleoptera: Cerambycidae). *The European Zoological Journal*, 88(1):289-302.
- SAG. 2004. Informe anual del Subdepartamento de Vigilancia y Control de Plagas Forestales y Exóticas Invasoras. 116p.
- Schroeder, M. 2019. Trapping Strategy for *Monochamus sutor* and *Monochamus galloprovincialis*: potential vectors of the pine wood nematode in Scandinavia. *Agricultural and Forest Entomology*, 21(4): 372-378.
- Stenberg, J.A. 2017. A Conceptual Framework for Integrated Pest Management. *Trends in Plant Science*, 22(9): 759-769.

- Tapia, A.; Zuñiga, A. A y R. Rebolledo. 2011. Carábidos (Coleoptera: Cerabidae) presentes en un relicto vegetacional del llano central de la Araucanía. *Idesia*, 29(3): 87-94.
- Wang, Q. 2017. Cultural Control of Cerambycid Pests. (cap.9, pp. 305-328). En su: *Cerambycidae of the World*. NW, E.E.U.U.: CRC Press. 643p.
- Web of Science. 2021. [En línea]. New York, Estados Unidos: Clarivate Analytics. Recuperado en: <
<https://access.clarivate.com/login?app=wos&alternative=true&shibShireURL=https%3A%2F%2Fwww.webofknowledge.com%2F%3Fauth%3DShibboleth&shibReturnURL=https%3A%2F%2Fwww.webofknowledge.com%2F%3Fmode%3DNextgen%26action%3Dtransfer%26path%3D%252Fwos%252Fwoscc%252Fbasic-search%26DestApp%3DUA&referrer=mode%3DNextgen%26path%3D%252Fwos%252Fwoscc%252Fbasic-search%26DestApp%3DUA%26action%3Dtransfer&roaming=true>>
- 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.
- Wong, J.C.H.; R.F. Mitchell; B. 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 Economy Entomology*, 105: 906 -915.
- Wyatt, T. 2019. Invertebrate Pheromones: Models for Neuroethology. *Encyclopedia of Animal Behavior (Second Edition)*, 31-39.
- Zuñiga, A.; A. Muñoz-Pedrerros and A. Fierro. 2009. Habitat use of four terrestrial carnivores in southern Chile. *Guyana*, 73(2): 200-210.

ANEXOS

Vistas dorsales y/o ventrales de especies capturadas por sexo, y genitalia

Figura 4. Vistas dorsal y ventral (extremo posterior) de machos y hembras de la especie *Eryphus laetus*.

Macho

Hembra

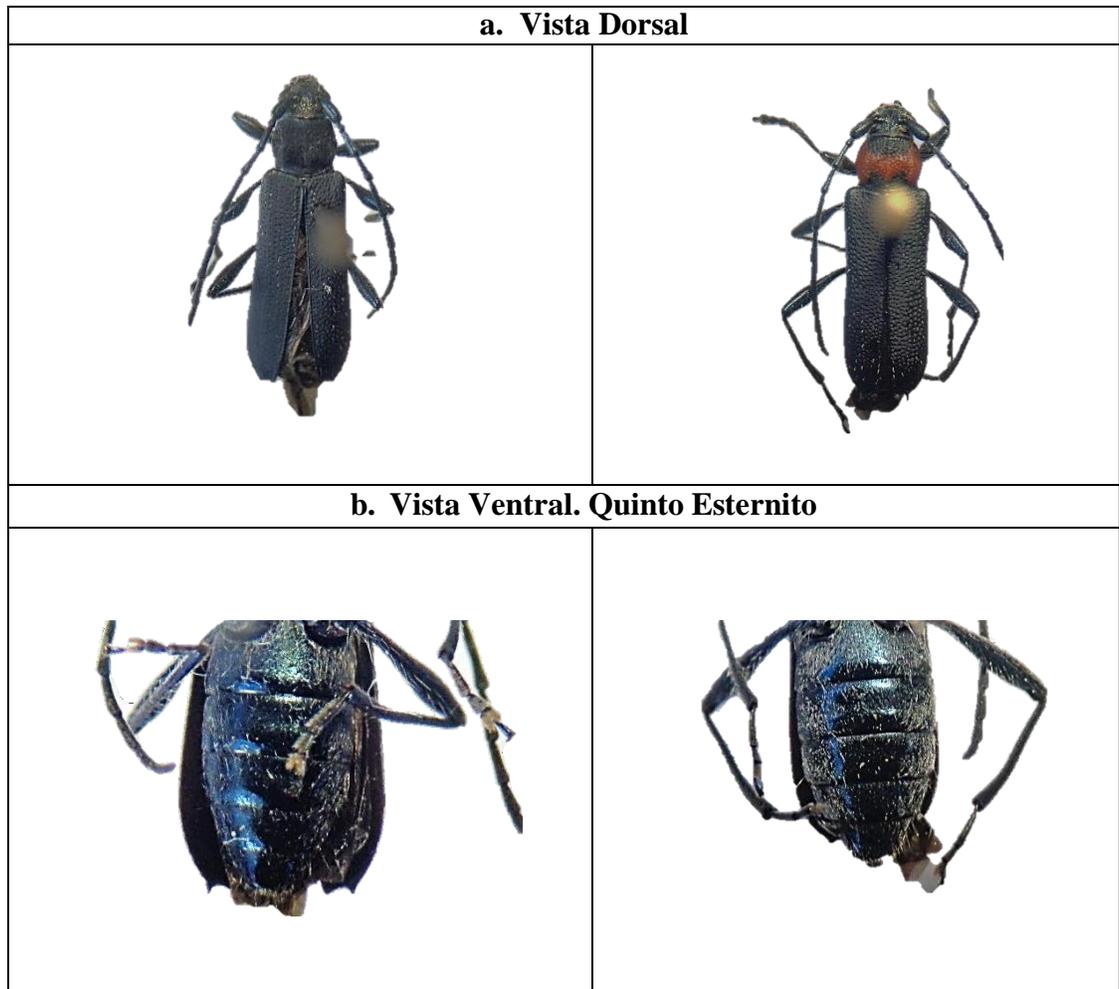


Figura 5. Vistas dorsal y ventral (extremo posterior) y genitalia interna de machos y hembras de la especie *Calydon submetallicum*

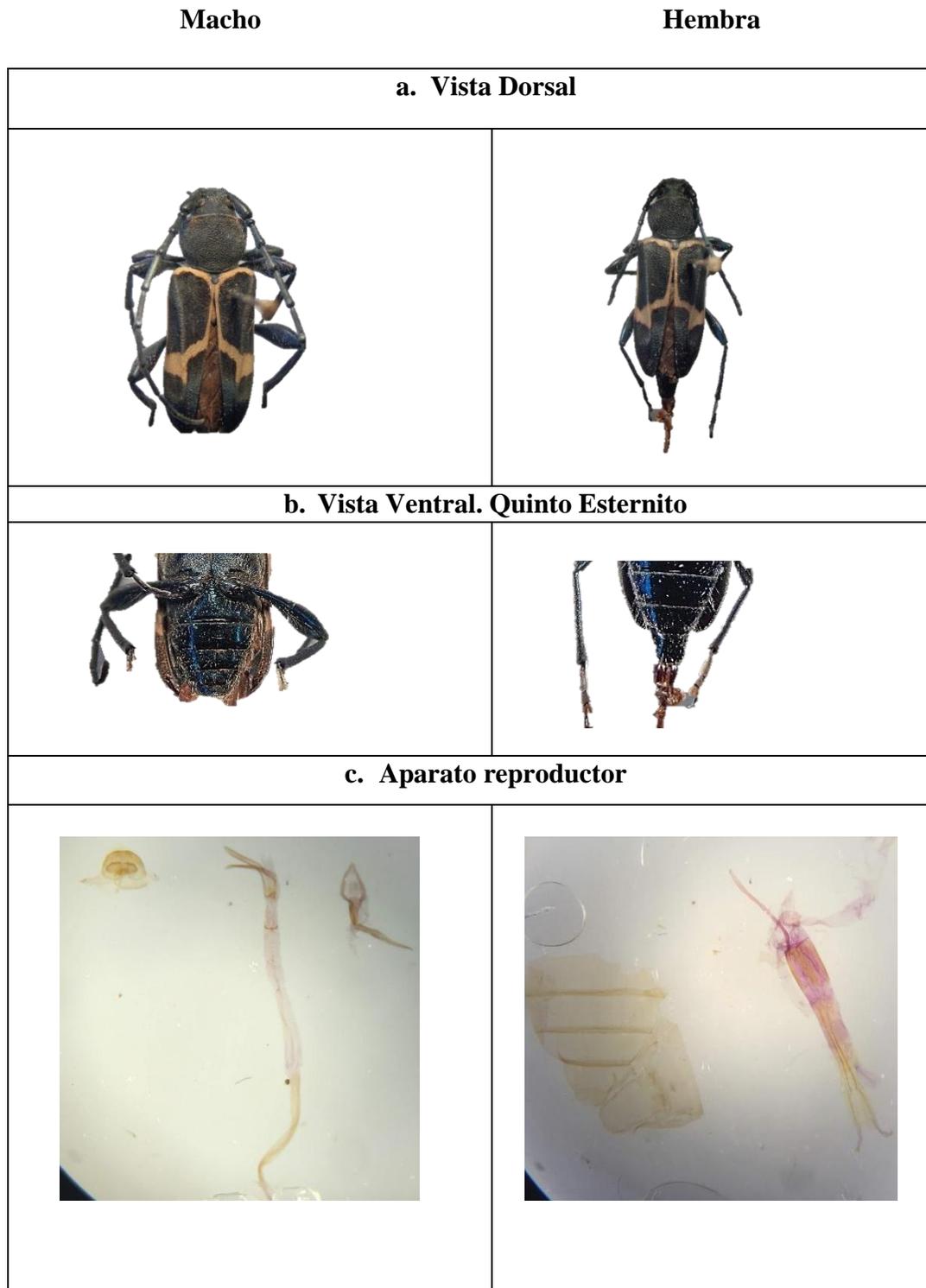


Figura 6. Vistas dorsal y ventral (extremo posterior) y genitalia interna de machos y hembras de la especie *Chenoderus testaceus*

Macho

Hembra

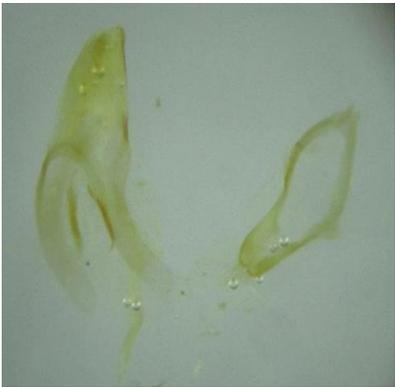
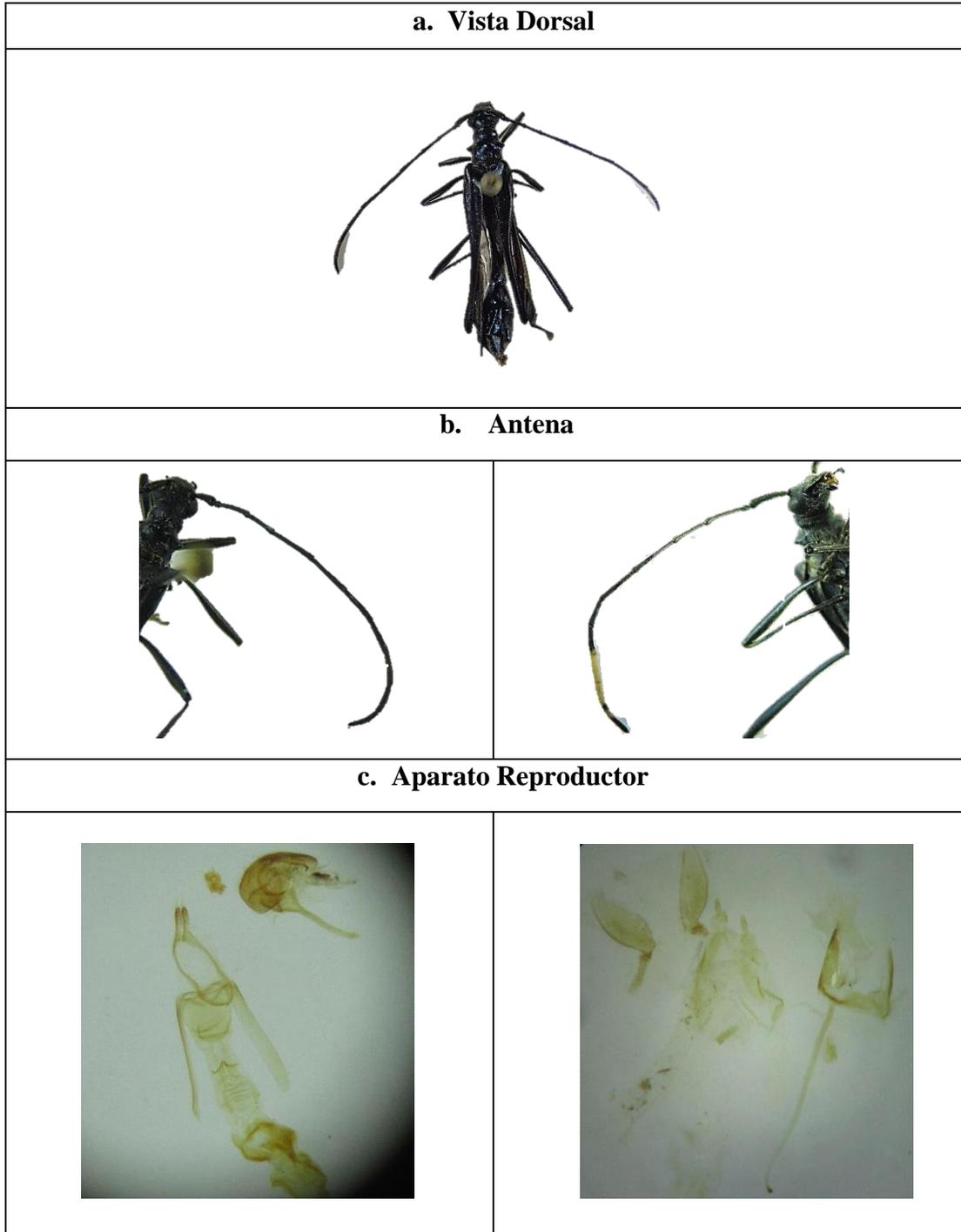
a. Vista Dorsal	
	
b. Vista Ventral. Quinto esternito	
	
c. Aparato reproductor	
	

Figura 7. Vista dorsal, vista de la antena y genitalia interna de machos y hembras de la especie *Hephaestion corralensis*.

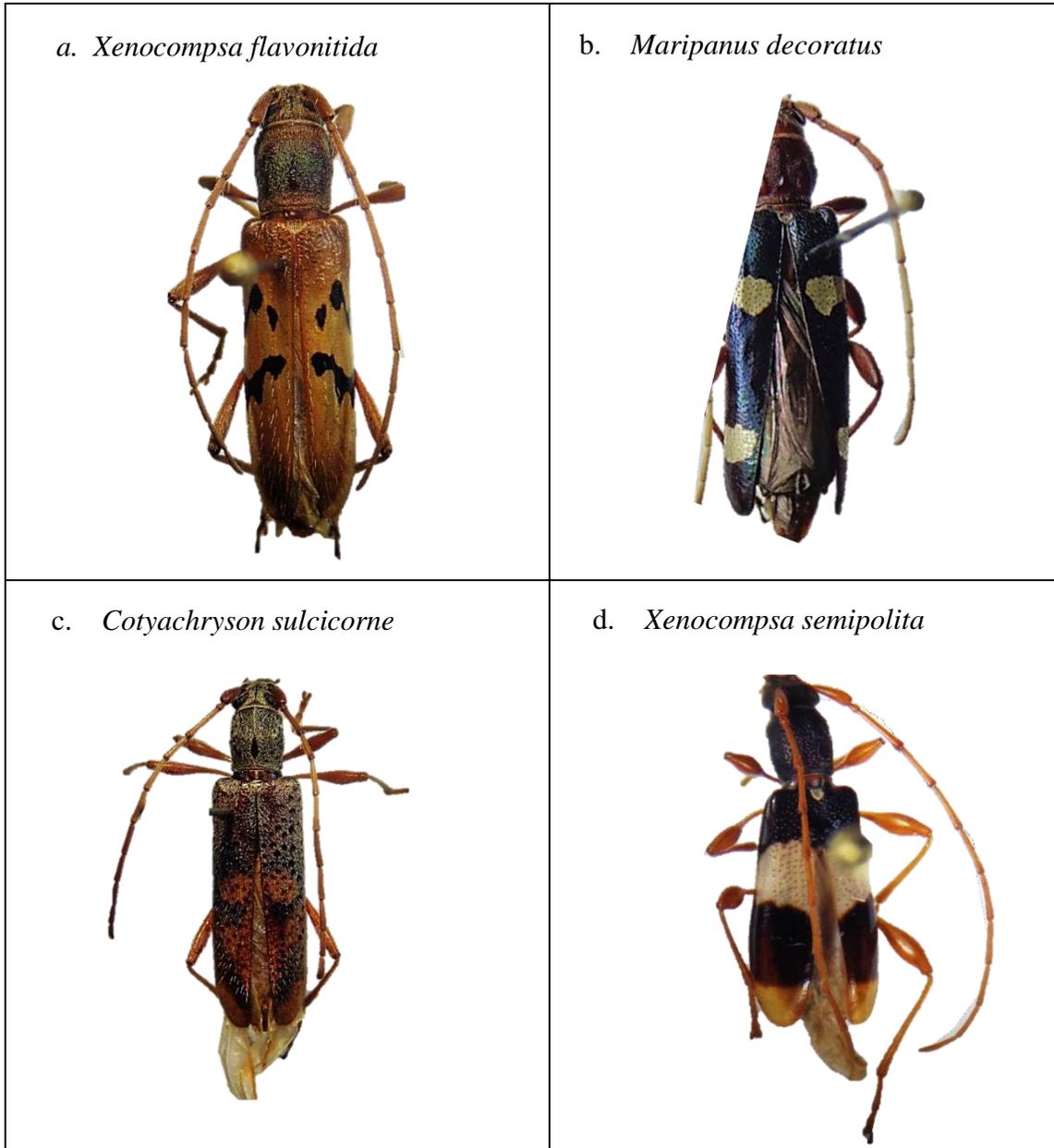
Macho

Hembra



Cerambycidae capturados

Figura 8. Fotografías de Cerambícidos capturados e identificados en las zonas de Estudio



e. *Acanopterus cristatipenis*



f. *Neohebestola humeralis*



g. *Stenorholopus virescens*



Método de extracción de genitalia interna

Método basado según Robinson, 1976; Barriga y Cepeda, 2004; Lee y Brwon, 2006.

El material utilizado se obtuvo a partir de ejemplares adultos de colección que se encuentran nombrados en el cuadro 1. El proceso de extracción en insectos de colección consistió en cortar el estergo del insecto (novenno o decimo esterno abdominal fusionado). Posteriormente la muestra se sumergió en KOH 10% durante 24 horas a temperatura ambiente para desengrasar la estructura abdominal. Una vez transcurrido el tiempo, se procedió a la limpieza de la estructura, la que consistió en lavar la muestra en agua destilada por 5 minutos con el fin de eliminar el contenido de KOH y después se sumergió en alcohol 96% durante 10 minutos y ácido acético 0,5% durante media hora para deshidratado de la muestra. El abdomen se corta por un costado y mediante una punta se extrae cuidadosamente el aparato reproductor, luego se tiñe por 30 a 50 segundos con azul de metilo y luego en alcohol al 70% para eliminar el exceso de tinción. La muestra se deposita con cuidado en un portaobjeto y con una gotita de alcohol se arregla la muestra y procede a la visualización mediante lupa.

Para la visualización de muestras frescas, esta se sumerge en alcohol al 70% y Glicerina para una mejor visualización en lupa estereoscópica 12,5X.

Fichas de las Especies de importancia económica capturadas

Especie	Descripción
<i>Callydon submetallicum</i>	<p data-bbox="634 365 1464 659">Especie nativa asociado a Roble, Coihue, Lenga, Ñirre, Quillay, entre otros (Barriga et al, 1993). Se encuentra distribuido desde la región de Valparaíso hasta la región de Magallanes en bosque nativo de <i>Nothofagus</i> (González, 2012). Los adultos se ocultan en las irregularidades de la corteza de los robles caídos, donde posteriormente se depositarán los huevos en primavera (SAG, 2004). Las larvas se alimentan bajo la corteza de los árboles recién caídos o muertos, efectuando galerías y produciendo aserrín compactado (González, 2012).</p> <p data-bbox="634 701 1464 827">Los adultos se pueden observar desde octubre a enero donde frecuentan la floración de sus principales hospederos, como también de árboles recién cortados o muertos, en donde la hembra efectúa la postura (Navarrete, 2006)</p> <p data-bbox="634 869 1464 1058">El Daño se presenta en madera muerta (Cameron y Peña, 1982; FAO, 2008), como troncos apilados, en los que se pueden visualizar la actividad larvaria por las galerías en su interior (Navarrete, 2006). Como consecuencia del daño, baja la calidad de la madera al existir perforaciones que dejan la entrada al agua y hongos al interior de este (Baldini et al, 1994; FAO, 2008).</p> <p data-bbox="634 1100 1464 1226">En la actualidad no existen antecedentes de técnicas de manejo integrado. Sin embargo, se han visualizado avispa parásitas (<i>Pristaulacus</i> sp.) que han emergido desde trozas que contenían las larvas y pupas de <i>C. submetallicum</i> (Barriga, 1990; FAO, 2008)</p>
<i>Eryphus laetus</i>	<p data-bbox="634 1272 1464 1499">Es una especie nativa que se distribuye desde la región de Copiapó a la región de Los Lagos según algunos autores (Artigas, 1994) y generalmente en bosque nativo, zonas urbanas y periurbanas (SAG, 2004). Ataca madera con corteza decadente o en proceso de secamiento en que las larvas efectúan galerías bajo de ella produciendo aserrín fino y compactado (Artigas, 1994). Previo a la pupación, las galerías se profundizan hacia la madera.</p> <p data-bbox="634 1541 1464 1625">El ciclo de vida de esta especie se estima de un año y en las regiones de la zona de Centro y Sur de Chile, el periodo de vuelo se concentra entre los meses de octubre y febrero (Rojas y Gallardo, 2004).</p> <p data-bbox="634 1667 1464 1730">En la actualidad no existen antecedentes de técnicas de manejo integrado (SAG, 2004)</p>

<i>Chenoderus testaceus</i>	<p>Es una especie nativa que se distribuye desde la región del Maule hasta la región de Los Lagos y se asocia a árboles como el Hualle, Coigue y Eucaliptus en condiciones secas (FAO, 2008). Las larvas generan galerías de cámaras amplias bajo la corteza, las que son rellenas con aserrín y excremento (Lanfranco et al., 2002; FAO, 2008)</p> <p>Su daño puede ser de importancia en madera destinado a chapas y parquets. En la Décima Región, se estima a los menos una generación al año, con captura de adultos concentrada entre los meses de septiembre y febrero (Rojas y Gallardo, 2004).</p> <p>En la actualidad no existen antecedentes de técnicas de manejo integrado (FAO, 2008). Sin embargo, como implicancias internacionales, ocasionalmente se obliga a fumigar la madera infestada (Artigas, 1994).</p>
-----------------------------	--