

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**Potencial uso de feromonas para el control de plagas en el
sector agrícola**

Trabajo de investigación para la obtención del grado académico de
Bachiller en ciencias con mención en química presentado por:

Vanessa Jessenia Mayorga Martino

Asesora:

Dra. Madina Mansurova

Lima, 2023

Informe de Similitud

Yo,**Madina Mansurova**.....,

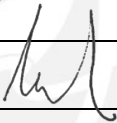
docente de la Facultad deCiencias e Ingeniería..... de la Pontificia
Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado
...Potencial uso de feromonas para el control de plagas en el sector agrícola

.....,
del/de la autor(a)/ de los(as) autores(as)**Vanessa Jessenia Mayorga Martino**

.....,
dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de **9%**. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el **24/11/2023**.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha:Lima, 24.11.2023.....

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: Mansurova, Madina <u>Paterno Materno, Nombre1 Nombre 2</u>	
DNI: 49071162	Firma 
ORCID: 0000-0001-6284-8283	

Resumen

Este trabajo describe los principales problemas que presenta el sector agrícola a nivel nacional e internacional, y está especialmente enfocado en los causados por las plagas de insectos. Se analizan los métodos de control de plagas existentes, dentro de los cuales destaca el uso de semioquímicos. Estos últimos presentan aplicaciones para el manejo de plagas, tales como el monitoreo, la interrupción de apareamiento y el trapeo masivo, entre otros. Se exponen las ventajas de estos métodos de control sobre los convencionales, así como los retos que presentan. Finalmente, se describe al escarabajo de la hoja de mostaza, *Phaedon cochleariae*, el cual es una plaga común en plantas crucíferas en el continente europeo, el continente asiático y en Norteamérica. También, se menciona cómo estos insectos son controlados en la actualidad y se propone el uso de hidrocarburos del tipo metilalcanos como potencial semioquímico para un control de la plaga más eco-amigable y eficiente que los métodos utilizados en la actualidad.

Índice general

1. Plagas de insectos a nivel nacional e internacional en el sector agrícola.....	5
1.1. La agricultura y sus desafíos	5
1.2. Impacto de las plagas de insectos.....	6
1.3. Técnicas para combatir las plagas de insectos	10
2. Semioquímicos	12
2.1. Definición, clasificación química y funciones	12
2.2. Uso de semioquímicos para el control de plagas	14
2.2.1. Ventajas y retos.....	16
3. Escarabajo de la hoja de mostaza <i>Phaedon cochleariae</i>	18
3.1. Aspecto biológico.....	18
3.2. Daños causados por la especie <i>Phaedon cochleariae</i> y métodos de control empleados para las plagas de la familia Chrysomelidae	20
3.3. El rol de los hidrocarburos en el comportamiento de la plaga	22
4. Conclusiones y perspectivas.....	25

Índice de figuras

Figura 1. Clasificación taxonómica de la especie <i>Phaedon cochleariae</i>	18
Figura 2. Escarabajo de la hoja de mostaza, <i>Phaedon cochleariae</i>	19
Figura 3. Ciclo de vida de la especie <i>Phaedon cochleariae</i>	20
Figura 4. Estructuras químicas de algunos hidrocarburos cuticulares presentes en insectos.	23



Índice de tablas

Tabla 1. Superficie de siembra y producción de crucíferas en el Perú en el 2021	6
Tabla 2. Clasificación, distribución y daños que causan plagas de insectos en plantas crucíferas.....	8
Tabla 3. Tipos de feromonas en insectos, función y estructura química de algunos ejemplos de compuestos.....	13
Tabla 4. Insecticidas utilizados en escarabajos de la familia Chrysomelidae para el control de plagas.	21



1. Plagas de insectos a nivel nacional e internacional en el sector agrícola

1.1. La agricultura y sus desafíos

La agricultura es uno de los pilares más importantes de la civilización humana, al ser esta esencial para el desarrollo económico y social en todos los países en el mundo y fundamental en relación con la seguridad alimentaria, la cual significa asegurar el acceso y disponibilidad de alimentos de calidad.^{1,2} Sin embargo, a pesar del alto potencial económico de este sector, existen varios desafíos que dificultan su eficiente desarrollo.¹ Por ejemplo, a nivel nacional e internacional, se pueden presentar problemas políticos, económicos, sociales y tecnológicos que afectan a la agricultura.¹ En el primer caso, la inestabilidad política, la corrupción y la falta de leyes que creen mejores condiciones para los negocios agrícolas provocan incertidumbre y, consecuentemente, disminuyen la inversión en el sector. En el caso de los problemas económicos, la inestabilidad monetaria y la inflación ocasionan, dificultan e incluso imposibilitan, la obtención de la materia prima necesaria para el cultivo y el control. Desde el punto de vista social, la alta migración juvenil hacia las ciudades tiene como consecuencia la falta de mano de obra. Por último, en el caso de los desafíos tecnológicos, la falta de maquinaria y nueva tecnología para una automatización de los procesos agrícolas provocan lentitud y poca eficiencia en el desarrollo del sector.¹ Dentro del marco nacional, es importante señalar que uno de los mayores problemas es la informalidad, ya que debido a la falta de educación ambiental y las malas prácticas cometidas sobre territorios agrarios se ha perdido gran parte de la diversidad agrícola del país.³

Otro de los grandes desafíos que enfrenta la agricultura nacional e internacional es la presencia de las plagas. Entre los tipos de plagas que existen, las más problemáticas son las plagas de insectos, presentes en gran variedad y cantidad en el sector agrícola.^{4,5}

Dentro de la gran diversidad de familias de cultivos que existe, las crucíferas, también llamadas brasicáceas, resultan bastante afectadas por las plagas de insectos. Las crucíferas son un grupo de hortalizas que incluyen vegetales tales como la coliflor, la col, el nabo, la maca, el repollo

y el brócoli, entre otros.^{6,7} La mayoría de estos vegetales son originarios de Europa y Asia Menor, y se cultivan en todo el mundo.⁸ El cultivo de estas hortalizas tiene un impacto económico muy grande, produciéndose alrededor de 400 millones de toneladas anuales a nivel global en la actualidad.⁹ Ello es debido a que el consumo de varias de estas plantas alimenticias está muy extendido, ya que son ricas en nutrientes como vitaminas y minerales.^{8,10} A continuación, se muestran en la Tabla 1 las crucíferas más cultivadas a nivel nacional, junto con su área de siembra, producción anual y principales departamentos donde se cultivan.¹¹

Tabla 1. Superficie de siembra y producción de crucíferas en el Perú en el 2021. Información tomada de la referencia [11].

Crucífera	Superficie de siembra (ha)	Producción anual (t)	Departamentos principales de cultivo
Brócoli	3 319	44 411	Lima, La Libertad, y Arequipa
Col	2 199	31 748	Lima, La Libertad, y Arequipa
Coliflor	1 308	16 395	Lima, Arequipa, Cuzco y Junín
Maca	2 217	12 719	Huancavelica, Junín y Pasco
Rábano	1 128	16 999	Lima, La Libertad, y Arequipa

Como se mencionó, este tipo de cultivos se ven bastante afectados por las plagas de insectos, las cuales pueden ocasionar severos daños y provocar un impacto económico considerable.⁷

1.2. Impacto de las plagas de insectos

Las plagas de insectos actúan de forma negativa sobre los cultivos de múltiples maneras como, por ejemplo, alimentándose de las plantas y frutos, o poniendo sus huevos sobre las hojas. Todo ello afecta a la producción, a la calidad del producto, y a su valor de mercado, el cual también incluye la inversión de dinero destinado a la prevención y el control de las plagas, además del costo

del daño que causan las mismas.¹² Por ejemplo, con respecto a los cultivos de tipo herbáceo, como las crucíferas, se estima que las pérdidas de rendimiento varían entre 10 y 15% a nivel mundial debido a las plagas.¹³ Además, debido a la industrialización de la agricultura, las plagas de insectos se han propagado a niveles no pensados, ya que se han importado de manera accidental junto a ganado y alimentos, entre otros.¹⁴ Estos insectos, al encontrarse en nuevos hábitats, pueden alcanzar un gran desarrollo y acelerar su reproducción debido a la falta de enemigos naturales, como parásitos, depredadores y enfermedades nativas del lugar de origen.¹⁴ Además, los cambios de temperatura que está sufriendo el planeta debido al calentamiento global, conllevan a un aumento masivo de las plagas. Esto se debe a que los insectos prefieren los climas cálidos y tropicales, los cuales incentivan su asentamiento, población y, consecuentemente, su reproducción.^{2,14,15}

A nivel nacional, las plagas de insectos son una gran preocupación para el agricultor, pues la gravedad de los daños debido a los insectos se puede intensificar, lo cual depende de la época del año y el lugar, y ello genera pérdidas considerables.¹⁶ Por ejemplo, existen varios géneros de insectos considerados plagas potenciales en cultivos típicos del país, tales como maíz, quinua, camote, papa y yacón.^{16,17,18} Ello es debido a que las plagas de insectos pueden llegar a ser numerosas y destructivas durante algunas o todas las etapas de crecimiento de las plantas. Un ejemplo es la especie *Eurysacca spp*, o también conocida como polilla de la quinua, la cual es considerada una de las plagas más dañinas para los cultivos de quinua. Esta plaga puede afectar el rendimiento de producción agrícola de un 15 a 18%, aunque el porcentaje de pérdidas de los cultivos puede llegar hasta un 50% en años de sequía.¹⁶

En el caso concreto de las crucíferas, se tiene gran variedad de insectos que afectan negativamente a estas plantas herbáceas. A continuación, en la Tabla 2 se presentan algunas especies de insectos que amenazan los cultivos de crucíferas, y se describe su distribución y los daños que causan.⁸

Tabla 2. Clasificación, distribución y daños que causan plagas de insectos en plantas crucíferas.

Tipo de Insecto	Nombre	Distribución	Cultivos de crucíferas afectados	Daños	Ref.
Áfidos	<i>Brevicoryne brassicae</i> (L.) Pulgón de la col (Hemiptera: Aphididae)	Todas las regiones templadas del mundo	Rábano, colinabo, mostaza.	Se quedan dentro de las hojas. Estas se vuelven amarillentas y se arrugan excesivamente.	8
Mosca Blanca	<i>Aleyrodes proletella</i> (L.): Mosca blanca de la col (Hemiptera: Aleyrodidae)	Toda Europa y Nueva Zelanda	El repollo, las coles de Bruselas, la coliflor, el brócoli y la col rizada.	Producen manchas blancas o amarillas en las hojas infestadas.	8
Escarabajos	<i>Meligethes Stephens spp.:</i> Escarabajos de las flores (Coleoptera: Nitidulidae)	América del Norte, Canadá, el Reino Unido y todo el oeste Europa	Calabresa y coliflor.	Destruyen las flores de los cultivos de semillas. Hacen agujeros en la base de las flores para acceder al polen y dañan los estigmas y los ovarios	8
	<i>Phyllotreta Foudras spp.:</i> Escarabajos pulgas (Coleoptera: Chrysomelidae)	América del Norte, Europa y el sureste de Australia	Gran variedad de cultivos vegetales	Se alimentan de las plántulas debajo de la superficie del suelo. Pueden transmitir virus de plantas.	8
	<i>Psylliodes chrysocephala</i> (L.): Escarabajo pulga del tallo de la col (Coleópteros: Chrysomelidae)	Toda Europa y Canadá	Gran variedad de cultivos vegetales	Sus larvas se alimentan de las raíces de las plantas.	8

	<i>Ceutorhynchus assimilis</i> (Paykull): Gorgojo de la semilla de col (Coleópteros: Curculionidae)	Toda Europa, Canadá y Estados Unidos	Mostaza, colza	Infestan las vainas, perforan las plantas.	8
	<i>Ceutorhynchus quadridens</i> (Panzer): Gorgojo del tallo de la col (Coleópteros: Curculionidae)	Toda Europa y en algunos estados de Norte América	Gran variedad de cultivos vegetales	Realizan infestaciones pequeñas y esporádicas. Pueden llegar a causar la muerte de la planta.	8
	<i>Phaedon cochleariae</i> : Escarabajo de la hoja de mostaza (Coleópteros: Chrysomelidae)	Europa, Asia y Estados Unidos	Rábano picante y col	Las larvas y los adultos se alimentan de las plantas y ponen en estas sus huevos.	19, 20, 21
Mariposas	<i>Pieris brassicae</i> (L.): Mariposa blanca grande de la col (Lepidópteros: Pieridae)	Toda Europa y Asia	Gran variedad de cultivos vegetales	Las mariposas se agrupan en los campos para aprovechar el alimento y el refugio que les proporcionan las plantas.	8
	<i>Pieris rapae</i> (L.): Mariposa blanca pequeña de la col (Lepidoptera: Pieridae)	Australia y Nueva Zelanda	Repollo y col	Contaminan las plantas con su excremento.	8
Polillas	<i>Mamestra brassicae</i> (L.): Polilla de la col (Lepidoptera: Noctuidae)	Europa, Asia, Canadá y Estados Unidos	Col	Contaminan las plantas con su excremento.	8
	<i>Plutella xylostella</i> (L.): Polilla de espalda de diamante (Lepidoptera: Plutelidae)	América, Sudeste Asiático, Australia, Canadá, Europa y Nueva Zelanda	Gran variedad de cultivos vegetales	Destruyen el follaje de la mayoría de los tipos de cultivos.	8

Los problemas mencionados evidencian la importancia del desarrollo de herramientas para luchar contra estas plagas y así reducir su impacto económico.

1.3. Técnicas para combatir las plagas de insectos

Existen distintos tipos de control de las plagas clasificados según el agente o la estrategia utilizada: control biológico, control físico y control químico. El control biológico se basa en la acción de organismos vivos del ecosistema, tales como los depredadores, parasitoides, patógenos y nemátodos, los cuales vienen a ser los enemigos naturales de los insectos. Estos se encargan de regular la cantidad de insectos en los cultivos de manera natural.^{14,22} Sin embargo, existe la posibilidad de que no se tengan tales organismos por no ser autóctonos del lugar de siembra.¹⁴

El control físico busca crear condiciones no beneficiosas para el insecto, a partir de factores abióticos.²³ Este control puede involucrar cambios de las condiciones ambientales, como la humedad y la temperatura.²⁴ Además, en el control físico se puede incluir al manejo cultural, el cual implica manipular el entorno agrícola para buscar proteger el cultivo de la plaga. Específicamente, este control puede darse al cambiar las fechas de siembra, ya que la temporada puede influir en la reproducción de los insectos pues esta aumenta en los meses más cálidos. Otra manera de control es la limpieza constante o estratégica de la zona, para poder monitorear la cantidad de plagas y su prevención.^{22,24} Asimismo, en el control físico se incluye el manejo mecánico, que involucra procedimientos sistemáticos tales como uso de trampas tradicionales y destrucción manual de las plagas.²³ Sin embargo, todos estos métodos físicos presentan desventajas y desafíos como, por ejemplo, el alto precio y el tiempo necesario para su realización en el caso del control cultural y ambiental, y la cantidad de mano de obra en el caso del control mecánico.^{16,24,23}

Los métodos químicos son los más conocidos y utilizados para el manejo de plagas a nivel nacional e internacional,^{14,16,22} y buscan reducir la cantidad de insectos en los cultivos al utilizar compuestos sintetizados.²² El método químico más conocido es el uso de plaguicidas, el cual tiene como objetivo la eliminación de la plaga. Lamentablemente, este método trae consigo varias desventajas y dificultades. En concreto, los plaguicidas son tóxicos y pueden causar problemas de salud a las personas que estén trabajando directamente en la zona o a los animales que estén expuestos a estos, como, por ejemplo, pájaros, peces, enemigos naturales e insectos no objetivo.^{16,25} También, si no se tiene el suficiente control de uso, pueden dañar a las personas y a los animales que se alimenten de los cultivos, así como contaminar el suelo, el agua, el césped y demás vegetación.^{16,25} Además, algo importante a mencionar es que las plagas pueden desarrollar resistencias a los insecticidas y, de esa manera, pueden obtenerse resultados ineficientes.²⁶ En base a estas observaciones, se busca reducir el uso de pesticidas y utilizar técnicas alternativas para el control de plagas. Por ello, se creó que el llamado manejo integrado de plagas (MIP), que es un conjunto de estrategias complementarias o alternativas al uso de insecticidas, con las que se busca disminuir su uso.^{22,24} Entre estas alternativas se encuentran el control biológico y el físico. Adicionalmente, el empleo de semioquímicos también es una opción dentro del MIP, el cual se basa en utilizar sustancias que buscan modificar la conducta del insecto. Asimismo, se explicará a mayor detalle qué son y cuál es el modo de uso de los semioquímicos en el siguiente capítulo.²²

Teniendo en cuenta todo lo mencionado hasta el momento, se necesita investigar y desarrollar prácticas de control de plagas que sean más sostenibles, eco-amigables, eficientes y, al mismo tiempo, que eviten los inconvenientes de los plaguicidas convencionales.

2. Semioquímicos

2.1. Definición, clasificación química y funciones

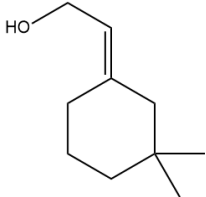
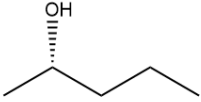
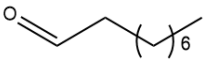
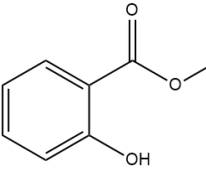
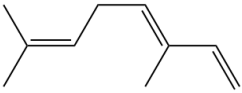
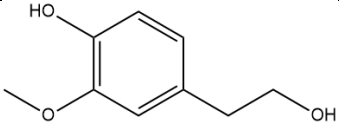
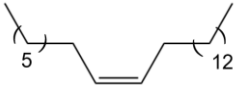
Los semioquímicos son sustancias químicas que los organismos liberan para transmitir información, la cual puede ser de manera interespecífica (entre distintas especies) o intraespecífica (dentro de la misma especie).^{27,28} Con respecto a los insectos, estos presentan gran dependencia de sus antenas, pues con estas identifican semioquímicos y se comunican en relación a aspectos tales como su copulación, la ubicación de presas y su defensa, entre otros.²⁷

Los aleloquímicos son semioquímicos empleados para la comunicación interespecífica, y juegan un rol importante con respecto a la regulación de interacciones entre plantas y otros organismos como los insectos.^{27,28,29} Los aleloquímicos se dividen en tres grupos que dependen del beneficio entre el emisor (la planta) y el receptor (organismos). Cuando existe un beneficio sobre la especie receptora y una desventaja sobre la especie emisora, los semioquímicos se denominan kairomonas, y cuando ocurre lo contrario, se denominan alomonas. Adicionalmente, se denomina sinomonas cuando las dos especies, emisora y receptora, se ven favorecidas.^{27,28} Además, estos aleloquímicos son estructuralmente diversos ya que están representados por compuestos fenólicos, terpenoides, alcaloides y compuestos nitrogenados, entre otras familias químicas.²⁹

Otra clase de semioquímicos son las feromonas, las cuales son sustancias o mezclas de sustancias químicas que los organismos expulsan para transmitir información de manera intraespecífica. Ello brinda un comportamiento más selectivo y puede provocar más de un tipo de reacción en el receptor.^{27,28} Las feromonas se pueden dividir en feromonas de agregación, de alarma, sexuales, afrodisiacas, anti-afrodisiacas, de jerarquía social y de reconocimiento.³⁰ Además, las feromonas presentan una gran diversidad de estructuras, las cuales incluyen principalmente aldehídos, alcoholes, ésteres, cetonas, compuestos aromáticos y terpenoides.^{30,31} A continuación, la Tabla 3

muestra los distintos tipos de feromonas que existen, la función asociada a estas y se incluye la estructura de una feromona representativa dentro de una especie de insecto en particular.

Tabla 3. Tipos de feromonas en insectos, función y estructura química de algunos ejemplos de compuestos.

Feromona	Función	Especie	Ejemplo	Ref.
De agregación	Atraen miembros de la misma especie y ambos sexos se ven afectados.	<i>Anthonomus spp.</i>	 (E)-2-(3,3-dimetilciclohexilideno) etanol	30, 32
De alarma	Dispersan y ocasionan la retirada de la especie y/o de especies hermanas	<i>Vespa mandarinia</i>	 (S)-2-pentanol	30, 32
Sexual	Atraen a los machos para el apareamiento	<i>T. infestans</i>	 nonanal	30, 32
Afrodisiaca	Promueven el cortejo de la misma especie de parte del macho	<i>Pieris napi</i>	 salicilato de metilo	30, 33
Anti-afrodisiaca	Previenen la atracción de machos y se evita el cortejo	<i>Heliconius melpomene</i>	 trans- β -ocimeno	30
De jerarquía social	Reconocen los grupos sociales dentro de una misma especie, como diferenciar a la reina de las obreras en las abejas.	<i>Apis mellifera</i>	 alcohol homovanillico	30
De reconocimiento	Promueven aceptación entre la misma especie y puede promover agresión al percibir el de distintas especies	<i>A. glabripennis</i>	 (Z)-9-pentacoseno	30, 33

2.2. Uso de semioquímicos para el control de plagas

Los semioquímicos, especialmente las feromonas, son potenciales herramientas para el manejo de los insectos y pueden llegar a ser muy útiles en el sector agrícola.^{27,34} En concreto, las feromonas de agregación, de alarma y sexuales, son los tipos de feromonas que más destacan o que resultan más prometedoras en este sector debido a sus múltiples usos, como se explicará en esta sección.^{27,35,36} A continuación, se detallan aplicaciones y estrategias para el control de las plagas de insectos con el uso de semioquímicos:

- **Monitoreo:** Se utilizan feromonas de la especie objetivo para la detección y el seguimiento de la población de la plaga.²⁷ Específicamente, se ubican trampas en el área de cultivo para lograr interceptar de manera selectiva al insecto. Estas trampas son contenedores con septos de goma, fibras huecas o cuerdas impregnadas con la feromona.³² Asimismo, se utilizan feromonas sexuales debido a que estas son específicas dentro de cada especie y son muy sensibles para detectar niveles bajos de población de insectos.³⁶ Además, el monitoreo es muy útil para conocer el grado de infestación de los cultivos y sirve para prevenir el aumento masivo de la plaga. También, se utiliza este control para evaluar qué método de tratamiento de plagas funciona de manera más eficiente.^{27,32} Cabe mencionar que se pueden combinar feromonas con kairomonas de las plantas hospedantes de la plaga, para mejorar la trampa de monitoreo.³²
- **Interrupción de apareamiento:** Se utilizan mezclas de feromonas sexuales para causar confusión y alterar la orientación de los insectos machos hacia las hembras.^{27,32} Adicionalmente, una exposición alta y prolongada de feromonas sintetizadas ocasiona que los machos se vuelvan insensibles a las feromonas de las hembras.³² De esta manera, se disminuye enormemente la probabilidad de encuentros y, consecuentemente, se dificulta

el apareamiento.^{27,32,36} Además, para esta aplicación, se utilizan dispensadores de feromonas, los cuales son colocados estratégicamente sobre la zona de cultivo y las feromonas se liberan al ambiente.^{32,36}

- Captura masiva o trampeo masivo: Se utilizan feromonas sexuales y/o de agregación de la plaga, con el propósito de aglomerarlos y eliminarlos, al utilizar pequeñas cantidades de plaguicidas, agua o adherentes.^{27,36} De esa forma, se reduce la población de la plaga de manera más directa que, por ejemplo, la interrupción por apareamiento.^{27,32,36} Cabe mencionar que, para este método, se utilizan depósitos con septos de goma o cuerdas impregnadas con la feromona, en donde los insectos son eliminados.³²
- Estrategia de “atraer y matar”: Este método es muy similar a la captura masiva; sin embargo, una vez que el insecto es alejado de los cultivos con el uso de las feromonas sintetizadas, la plaga es atacada con algún agente letal al aire libre, sin manejo de trampas físicas.^{32,37}
- Otros usos: En caso de existir enemigos naturales, estos se pueden atraer al utilizar las feromonas de alarma de los insectos.³² Además, se pueden emplear feromonas de agregación de los enemigos naturales para la captura de las plagas, pues estas generarían dispersión y posible retirada de los lugares de cultivo, lo cual ayudaría con su posterior captura. Empero, dependerá del tipo de especie, ya que puede variar el modo de respuesta del animal ante el estímulo como, por ejemplo, actuar de manera agresiva en lugar de huir.³²

2.2.1. Ventajas y retos

En general, las ventajas que trae el uso de feromonas para el control de plagas son, por ejemplo, que no afectan de manera negativa a los insectos, como tampoco al medio ambiente, animales y personas cercanas o en contacto con los cultivos. Asimismo, ello conlleva una mejora en la seguridad alimentaria y la salud humana, así como reducir los problemas de toxicidad en suelos y aguas, entre otros.³⁸ Además, no se dejan residuos que contaminen de alguna forma el medio ambiente, pues son compuestos que se degradan fácilmente en el entorno, y solo permanecen el tiempo suficiente para provocar los cambios esperados en el comportamiento de la plaga.²⁷ También, se han realizado estudios para esclarecer si las feromonas generan resistencia en los insectos, es decir, que la plaga ya no responda al efecto del semioquímico, pero hasta ahora no se ha podido demostrar un efecto de resistencia.³⁶

El éxito de los métodos de control de plagas con feromonas dependerá de varios factores, tales como las condiciones climáticas, el diseño de las trampas, los costos y el uso de insecticidas en algunos casos. Acerca de las condiciones ambientales, los factores como el viento y la topografía pueden influir en la eficiencia del control con feromonas. Por un lado, la falta de viento dificulta la dispersión de las feromonas y ello disminuye su interacción con los insectos objetivo. Por otro lado, la topografía del huerto debe ser estratégica, ya que posicionar las trampas en zonas con mayor pendiente ayuda a que las feromonas sintetizadas consigan un mayor alcance.³⁹ Además, un diseño ineficiente de la trampa y una cantidad inadecuada de estas por área pueden conllevar problemas como la saturación de las trampas y que las plagas emigren fuera de las áreas de tratamiento.³²

Un reto de la aplicación de semioquímicos es la competitividad de su costo con respecto a los métodos convencionales, pues se necesita una gran cantidad de feromonas para que se pueda

atrapar a los insectos lo suficiente para reducir de manera efectiva su población (en el método de trapeo masivo se necesita que las trampas atrapen del 80 al 95% de los machos).³⁶ También, el uso complementario de insecticidas en algunas de las aplicaciones descritas se vuelve un obstáculo para la aceptación pública.³⁷ Además, las tácticas con feromonas también presentan requisitos tecnológicos, los cuales incluyen la necesidad de capacitación y un cambio de mentalidad por parte de los productores.⁴⁰

Adicionalmente, la falta de conocimiento en el área de semioquímicos limita significativamente el avance y el desarrollo de técnicas de control de plagas basadas en feromonas.⁴⁰ Es por ello que, para tener un mejor entendimiento del modo de acción, se estudian sus interacciones con proteínas de unión a feromonas (PBP por sus siglas en inglés) para así poder aprovechar dicho conocimiento para el control de plagas.⁴¹ Por ejemplo, para la polilla de la seda, *Bombyx mori*, se ha estudiado el mecanismo de regulación intramolecular para la unión y liberación de feromonas.⁴² Esto se ha llevado a cabo mediante la dilucidación de las estructuras por las que pasan las PBP con el empleo de la técnica de resonancia magnética nuclear. Específicamente, estas proteínas pasan por cambios conformacionales que dependen de la captación, la unión, la liberación y la transferencia de feromonas.^{42,43} Con ello, se logra comprender mejor el sistema de comunicación entre los insectos, ya que brinda información acerca su modo de acción, sensibilidad y especificidad.

3. Escarabajo de la hoja de mostaza *Phaedon cochleariae*

Dentro de la gran variedad de plagas de insectos que generan pérdidas en el sector agrícola, se encuentra en gran número el grupo de los insectos coleópteros. Estos, más conocidos como escarabajos, pueden llegar a causar severos daños a los cultivos.⁴⁴

Una plaga del orden coleóptera es el escarabajo de la hoja de mostaza, *Phaedon cochleariae*, el cual infesta cultivos de crucíferas y se distribuye mayormente por todo el continente europeo, parte del continente asiático y en América del Norte.^{19,45,46}

3.1. Aspecto biológico

La clasificación taxonómica del escarabajo de la hoja de mostaza, *Phaedon cochleariae*, se muestra en la Figura 1 y su características físicas en la Figura 2.⁴⁷

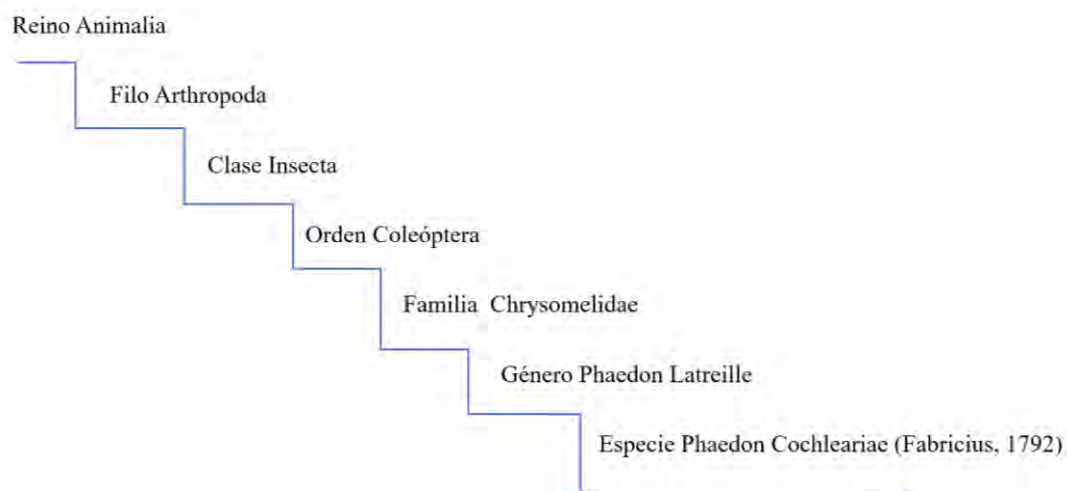


Figura 1. Clasificación taxonómica de la especie *Phaedon cochleariae*. Información adaptada de la referencia [47].

El escarabajo de la hoja de mostaza es un animal de 4 a 6 mm de longitud y de 3 a 4 mm de ancho, con un peso entre 5 a 11 mg. Tal como se muestra en la Figura 2, este insecto tiene forma ovalada, es de color negro con un brillo azul metálico y presenta dos alas, las cuales están cubiertas por élitros.^{48,49} Adicionalmente, la especie *Phaedon cochleariae* prefiere lugares húmedos, por lo que

con frecuencia estos cohabitan en las orillas de los arroyos, riberas, áreas costeras y praderas litorales. Asimismo, estos escarabajos pueden considerarse especies subacuáticas, pues tienen escamas resistentes al agua y pueden movilizarse nadando hasta llegar a tierra o a sus plantas hospedantes.^{47,48,21}



Figura 2. Escarabajo de la hoja de mostaza, *Phaedon cochleariae*. Tomado de la referencia [49]

Generalmente, los insectos adultos dejan de hibernar entre los meses de mayo y septiembre, momento en el que ocurre la cópula. Dentro de los 3 días siguientes, ocurre la puesta de huevos, los cuales se ponen de manera individual o en grupos pequeños de seis en el envés de las hojas de las típicas plantas huésped. Estos huevos tienden a medir entre 0,6 y 1 mm de longitud y entre 0,3 y 0,5 mm de ancho, y el tiempo de incubación varía entre los 7 y 18 días. Luego de ello, se tienen larvas desde 14 hasta 25 días, las cuales pasan por tres estadios y van creciendo de tamaño en cada uno de estos. En su estadio final, las larvas se quedan inactivas y se vuelven pupas desde 7 hasta 14 días. Durante esta forma, las pupas caen a la tierra y se quedan en el suelo, lo cual convierte esta etapa en la más vulnerable para el insecto. Finalmente, estas se convierten en adultos y toman el aspecto descrito anteriormente.^{47,48} En la Figura 3 se muestra una ilustración representativa del ciclo de vida del insecto.

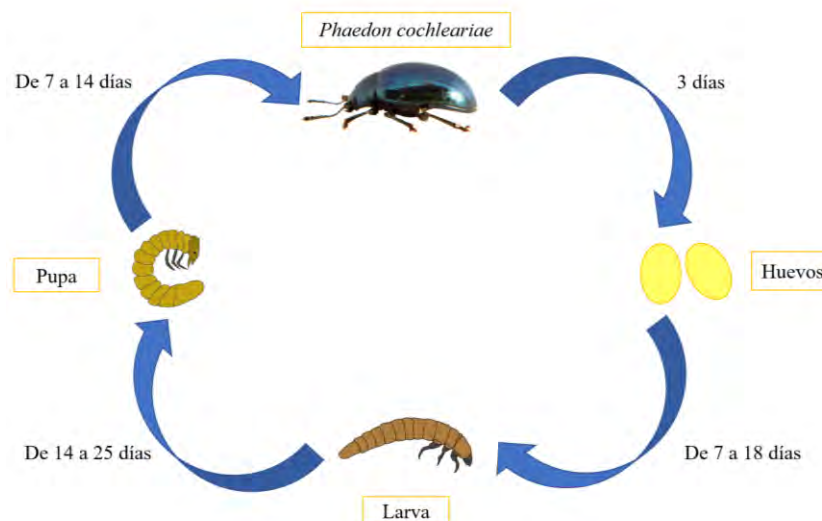


Figura 3. Ciclo de vida de la especie *Phaedon cochleariae*. Imagen del adulto tomada de la referencia [49].

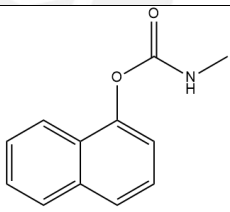
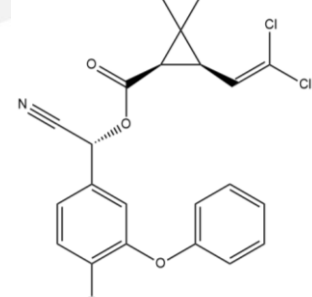
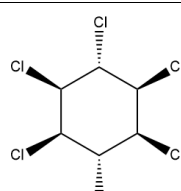
3.2. Daños causados por la especie *Phaedon cochleariae* y métodos de control empleados para las plagas de la familia Chrysomelidae

Dentro de toda la bibliografía consultada en este trabajo, la magnitud del daño, desde el punto de vista de hectáreas afectadas o pérdidas económicas, no ha sido precisada. Sin embargo, lo que sí se encuentra documentado es que este insecto es una plaga común de las crucíferas como el rábano picante y la col, y las larvas y los adultos de este escarabajo se alimentan de los cultivos y los usan para la oviposición.^{20,21} Asimismo, esta plaga está adaptada a utilizar las hojas de las plantas como fuente de alimento para casi todas las etapas de su vida, y, si se encuentran en grandes cantidades, estas pueden destruir por completo campos de crucíferas, como también dejar graves efectos en plantas jóvenes.^{45,50}

Los daños ocasionados en las crucíferas por los escarabajos de esta misma familia, Chrysomelidae, son comúnmente controlados por métodos físicos y químicos.⁸ Con respecto a los métodos físicos aplicados, se cubren los cultivos de crucíferas con una capa de abono o materia orgánica, de tal manera que los insectos no visualicen a los vegetales y así se reduzcan los daños causados por los

escarabajos.⁸ Sin embargo, la utilidad de los métodos físicos es mínima, a comparación con el uso de insecticidas para el control de la plaga. En este caso, se suele aplicar el plaguicida al suelo o sobre la semilla durante la siembra de las crucíferas, ya que los daños pueden ser irreparables en las plantas jóvenes. De esta forma, se asegura un crecimiento adecuado de los vegetales en presencia de plagas de escarabajos.⁸ Para el control químico de este tipo de plagas, durante años se emplearon insecticidas comunes tales como carbarilo, gamma-HCH o ciflutrin®.⁸ Sin embargo, estos plaguicidas son altamente tóxicos para la salud y el medio ambiente,^{51,52,53} y, de los tres mencionados, actualmente solo se siguen utilizando el carbarilo y ciflutrin®, pues el gamma-HCH fue prohibido por atentar en contra de la salud pública.^{51,52,53} A continuación, en la Tabla 4 se muestran las desventajas de los plaguicidas mencionados, junto con sus estructuras moleculares correspondientes.

Tabla 4. Insecticidas utilizados en escarabajos de la familia Chrysomelidae para el control de plagas.

Plaguicida	Desventajas	Estructura molecular	Ref.
Carbarilo	Los residuos del insecticida contaminan los suelos y las aguas. Pueden surgir efectos acumulativos en organismos acuáticos a corto plazo.		51
Ciflutrin®	Tóxico por inhalación y para los organismos acuáticos.		52
Gamma-HCH	Contaminante de suelos y aguas que persiste en el medio ambiente. Se prohibió su uso por su alta toxicidad.		53

Con respecto al uso de semioquímicos, estos se han utilizado en trampas para el control de coleópteros de la misma familia del *Phaedon cochleariae* en plantas crucíferas.⁵⁴ Específicamente, para las especies *Phyllotreta* (Coleoptera: Chrysomelidae) se han utilizado feromonas de agregación y kairomonas vegetales para capturar a los escarabajos y disminuir el porcentaje de estos en cultivos de crucíferas.^{54,55} Con el uso de estos semioquímicos, se han logrado capturar hasta 42 000 escarabajos en una sola prueba en áreas de cultivo en Dakota del Norte, Estados Unidos, suponiendo este valor un gran porcentaje de la población presente del insecto.⁵⁴ Sin embargo, para optimizar el manejo de estas plagas, se necesita recolectar más datos, adaptar una ruta sintética para la producción de los estándares, analizar más formas de combinación entre las feromonas y mejorar los métodos de liberación de estas.⁵⁴

3.3. El rol de los hidrocarburos en el comportamiento de la plaga

Existen algunas feromonas sexuales poco volátiles (señales de corto alcance) que se encuentran en la cutícula de los insectos, y son denominadas hidrocarburos cuticulares (CHC por sus siglas en inglés). Estas son una mezcla compleja de lípidos, los cuales pueden ser de cadena variable, insaturados, saturados y/o con metilos, como se muestra en la Figura 4.^{56,57,58} Además, aparte de su función en la comunicación entre especies, sirven para proteger al insecto de patógenos y del estrés ambiental, pues previenen la desecación o la deshidratación del escarabajo.^{56,58}

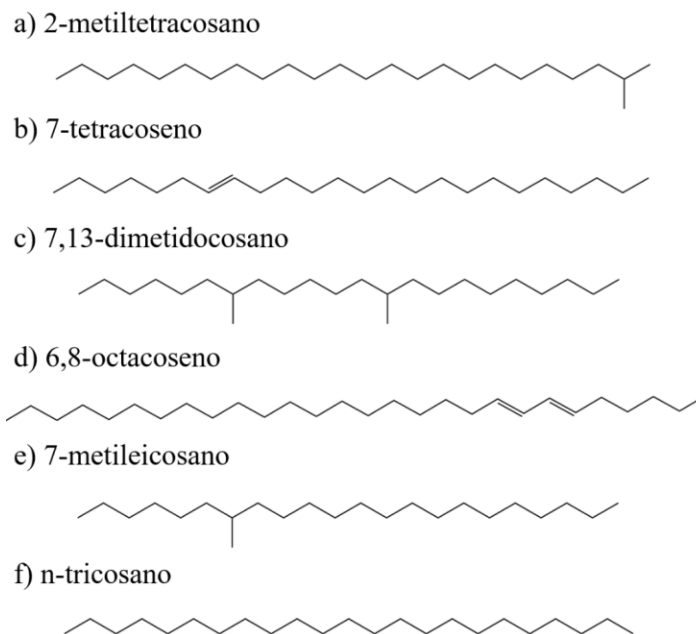


Figura 4. Estructuras químicas de algunos hidrocarburos cuticulares presentes en insectos. Ejemplos tomados de la referencia [56].

Los CHC ya han sido identificados en varios tipos de coleópteros, como en el escarabajo de la papa de Colorado (*Leptinotarsa decemlineata*), el escarabajo de la hoja de muelle japonés (*Gastrophysa atrocyanea*), el escarabajo azul del algodoncillo (*Chrysochus cobaltinus*) y el escarabajo de la hoja de mostaza (*Phaedon cochleariae*).^{56,59}

Los CHC presentes en machos y hembras de la especie *P. cochleariae* son los mismos, pero varían en términos de concentración. Además, se ha demostrado que los 2-metilalcanos (Figura 4a) son los principales compuestos involucrados en el reconocimiento de pareja. Sin embargo, no son los únicos hidrocarburos cuticulares implicados en este proceso, pues son importantes también otros hidrocarburos saturados como los monometilalcanos, los dimetilalcanos y los n-alcanos, aunque estos últimos en pequeña proporción.⁵⁶ Estos CHC pueden incentivar una conducta de apareamiento por parte de los machos, por lo que actúan como feromonas sexuales.⁵⁶ Sin embargo,

si la interacción para el apareamiento de los insectos solo dependiese de la captación de los CHC, los machos no podrían diferenciar el sexo del otro insecto al intentar la cópula ya que, como se mencionó anteriormente, ambos sexos comparten una alta similitud en la composición de sus CHC. Es entonces que las señales táctiles juegan un rol importante, pues estas facilitan que los machos puedan distinguir a las hembras. Es por este motivo que los hidrocarburos cuticulares de la especie *P. cochleariae* se consideran feromonas generales en lugar de feromonas sexuales, pues no son de utilidad para discriminar el sexo del escarabajo.⁵⁶ Por otro lado, se ha reportado que esta especie de insectos prefiere copular con escarabajos cuyos perfiles de CHC sean lo más parecidos posibles.⁵⁸ Para ello, se necesita una alimentación muy similar de las mismas especies de plantas hospedantes, lo cual conduce a un pobre intercambio genético entre su población. Asimismo, es importante mencionar que estos cambios en la dieta pueden impactar en la especiación de los insectos, algo que se ha observado en otros tipos de escarabajos; pero no se tienen estudios de que exista esta selección con poblaciones naturales del *Phaedon cochleariae*.⁵⁸

Entonces, se puede decir que los CHC han demostrado una relación directa con el comportamiento de la plaga y son fundamentales para el apareamiento, en el cual los metilalcanos presentan una mayor influencia en la conducta.⁵⁶ Por ello, se propone que estos hidrocarburos pueden trabajar en conjunto con feromonas de largo alcance, como las de agregación, y llegar a servir en aplicaciones como el monitoreo, la interrupción de apareamiento y la captura masiva, para, de esa manera, potenciar la eficiencia de control de la plaga y reemplazar los métodos tradicionales. Específicamente, como primera fase se pueden utilizar feromonas de agregación que atraen a los insectos como señales de largo alcance, para después, cuando estos ya se encuentren dentro de las trampas, utilizar las feromonas de CHC para aumentar el atractivo y, consecuentemente, evitar que los escarabajos se escapen. Sin embargo, aún se requieren más estudios para conocer con mayor

certeza el papel de este tipo de compuestos cuticulares en relación con la selección fenotípica dentro de la especie y en qué grado ello puede afectar para un buen control de la plaga.

4. Conclusiones y perspectivas

Las plagas de insecto infestan los cultivos, bajan la productividad y, consecuentemente, afectan de manera económica a las actividades agrícolas. Entre las técnicas para combatir estas plagas, la más utilizada es el uso de plaguicidas del control químico. Sin embargo, su alta toxicidad y la contaminación de suelos y aguas son desventajas evidentes, por lo que se busca un método de control más eficaz y eco-amigable. Los semioquímicos, en especial las feromonas, son una potencial herramienta para combatir a los insectos y lograr una reducción poblacional de las plagas por debajo del límite de daño comercial y, de esa manera, evitar los inconvenientes de los plaguicidas convencionales.

En particular, los hidrocarburos cuticulares de la especie *Phaedon cochleariae* han demostrado una relación directa con el comportamiento de apareamiento, entre los que resaltan los metilalcanos como principales compuestos en la mezcla de hidrocarburos, los cuales pueden utilizarse junto a feromonas de largo alcance del insecto para potenciar el manejo y control en campos del sector agrícola. De la misma manera, se espera ampliar aún más los conocimientos acerca de las feromonas del insecto estudiado a partir de la investigación, la síntesis y el análisis de sus hidrocarburos cuticulares.

Las perspectivas futuras del proyecto de investigación son proponer controles de plagas novedosos a partir de la manufactura avanzada de trampas e incitar a estudiar más profundamente a la especie *P. cochleariae*, pues sus feromonas pueden tener un gran potencial para el campo a estudiar.

Referencias:

- (1) Kirieieva, E. A.; Pryshliak, N. V.; Shamanska, O. I.; Salkova, I. Y.; Kucher, A. V. Strategic Priorities and Financial Support of Ukrainian Agricultural Sector Development. *Int. J. Ecol. Econ. Stat.* **2019**, *40* (2), 25–37. <http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/20710.pdf>.
- (2) Alexandridis, N.; Marion, G.; Chaplin-Kramer, R.; Dainese, M.; Ekroos, J.; Grab, H.; Jonsson, M.; Karp, D. S.; Meyer, C.; O'Rourke, M. E.; Pontarp, M.; Poveda, K.; Seppelt, R.; Smith, H. G.; Martin, E. A.; Clough, Y. Models of Natural Pest Control: Towards Predictions across Agricultural Landscapes. *Biol. Control* **2021**, *163* (9), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104761>.
- (3) MIDAGRI. Problemas en la agricultura Peruana <https://www.midagri.gob.pe/portal/22-sector-agrario/vision-general/190-problemas-en-la-agricultura-peruana> (accedido Oct 10, 2022).
- (4) FAO. Transboundary Pests and Diseases. En *The future of food and agriculture: trends and challenges*; FAO: Rome, 2017; Vol. 4, pp 3–163.
- (5) Walker, K.; Frederick, R. Entomological Risks of Genetically Engineered Crops. *Encycl. Environ. Heal.* **2019**, *2*, 339–346. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11677-X>.
- (6) Flores, P. Influencia de tres volúmenes de ontenedor y cuatro edades de trasplante en el rendimiento y calidad del brócoli, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú, 2013.
- (7) Cañedo, V.; Alfaro, A.; Kroschel, J. Descripción y Control de Plagas de Hortalizas. En *Manejo integrado de plagas de insectos en hortalizas*; Centro Internacional de la Papa

- (CIP): Lima, 2011; p 48. [https://doi.org/https://doi.org/10.4160/9789290604075](https://doi.org/10.4160/9789290604075).
- (8) McKinlay, R. Pests of Cruciferous Crops. En *Vegetable crop pests*; Macmillan Academic and Professional: London, 1992; pp 87–129. <https://doi.org/10.1007/978-1-349-09924-5>.
- (9) FAOSTAT Analytical Brief 41. *Agricultural Production Statistics 2000–2020*; Rome, 2022.
- (10) Aires, A. Brassica Composition and Food Processing. *Process. Impact Act. Components Food* **2015**, 17–25. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404699-3.00003-2>.
- (11) MINAGRI. Compendio anual de “Producción Agrícola” <https://www.gob.pe/institucion/midagri/informes-publicaciones/2730325-compendio-anual-de-produccion-agricola> (accedido Nov 6, 2022).
- (12) Castillo, P. Insectos Plagas y Sus Enemigos Naturales En El Cultivo de Theobroma Cacao L. (Cacao) En Los Valles de Tumbes y Zarumilla, Perú. *Rev. Mangl.* **2013**, 10 (1), 3–16. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2013.002>.
- (13) Sawicka, B.; Egbuna, C. Pests of Agricultural Crops and Control Measures. En *Natural Remedies for Pest, Disease and Weed Control*; Elsevier Inc., 2020; pp 1–16. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819304-4.00001-4>.
- (14) Ripa, S. R.; Rojas, P. S.; Velasco, G. Releases of Biological Control Agents of Insect Pests on Easter Island (Pacific Ocean). *Entomophaga* **1995**, 40 (3–4), 427–440. <https://doi.org/10.1007/BF02373730>.
- (15) Deutsch, C. A.; Tewksbury, J. J.; Tigchelaar, M.; Battisti, D. S.; Merrill, S. C.; Huey, R. B.; Naylor, R. L. Increase in Crop Losses to Insect Pests in a Warming Climate. *Science*. **2018**,

- 361 (6405), 916–919. <https://doi.org/10.1126/science.aat3466>.
- (16) Rasmussen, C.; Lagnaoui, A.; Esbjerg, P. Advances in the Knowledge of Quinoa Pests. *Food Rev. Int.* **2003**, *19* (1–2), 61–75. <https://doi.org/10.1081/FRI-120018868>.
- (17) Livia, C.; Sánchez, G.; Cruces, L. Diversidad de Insectos del Suelo Asociados al Cultivo de Maíz (*Zea Mays* L.). *Ecol. Apl.* **2020**, *19* (2), 57. <https://doi.org/10.21704/rea.v19i2.1556>.
- (18) Giraldo, A. E.; Flores, G. E. Peruvian Tenebrionidae: A Review of Present Knowledge and Biodiversity. *Ann. Zool.* **2016**, *66* (4), 499–513. <https://doi.org/10.3161/00034541ANZ2016.66.4.002>.
- (19) Gruev, B.; Tomov, V. Chrysomelinae. En *A distributional atlas and catalogue of the leaf beetles of Bulgaria (Coleoptera: Chrysomelidae)*; Tomo v, V., Ed.; Pensoft Pub: New York, 2007; Vol. 3, p 118.
- (20) Gross, J.; Müller, C.; Vilcinkas, A.; Hilker, M. Antimicrobial Activity of Exocrine Glandular Secretions, Hemolymph, and Larval Regurgitate of the Mustard Leaf Beetle *Phaedon Cochleariae*. *J. Invertebr. Pathol.* **1998**, *72* (3), 296–303. <https://doi.org/10.1006/jipa.1998.4781>.
- (21) Furth, D. G. Subaquatic Chrysomelidae. En *Special topics in leaf beetle biology*; Pensoft Pub, 2003; Vol. 29, p 307.
- (22) Brunner, J. F. Integrated Pest Management in Tree Fruit Crops. En *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*; Elsevier Ltd., 2014; Vol. 4, pp 15–30. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00175-3>.
- (23) Jiménez M., E. Métodos de Control de Plagas, Universidad Nacional Agraria, Lima, Perú,

- 2009.
- (24) Cotes, B.; Rämert, B.; Nilsson, U. A First Approach to Pest Management Strategies Using Trap Crops in Organic Carrot Fields. *Crop Prot.* **2018**, *112* (5), 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.05.025>.
- (25) Aktar, W.; Sengupta, D.; Chowdhury, A. Impact of Pesticides Use in Agriculture: Their Benefits and Hazards. *Interdiscip. Toxicol.* **2009**, *2* (1), 1–12. <https://doi.org/10.2478/v10102-009-0001-7>.
- (26) Adamski, Z.; Bufo, S. A.; Chowański, S.; Falabella, P.; Lubawy, J.; Marciniak, P.; Pacholska-Bogalska, J.; Salvia, R.; Scrano, L.; Słocińska, M.; Spochacz, M.; Szymczak, M.; Urbański, A.; Walkowiak-Nowicka, K.; Rosiński, G. Beetles as Model Organisms in Physiological, Biomedical and Environmental Studies - A Review. *Front. Physiol.* **2019**, *10* (3), 1–22. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00319>.
- (27) Brezolin, A. N.; Martinazzo, J.; Muenchen, D. K.; de Cezaro, A. M.; Rigo, A. A.; Steffens, C.; Steffens, J.; Blassioli-Moraes, M. C.; Borges, M. Tools for Detecting Insect Semiochemicals: A Review. *Anal. Bioanal. Chem.* **2018**, *410* (17), 4091–4108. <https://doi.org/10.1007/s00216-018-1118-3>.
- (28) Bakthavatsalam, N. Semiochemicals. En *Ecofriendly Pest Management for Food Security*; Omkar, I., Ed.; Academic Press: London, 2016; pp 563–611. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803265-7.00019-1>.
- (29) Kong, C. H.; Xuan, T. D.; Khanh, T. D.; Tran, H. D.; Trung, N. T. Allelochemicals and Signaling Chemicals in Plants. *Molecules* **2019**, *24* (15), 1–19. <https://doi.org/10.3390/molecules24152737>.

- (30) Yew, J. Y.; Chung, H. Insect Pheromones: An Overview of Function, Form, and Discovery. *Prog. Lipid Res.* **2015**, *59* (6), 88–105. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2015.06.001>.
- (31) Mitaka, Y.; Matsuyama, S.; Mizumoto, N.; Matsuura, K.; Akino, T. Chemical Identification of an Aggregation Pheromone in the Termite *Reticulitermes Speratus*. *Sci. Reports 2020 101* **2020**, *10* (1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64388-4>.
- (32) Tewari, S.; Leskey, T. C.; Nielsen, A. L.; Piñero, J. C.; Rodriguez-Saona, C. R. Use of Pheromones in Insect Pest Management, with Special Attention to Weevil Pheromones. En *Integrated Pest Management: Current Concepts and Ecological Perspective*; Elsevier Inc., 2014; pp 141–168. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398529-3.00010-5>.
- (33) Francke, W.; Schulz, S. Pheromones of Terrestrial Invertebrates. *Compr. Nat. Prod. II Chem. Biol.* **2010**, *4*, 153–223. <https://doi.org/10.1016/B978-008045382-8.00095-2>.
- (34) Bell, C. H. Food Safety Assurance Systems: Infestation Management in Food Production Premises. *Encycl. Food Saf.* **2014**, *4*, 189–200. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-378612-8.00354-1>.
- (35) Hassemer, M. J.; Borges, M.; Withall, D. M.; Pickett, J. A.; Laumann, R. A.; Birkett, M. A.; Blassioli-Moraes, M. C. Development of Pull and Push–Pull Systems for Management of Lesser Mealworm, *Alphitobius Diaperinus*, in Poultry Houses Using Alarm and Aggregation Pheromones. *Pest Manag. Sci.* **2019**, *75* (4), 1107–1114. <https://doi.org/10.1002/PS.5225>.
- (36) Rizvi, S. A. H.; George, J.; Reddy, G. V. P.; Zeng, X.; Guerrero, A. Latest Developments in Insect Sex Pheromone Research and Its Application in Agricultural Pest Management. *Insects* **2021**, *12* (6), 1–26. <https://doi.org/10.3390/insects12060484>.

- (37) El-Sayed, A. M.; Suckling, D. M.; Byers, J. A.; Jang, E. B.; Wearing, C. H. Potential of “Lure and Kill” in Long-Term Pest Management and Eradication of Invasive Species. *J. Econ. Entomol.* **2009**, *102* (3), 815–835. <https://doi.org/10.1603/029.102.0301>.
- (38) Witzgall, P.; Kirsch, P.; Cork, A. Sex Pheromones and Their Impact on Pest Management. *J. Chem. Ecol.* **2010**, *36* (1), 80–100. <https://doi.org/10.1007/s10886-009-9737-y>.
- (39) Knight, A. L. Influence of Within-Orchard Trap Placement on Catch of Codling Moth (Lepidoptera: Tortricidae) in Sex Pheromone–Treated Orchards. *Environ. Entomol.* **2007**, *36* (2), 425–432. <https://doi.org/10.1093/EE/36.2.425>.
- (40) Suckling, D. M. Issues Affecting the Use of Pheromones and Other Semiochemicals in Orchards. *Crop Prot.* **2000**, *19* (8–10), 677–683. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00090-9](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00090-9).
- (41) Guo, J. M.; Liu, X. L.; Liu, S. R.; Wei, Z. Q.; Han, W. K.; Guo, Y.; Dong, S. L. Functional Characterization of Sex Pheromone Receptors in the Fall Armyworm (Spodoptera Frugiperda). *Insects* **2020**, *Vol. 11*, *Page 193* **2020**, *11* (3), 193. <https://doi.org/10.3390/INSECTS11030193>.
- (42) Horst, R.; Damberger, F.; Luginbühl, P.; Güntert, P.; Peng, G.; Nikonova, L.; Leal, W. S.; Wüthrich, K. NMR Structure Reveals Intramolecular Regulation Mechanism for Pheromone Binding and Release. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **2001**, *98* (25), 14374–14379. <https://doi.org/10.1073/pnas.251532998>.
- (43) Damberger, F.; Horst, R.; Wüthrich, K.; Peng, G.; Nikonova, L.; Leal, W. S. NMR Characterization of a PH-Dependent Equilibrium between Two Folded Solution Conformations of the Pheromone-Binding Protein from *Bombyx Mori*. *Protein Sci.* **2000**,

- 9 (5), 1038–1041. <https://doi.org/10.1110/ps.9.5.1038>.
- (44) Patole, D. S. S. Review on Beetles (Coleopteran): An Agricultural Major Crop Pests of the World. *Int. J. Life-Sciences Sci. Res.* **2017**, 3 (6), 1424–1432. <https://doi.org/10.21276/ijlssr.2017.3.6.1>.
- (45) Uddin, M. M.; Ulrichs, C.; Tokuhisa, J. G.; Mewis, I. Impact of Glucosinolate Structure on the Performance of the Crucifer Pest *Phaedon Cochleariae* (F.). *J. Appl. Bot. Food Qual.* **2009**, 82 (2), 108–113. <https://doaj.org/article/d9e910e9dc9c45cd8aeb31f36c4bbda>
- (46) Geiselhardt, S.; Otte, T.; Hilker, M. Looking for a Similar Partner: Host Plants Shape Mating Preferences of Herbivorous Insects by Altering Their Contact Pheromones. *Ecol. Lett.* **2012**, 15 (9), 971–977. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2012.01816.x>.
- (47) Cox, M. L. Supplementary Material. En *Atlas of the Seed and Leaf Beetles of Britain and Ireland (Coleoptera, Bruchidae, Chrysomelidae, Megalopodidae and Orsodacnidae)*; Pisces Publications: Newbury, 2007; pp 1–336.
- (48) Paiva, M. R. de. Biology and Population Ecology of Mustard Beetle *Phaedon Cochleariae*, University of London, 1977.
- (49) Dave Murray. *Phaedon cochleariae* (Fabricius, 1792) Watercress leaf beetle <https://www.ukbeetles.co.uk/phaedon-cochlaeriae> (accedido Oct 6, 2022).
- (50) Stock, M.; Gretscher, R. R.; Groth, M.; Eiserloh, S.; Boland, W.; Burse, A. Putative Sugar Transporters of the Mustard Leaf Beetle *Phaedon Cochleariae*: Their Phylogeny and Role for Nutrient Supply in Larval Defensive Glands. *PLoS One* **2013**, 8 (12), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084461>.

- (51) Sunaryani, A.; Rosmalina, R. T. Persistence of Carbaryl Pesticide in Environment Using System Dynamics Model. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* **2021**, *623* (1), 1–7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/623/1/012048>.
- (52) Rodríguez Gutiérrez, J. L. Distribución y Efectos Del Piretroide Ciflutrin Sobre El Sistema Nervioso Central, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 2019.
- (53) Pérez, O. A. A Pesticide in Franco's Regime: Communicating Toxic Risks in Spain, 1945-1975. *Hist. Ciencias, Saude - Manguinhos* **2022**, *29* (2), 421–440. <https://doi.org/10.1590/S0104-59702022000200007>.
- (54) Weber, D. C.; Konstantinov, A. S.; Khirman, A.; Bier, A. D.; Lubenow, L. A.; Knodel, J. J.; Haber, A. I.; Wallingford, A. K.; Mason, J. A. C.; Kuhar, T. P. Trapping of Crucifer-Feeding Flea Beetles (*Phyllotreta* Spp.) (Coleoptera: Chrysomelidae) With Pheromones and Plant Kairomones. *J. Econ. Entomol.* **2022**, *115* (3), 748–756. <https://doi.org/10.1093/JEE/TOAC042>.
- (55) Soroka, J. J.; Bartelt, R. J.; Zilkowski, B. W.; Cossé, A. A. Responses of Flea Beetle *Phyllotreta* Cruciferae to Synthetic Aggregation Pheromone Components and Host Plant Volatiles in Field Trials. *J. Chem. Ecol.* **2005**, *31* (8), 1829–1843. <https://doi.org/10.1007/S10886-005-5929-2>.
- (56) Geiselhardt, S.; Otte, T.; Hilker, M. The Role of Cuticular Hydrocarbons in Male Mating Behavior of the Mustard Leaf Beetle, *Phaedon Cochleariae* (F.). *J. Chem. Ecol.* **2009**, *35* (10), 1162–1171. <https://doi.org/10.1007/s10886-009-9704-7>.
- (57) Würf, J.; Pokorný, T.; Wittbrodt, J.; Millar, J. G.; Ruther, J. Cuticular Hydrocarbons as Contact Sex Pheromone in the Parasitoid Wasp *Urolepis Rufipes*. *Front. Ecol. Evol.* **2020**,

8 (6), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.00180>.

- (58) Otte, T.; Hilker, M.; Geiselhardt, S. Phenotypic Plasticity of Cuticular Hydrocarbon Profiles in Insects. *J. Chem. Ecol.* **2018**, *44* (3), 235–247. <https://doi.org/10.1007/s10886-018-0934-4>.
- (59) Sugeno, W.; Hori, M.; Matsuda, K. Identification of the Contact Sex Pheromone of *Gastrophysa Atrocyanea* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Appl. Entomol. Zool.* **2006**, *41* (2), 269–276. <https://doi.org/10.1303/aez.2006.269>.

