



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO  
RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE  
BIOLOGÍA**



**TESIS**

---

*Influencia de los compuestos químicos de *Alphitobius diaperinus*  
(Coleoptera: Tenebrionidae) en el comportamiento de adultos de la  
misma especie*

Presentada para optar el Título Profesional de Licenciada en *Biología*

**Autor:**

Br. Irigoín, Becerra, Esperanza

**Asesora:**

Dra. Calderón, Arias, Carmen Patricia

**Co-asesor:**

Dr. Martel, Gora, Carlos Gabriel

**Lambayeque – Perú**

**2025**



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE BIOLOGÍA



**TESIS**

*Influencia de los compuestos químicos de *Alphitobius diaperinus*  
(Coleoptera: Tenebrionidae) en el comportamiento de adultos de la misma  
especie*

Bach. Esperanza Irigoin Becerra

Presentada para optar el Título Profesional de Licenciada en *Biología*

**Aprobado por:**

Dr. Eduardo Julio Tejada Sánchez  
**Presidente**

MSc. Manuel Genaro Bravo Calderón  
**Secretario**

MSc. Wilmer Leoncio Calderón Mundaca  
**Vocal**

Dra. Carmen Patricia Calderón Arias  
**Asesora**

# ACTA DE SUSTENTACIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 095-2025 / FCCBB-UI

Siendo las 09:00 horas del día 31 de diciembre de 2025, en la Sala de Sesiones - Sustentaciones de la Facultad de Ciencias Biológicas se reunieron los miembros del Jurado designado mediante **Resolución N° 057-2023-VIRTUAL-FCCBB/D de fecha 01 de marzo de 2023** y **Resolución de aprobación de proyecto N° 266-2023-VIRTUAL-FCCBB/D, de fecha 11 de octubre de 2023**, conformado por:

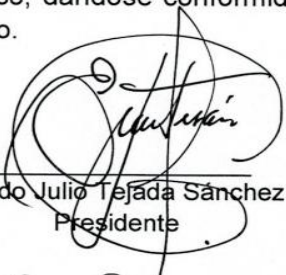
Dr. Eduardo Julio Tejada Sánchez- Presidente  
Mg. Manuel Genaro Bravo Calderón - Secretario  
Mg. Wilmer Leoncio Calderón Mundaca- Vocal  
Dra. Carmen Patricia Calderón Arias - Asesora

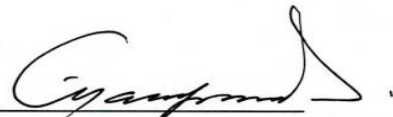
con la finalidad de evaluar la sustentación de tesis titulada: **Influencia de los compuestos químicos de *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) en el comportamiento de adultos de la misma especie**, a cargo de la Bachiller ESPERANZA IRIGOIN BECERRA.


Sustentación autorizada mediante **RESOLUCIÓN N° 664-2025-FCCBB-D, de fecha 30 de diciembre de 2025** la misma que tuvo una duración de 30 minutos y luego de absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado; se procedió a la calificación respectiva, obteniendo 20 puntos que equivale al calificativo de EXCELENTE.


Por lo que la sustentante queda **APTA** para obtener el título profesional de **Licenciada en Biología** de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ciencias Biológicas y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 10:20 horas se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto, con la firma de los miembros del jurado.

  
Dr. Eduardo Julio Tejada Sánchez  
Presidente

  
Mg. Manuel Genaro Bravo Calderón  
Secretario

  
Mg. Wilmer Leoncio Calderón Mundaca  
Vocal

  
Dra. Carmen Patricia Calderón Arias  
Asesora

## CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD

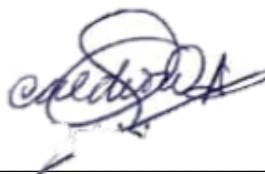
Yo, Dra. Carmen Patricia Calderón Arias; usuario revisor del informe de tesis titulado: “Influencia de los compuestos químicos de *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) en el comportamiento de adultos de la misma especie”

Cuyo autor es: Bach. Esperanza Irigoin Becerra con DNI: 77332036 declaro que la evaluación realizada por el Programa informático, ha arrojado un porcentaje de similitud de 7% verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecida en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 26 de diciembre del 2025



---

Dra. Carmen Patricia Calderón Arias  
Asesora  
DNI 19184424

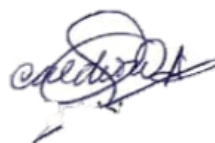
# Influencia de los compuestos químicos de *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) en el comportamiento de adultos de la misma especie

## ORIGINALITY REPORT

<b>7%</b> SIMILARITY INDEX	<b>7%</b> INTERNET SOURCES	<b>1%</b> PUBLICATIONS	<b>3%</b> STUDENT PAPERS
-------------------------------	-------------------------------	---------------------------	-----------------------------

## PRIMARY SOURCES

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Internet Source	<b>3%</b>
<b>2</b>	<b>Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo</b> Student Paper	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.unprg.edu.pe</b> Internet Source	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>tesis.pucp.edu.pe</b> Internet Source	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.ual.es:8080</b> Internet Source	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>repositoriotec.tec.ac.cr</b> Internet Source	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>Submitted to Universidad Miguel Hernandez Servicios Informaticos</b> Student Paper	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>www.pucp.edu.pe</b> Internet Source	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>igobernanza.org</b> Internet Source	<b>&lt;1%</b>
<b>10</b>	<b>repositorio.untrm.edu.pe</b> Internet Source	<b>&lt;1%</b>
<b>11</b>	<b>repositorio.untumbes.edu.pe</b> Internet Source	



Dra. Carmen Patricia Calderón Arias  
DNI: 19184424  
ASESORA

<1%

---

Exclude quotes    On  
Exclude bibliography    On

Exclude matches    < 15 words



---

Dra. Carmen Patricia Calderón Arias  
DNI: 19184424  
ASESORA



## Digital Receipt

This receipt acknowledges that Turnitin received your paper. Below you will find the receipt information regarding your submission.

The first page of your submissions is displayed below.

Submission author: Esperanza Irigoin Becerra  
Assignment title: Quick Submit  
Submission title: Influencia de los compuestos químicos de Alphitobius diaperi...  
File name: Informe\_final\_24\_Diciembre\_Esperanza\_Irigoin.pdf  
File size: 1.41M  
Page count: 53  
Word count: 11,540  
Character count: 69,837  
Submission date: 25-Dec-2025 11:22AM (UTC-0500)  
Submission ID: 2851193312



Copyright 2025 Turnitin. All rights reserved.

Dra. Carmen Patricia Calderón Arias  
DNI: 19184424  
ASESORA

## DEDICATORIA

*Dedicado a mi madre, quien ha entregado toda su vida velando por mi bienestar y contribuyendo a la formación de la persona que soy hoy en día. Agradezco profundamente sus enseñanzas.*

*A María, mi hermana, un verdadero ejemplo de perseverancia y superación. También, quiero expresar un agradecimiento especial a todos mis hermanos por cuidar siempre de mí, su apoyo y cariño han sido fundamentales en mi vida.*

*A Diego, por ser una fuente constante de motivación y por brindarme tu apoyo incondicional a lo largo de esta etapa. Valoro enormemente el respaldo que siempre me ofreces y agradezco sinceramente por tener tu apoyo.*

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por brindarme fortaleza para superar los obstáculos que se presentaron en mi camino, permitiéndome alcanzar este logro y culminar este proceso.

Al Dr. Carlos Martel, un infinito agradecimiento por su apoyo, paciencia y por brindarme la oportunidad para desarrollar esta tesis.

A mi asesora, la Dra. Carmen Calderón, por su apoyo constante, sus conocimientos brindados y por inculcar en sus alumnos la importancia de investigar.

Al Dr. Alfredo Ibañez, director del Laboratorio de Ciencias Ómicas y Biotecnología Aplicada (ICOBA- PUCP), mi más sincero agradecimiento por brindarme la oportunidad de formar parte de su equipo al abrirme las puertas de su laboratorio.

De manera especial, quiero expresar mi gratitud a la Dra. Erika Calla por su paciencia, guía constante, apoyo a lo largo de la ejecución de esta investigación y por sus conocimientos compartidos.

A Vanessa, Carlos Alberto y Walter, quienes fueron mis compañeros de laboratorio. Agradezco sinceramente por hacer los días en el laboratorio más llevaderos y por formar un equipo donde destaco el apoyo mutuo.

Un especial agradecimiento a CONCYTEC y al PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y ESTUDIOS AVANZADOS – PROCIENCIA (Convenio N° 126-2020-FONDECYT)”, que financiaron mi proyecto de tesis.

# ÍNDICE GENERAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN .....	iii
CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD.....	iv
DEDICATORIA.....	viii
AGRADECIMIENTOS .....	ix
ÍNDICE GENERAL.....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	15
CAPITULO I. DISEÑO TEÓRICO .....	18
1.1    Antecedentes .....	18
1.2    Bases teóricas.....	19
1.3    Bases conceptuales (Operacionalización o categorización de variables).....	25
CAPITULO II. DISEÑO METODOLÓGICO .....	26
2.1    Diseño de contrastación de hipótesis/ Procedimiento a seguir en la investigación .....	26
2.2    Población y muestra .....	26
2.3    Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	26
2.4    Procedimiento .....	27
2.5    Procesamiento y análisis de datos.....	36
CAPÍTULO III. RESULTADOS .....	37
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN .....	44
CONCLUSIONES.....	47
RECOMENDACIONES.....	48
REFERENCIAS .....	49
ANEXOS .....	54

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Clasificación taxonómica de A. diaperinus</i> .....	20
<b>Tabla 2</b> <i>Compuestos químicos sintéticos utilizados en los tratamientos de atractividad de A. diaperinus.</i> .....	36

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Ciclo biológico de <i>Alphitobius diaperinus</i> desarrollado durante la presente investigación</i> .....	21
<b>Figura 2</b> <i>Métodos de control de <i>A. diaperinus</i>. (A) Control físico (Limpieza de los galpones), (B)* biológico (individuo de <i>A. diaperinus</i> infectado por <i>Beauveria bassiana</i>) y (C) químico (uso de insecticidas)</i> .....	24
<b>Figura 3</b> <i>Ubicación geográfica de la granja avícola comercial, donde se llevó a cabo las colectas de esta <i>A. diaperinus</i></i> .....	27
<b>Figura 4</b> <i>Condiciones controladas de crianza de <i>A. diaperinus</i> en cabina de crecimiento</i> .....	29
<b>Figura 5</b> <i>Población de adultos de <i>A. diaperinus</i> criados en cajas de vidrio en condiciones de laboratorio</i> .....	29
<b>Figura 6</b> <i>Transferencia y mantenimiento de larvas en placas de Petri</i> .....	30
<b>Figura 7</b> <i>Determinación del sexo de <i>A. diaperinus</i> en estado de pupa</i> .....	30
<b>Figura 8</b> <i>Colecta de volátiles de machos adultos, sexualmente experimentados</i> .....	31
<b>Figura 9</b> <i>Olfatómetro de vidrio en forma de “Y” para la evaluación de la respuesta olfativa de <i>A. diaperinus</i></i> .....	35
<b>Figura 10</b> <i>Montaje experimental del olfatómetro en “Y” para las evaluaciones</i> .....	35
<b>Figura 11</b> <i>Respuesta de atracción de hembras y machos experimentados de <i>A. diaperinus</i> hacia compuestos químicos sintéticos individuales a 1 y 10 EQ y hacia un mix de compuestos a 10 EQ</i> .....	39
<b>Figura 12</b> <i>Respuesta de atracción de hembras (A) y machos (B) de <i>A. diaperinus</i> hacia el olor de la colecta de volátiles de machos experimentados (VOC_Mexp) frente al control (hexano) y hacia la señal olfativa de machos experimentados vivos (Mexp) frente al control</i> .....	43

## RESUMEN

*Alphitobius diaperinus* es una plaga de relevancia económica en la industria avícola. Este estudio evaluó la influencia de compuestos químicos sintéticos reportados para esta especie sobre el comportamiento de adultos de ambos sexos. Mediante ensayos olfatométricos en “Y”, se expuso a hembras y machos sexualmente experimentados a cinco compuestos individuales (2-nonanona, (R)-(+)-limoneno, (-)-linalool, ocimeno, farneseno) a concentraciones equivalentes a las producidas por 1 y 10 individuos (1 y 10 EQ), una mezcla de cuatro de ellos (Mix 10 EQ), volátiles colectados de machos (VOC\_Mexp) y la señal emitida por machos vivos. Los resultados mostraron que, a concentraciones naturales bajas (1-10 EQ), los compuestos sintéticos no fueron atractivos. Las hembras prefirieron significativamente el control frente al (R)-(+)-limoneno (1 y 10 EQ) y la 2-nonanona (10 EQ), mientras que los machos mostraron solo una atracción débilmente significativa hacia el ocimeno. La mezcla sintética (Mix) tampoco resultó atractiva, lo que sugiere que, bajo estas condiciones, no se produce un efecto sinérgico entre los componentes. Al comparar las dos concentraciones, el incremento de 1 a 10 EQ no alteró la naturaleza de la respuesta para la mayoría de los compuestos; la excepción fue la 2-nonanona en hembras, cuya repelencia se intensificó con la dosis. En marcado contraste, los machos vivos fueron altamente atractivos para ambos sexos (hembras: 70%; machos: 66.7%). Se concluye que los compuestos sintéticos reportados no actúan como feromonas de agregación en concentraciones ecológicamente relevantes, mientras que la señal química natural completa sí es potente. Estos hallazgos resaltan la importancia crítica de la concentración y la complejidad de la mezcla para el desarrollo de estrategias de control basadas en semioquímicos.

**Palabras clave:** *Alphitobius diaperinus*, Semioquímicos, Feromonas, Comunicación Química, Respuesta Conductual, Atractividad.

## ABSTRACT

*Alphitobius diaperinus* is an economically significant pest in the poultry industry. This study evaluated the influence of synthetic chemical compounds reported for this species on the behavior of adults of both sexes. Using Y-tube olfactometry, sexually experienced females and males were exposed to five individual compounds (2-nonanone, (R)-(+)-limonene, (-)-linalool, ocimene, farnesene) at concentrations equivalent to those produced by 1 and 10 individuals (1 and 10 EQ), a mixture of four of them (Mix 10 EQ), volatiles collected from males (VOC\_Mexp), and the signal emitted by live males. The results showed that, at low natural concentrations (1-10 EQ), the synthetic compounds were not attractive. Females significantly preferred the control over (R)-(+)-limonene (1 and 10 EQ) and 2-nonanone (10 EQ), while males showed only a weakly significant attraction to ocimene. The synthetic mixture (Mix) was also not attractive, suggesting that, under these conditions, no synergistic effect occurs among the components. When comparing the two concentrations, the increase from 1 to 10 EQ did not alter the nature of the response for most compounds; the exception was 2-nonanone in females, whose repellency intensified with the dose. In sharp contrast, live males were highly attractive to both sexes (females: 70%; males: 66.7%). It is concluded that the reported synthetic compounds do not act as aggregation pheromones at ecologically relevant concentrations, whereas the complete natural chemical signal is potent. These findings highlight the critical importance of concentration and mixture complexity for developing semiochemical-based control strategies.

**Keywords:** *Alphitobius diaperinus*, Semiochemicals, Pheromones, Chemical Communication, Behavioral Response, Attractiveness.

## INTRODUCCIÓN

*Alphitobius diaperinus* (Panzer, 1797) es un escarabajo que actúa como plaga afectando a las de aves de corral, siendo considerada una de las más relevantes por su alto impacto a nivel económico y sanitario. Esta especie se encuentra extensamente distribuida en el mundo y es especialmente común en las zonas de producción avícola, especialmente donde predominan la crianza de pollos (Bartelt et al., 2009; Chernaki-Leffer et al., 2011; Esquivel et al., 2012). Los efectos perjudiciales que ocasiona esta plaga son diversos: (i) deterioro de los materiales y equipos de las instalaciones avícolas causadas por la alta actividad de las larvas (Despins et al., 1987; Dunford & Kaufman, 2006; Roche et al., 2009); (ii) transmite enfermedades en las aves al ser un vector de diversos patógenos como bacterias, virus, hongos y parásitos (Calla-Quispe et al., 2022; Francisco & do Prado, 2001; Hassemer et al., 2016); (iii) el consumo de este organismo por las aves provoca lesiones en el tracto gastrointestinal, esto trae consigo como consecuencia una disminución del peso de las aves, deficiencia en su desarrollo y por lo tanto una baja productividad, generando pérdidas económicas para los productores (Japp et al., 2010; Rezende et al., 2009; Strother & Steelman, 2001); (iv) puede impactar negativamente sobre la salud de las personas que están en contacto directo con este insecto, ocasionando reacciones alérgicas (Costa Vaz, 2018).

Para el control de *A. diaperinus* en las granjas avícolas se utilizan diversos enfoques que abarcan métodos físicos, químicos y biológicos. El control químico se basa en el uso de compuestos químicos como los insecticidas de origen sintético, mientras el control físico utiliza variaciones en la temperatura y humedad, así como la limpieza de los galpones; el control biológico hace uso de organismos entomopatógenos como *Beauveria bassiana*, *Cladosporium* sp. y *Trichoderma* sp. ocasionándoles enfermedades y la muerte (Rezende et al., 2009). Sin embargo, ninguno de estos métodos es eficiente ya que las tasas de afectación de la plaga son bajas en los métodos biológicos y físicos, y para lograr la eficiencia en los métodos químicos, es necesario emplear concentraciones elevadas de insecticidas, lo cual constituye un riesgo para la salud tanto de las aves como de los consumidores finales de las aves, los seres humanos (Costa Vaz, 2018). Otra de las desventajas es que *A. diaperinus* puede desarrollar resistencia frente a diversos insecticidas utilizados (Rumbos et al., 2018; Wolf et al., 2015). Además, la posible presencia de residuos químicos en la carne debido al uso excesivo y a la exposición de las aves a insecticidas

podrían generar restricciones en el mercado, lo que generaría grandes pérdidas para los productores (Hassemer, 2014).

Ante esta problemática, se está optando por el uso de compuestos químicos producidos por el propio insecto como parte de su metabolismo y que utilizan en su comunicación. A estos compuestos químicos se les conoce como semioquímicos y desempeñan un papel importante en la comunicación en insectos, ya que generan una respuesta conductual o fisiológica en el individuo receptor de la señal química, que puede ser de la misma u de otra especie. Los semioquímicos utilizados en la comunicación entre individuos de una especie se les conoce como feromonas. La utilización de compuestos feromonales presenta diversas ventajas sobre el uso de otros tipos de químicos ya que poseen alta especificidad, es decir solo actúan sobre individuos de la especie objetivo, sin impactar adversamente a otras. Además, su aplicación suele requerir cantidades mínimas para inducir una respuesta o efecto en la plaga, y por ser un producto natural no afecta al medio ambiente, al degradarse fácilmente. Estas características ventajosas posicionan a los semioquímicos, y en particular a las feromonas, como una eficiente alternativa de control de plagas (Beck et al., 2017; Brezolin et al., 2018; Costa Vaz, 2018; Ezzat et al., 2020).

A pesar de estos beneficios, el uso de los semioquímicos, en particular de feromonas, es aún no ampliamente desarrollado debido a la complejidad, tiempo y costos necesarios para identificar y comprobar la actividad de estos químicos en una determinada especie. Por ejemplo, aún es limitado lo que se conoce sobre las feromonas en *A. diaperinus* y por tanto está aún la necesidad de obtener información detallada sobre el efecto de diferentes químicos en *A. diaperinus*. Si bien se conocen compuestos químicos que son emitidos por *A. diaperinus*, estos parecen restringirse a específicas áreas geográficas, como lo observado en poblaciones de Brasil y Estados Unidos de *A. diaperinus* (Bartelt et al., 2009; Cossé & Zilkowski, 2015; Hassemer et al., 2016; Singh & Johnson, 2012). Esta información sería invaluable para optimizar la formulación de cebos en trampas destinadas al control y manejo más efectivo de esta plaga avícola.

En este contexto, el empleo de semioquímicos, en particular de feromonas, surge como una alternativa prometedora para el manejo de *A. diaperinus*; sin embargo, el conocimiento sobre los compuestos químicos involucrados en la comunicación intraespecífica de esta especie y su efecto

conductual en adultos es aún limitado y variable según la población y el área geográfica (Bartelt et al., 2009; Cossé & Zilkowski, 2015; Hassemer et al., 2016). Si bien diversos estudios han identificado compuestos con actividad atrayente, tales como (E)- $\beta$ -ocimeno, (R)-(+)-dauceno y 2-nonanona, así como mezclas de estos, la mayoría de las evaluaciones se ha realizado empleando concentraciones considerablemente superiores a las producidas naturalmente por los individuos de *A. diaperinus* (Bartelt et al., 2009; Singh & Johnson, 2012; Hassemer et al., 2016), lo que limita la extrapolación de los resultados a condiciones reales. Esta carencia de información, particularmente respecto a la función conductual y a las concentraciones mínimas efectivas de dichos compuestos, restringe el diseño y la implementación de estrategias de control específicas, eficientes y sostenibles para el manejo de esta plaga avícola.

En base a ello, se formuló la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la influencia de los compuestos químicos de *A. diaperinus* (Coleóptera: Tenebrionidae) en el comportamiento de adultos de la misma especie? La hipótesis que orienta esta investigación establece que los compuestos químicos sintéticos reportados en adultos de *Alphitobius diaperinus* influyen significativamente en el comportamiento de atracción de adultos de la misma especie. Por lo tanto, el objetivo general de la presente investigación fue evaluar la influencia de compuestos químicos de *A. diaperinus* en el comportamiento de adultos de la misma especie. Como objetivos específicos se propusieron: (i) determinar la influencia conductual de diferentes compuestos químicos sintéticos de *A. diaperinus* hacia adultos de ambos sexos, evaluando su atractividad; (ii) determinar potenciales sinergias en la acción de los compuestos químicos a testear; y (iii) comparar las diferencias conductuales en relación con las dosis de aplicación de los compuestos químicos.

# CAPITULO I. DISEÑO TEÓRICO

## 1.1 Antecedentes

Hassemer et al. (2016) trabajaron con una población brasileña de *A. diaperinus*. Identificaron seis compuestos químicos volátiles producidos por machos adultos vírgenes (i.e. (*R*)-(+)-limoneno, (*E*)- $\beta$ -ocimeno, (*S*)-(+)-linalool, (*R*)-(+)-dauceno, 2-nonanona y (*E,E*)- $\alpha$ -farneseno), de los cuales (*E,E*)- $\alpha$ -farneseno no había sido previamente detectado en *A. diaperinus*. Adicionalmente, mostraron que el Mix de los compuestos que usaron, actuaban como señales químicas atractivas, aunque no evaluaron la atraktividad individual de cada compuesto sobre poblaciones de Brasil de *A. diaperinus*.

Cossé & Zilkowski (2015) estudiaron las respuestas de atracción de adultos, machos y hembras, de una población de *A. diaperinus* de Estados Unidos hacia cinco compuestos previamente reportados en la misma especie, así como la respuesta de atracción hacia compuestos químicos probados individualmente. Para ello realizaron bioensayos de prueba de túnel de viento de doble elección. Los resultados del estudio mostraron que la mezcla de cinco compuestos feromonales en dosis de 1000, 100 y 10  $\mu$ g atraen a los escarabajos. Los compuestos que mostraron una atracción individual más fuerte fueron (*E*)- $\beta$ -ocimeno, (*R*)-(+)-dauceno y 2-nonanona, mientras que la combinación de (*E*)- $\beta$ -ocimeno, (*R*)-(+)-dauceno y 2-nonanona no fue más atractiva que cualquier otra combinación, evidenciando que estos compuestos son necesarios para la atraktividad de esta especie.

Singh & Johnson (2012) evaluaron la atraktividad de estos cinco compuestos identificados y en combinación con excremento de pollo hacia adultos de *A. diaperinus* de una población de Estados Unidos mediante ensayos de olfatometría. Los resultados mostraron que la combinación de 2 g de excremento fresco de pollo y 20  $\mu$ g de la mezcla (Mix) de los cinco compuestos fue la más atractiva para las larvas y adultos del insecto en comparación con los demás tratamientos. Entre los compuestos químicos individuales que fueron evaluados, 20  $\mu$ g de (*E*)- $\beta$ -ocimeno, (*R*)-(+)-dauceno y 2-nonanona mostraron mayor atraktividad hacia los adultos y larvas de *A. diaperinus* en comparación con (*R*)-(+)-limoneno y (*S*)-(+)-linalool. Además, se realizaron ensayos en galpones utilizando trampas con el Mix de los cinco compuestos y se compararon con trampas químicas como control. Se encontró un mayor número de larvas y adultos capturados en

las trampas con los químicos en comparación con el grupo de control, lo que indica que el señuelo de feromonas sintéticas fue atractivo para esta plaga.

Bartelt et al. (2009) analizaron los compuestos volátiles emitidos por adultos de ambos géneros de individuos de *A. diaperinus* de Estados Unidos mediante análisis realizados por cromatografía de gases (GC) y GC-MS. Este grupo de investigadores identificó que los machos emiten una mezcla de cinco compuestos (i.e. (*R*)-(+)-limoneno, (*E*)- $\beta$ -ocimeno, (*S*)-(+)-linalool, (*R*)-(+)-dauceno, 2-nonanona), los cuales en combinación fueron atractivos para ambos sexos, por lo que son componentes de la feromona de agregación. Este autor mostró que estos compuestos pueden ser usados en trampas contra *A. diaperinus*.

Lockey (1979) estudió los hidrocarburos presentes en la cutícula de adultos de *A. diaperinus* mediante extracción por reflujo, utilizando cloroformo como solvente, seguida de separación y análisis mediante cromatografía de columna. Identificó 37 hidrocarburos, mayormente alcanos, mediante cromatografía de masas acoplada a espectrometría de masas (GC-MS).

Tseng et al. (1971) realizaron el primer reporte sobre los compuestos químicos de escarabajos adultos de *A. diaperinus* y estudió la estructura morfológica de las glándulas odoríferas abdominales de este insecto y la composición química de sus secreciones mediante análisis cromatográficos y espectrometría de masas). Identificaron los compuestos 2-metil-1,4-benzoquinona y 2-etil-1,4-benzoquinona en las glándulas, sin embargo, desconocían la función específica de estos compuestos sobre el comportamiento del insecto.

## 1.2 Bases teóricas

### ***Alphitobius diaperinus*: Aspectos biológicos y ecológicos**

Dentro de las plagas que representan un problema para la industria avícola, *A. diaperinus* es la especie más predominante a nivel mundial, y sus efectos son amplios y perjudiciales (Axtell, 1994). Individuos de *A. diaperinus* son frecuentemente encontrados en galpones de pollos, pavos y palomas, donde las condiciones de temperatura, humedad y alimento son favorables para su reproducción (Alborzi & Rahbar, 2012; Bergamin, 2018). Además, son considerados una plaga

secundaria de granos almacenados, ya que son capaces de infestar diversos tipos de granos como cereales y alimentos para animales (Bergamin, 2018; Souza et al., 2009).

Este insecto es ampliamente reconocido como escarabajo de la cama, escarabajo menor de la harina, escarabajo oscuro, escarabajo de la hojarasca o escarabajo de la basura. A pesar que su origen sería la África Subsahariana, actualmente se encuentra naturalizado por todo el mundo (Alborzi & Rahbar, 2012; Bartelt et al., 2009; Dunford & Kaufman, 2006; Sammarco et al., 2023). Su clasificación taxonómica se detalla en la tabla 1.

**Tabla 1**

*Clasificación taxonómica de A. diaperinus*

<b>Clasificación Taxonómica</b>	
<b>Reino:</b>	Animalia
<b>Filo:</b>	Arthropoda
<b>Clase:</b>	Insecta
<b>Orden:</b>	Coleoptera
<b>Suborden:</b>	Polyphaga
<b>Familia:</b>	Tenebrionidae
<b>Subfamilia:</b>	Tenebrioninae
<b>Género:</b>	<i>Alphitobius</i>
<b>Especie:</b>	<i>Alphitobius diaperinus</i> (Panzer, 1797).

Adaptado de “*Alphitobius diaperinus* (Panzer, 1797)”, del Inventaire National Du Patrimoine Naturel (n. d.)

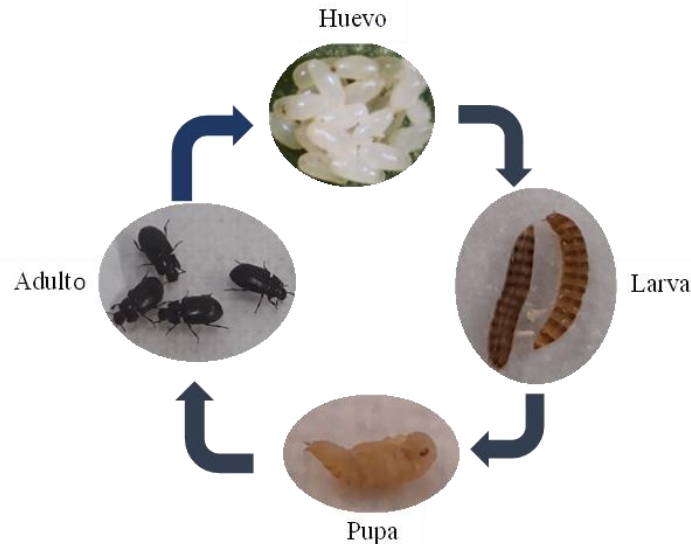
*A. diaperinus* es un insecto holometábolo, es decir presenta cuatro estados biológicos (huevo, larva, pupa y adulto). El huevo es de color blanco (Figura 1), el cual es ovipositado en un racimo de huevos en lugares secos como el suelo, grietas, o en paredes de los galpones. Una hembra adulta llega a ovipositar hasta 2000 huevos a lo largo de su vida y las larvas atraviesan por seis a once estadios larvales (Domínguez, 2012; Dunford & Kaufman, 2006).

Para que la plaga se desarrolle de manera óptima, requiere condiciones de temperatura entre 30 a 33°C, con una humedad relativa de 90%. Los adultos tienen una larga vida útil,

generalmente persistiendo por más de un año, y en condiciones experimentales han logrado sobrevivir por más de 2 años (Dunford & Kaufman, 2006; Francisco & do Prado, 2001; Leandro Luna, 2020).

### Figura 1

*Ciclo biológico de *Alphitobius diaperinus* desarrollado durante la presente investigación*



Los adultos y larvas se alimentan de granos, restos de plumas y excrementos e inclusive atacan a aves vivas (Alborzi & Rahbar, 2012; Dunford & Kaufman, 2006; Eguizabal Alegre, 2017). Tienen a esconderse y refugiarse en zonas inaccesibles para las aves a fin de evitar ser devorados. Estos escarabajos tienen una mayor actividad durante la noche, cuando las aves son menos activas. Este comportamiento nos permite entender por qué, cuando las infestaciones alcanzan niveles elevados, la presencia de esta plaga puede no ser notada a simple vista (Leandro Luna, 2020).

### Impacto económico del daño de *A. diaperinus*

Los adultos de *A. diaperinus* causan daños a las instalaciones avícolas, ya que perforan y destruyen diversos materiales o estructuras de estos lugares, lo que genera gastos adicionales y hasta elevados para restaurar la adecuada funcionalidad de las instalaciones (Despins et al., 1987; Dunford & Kaufman, 2006; Leandro Luna, 2020; Roche et al., 2009).

Tanto los adultos como las larvas de este insecto son potenciales vectores y reservorios de patógenos causantes de enfermedades en las aves, tales como bacterias, hongos, virus y parásitos (Agabou & Alloui, 2010; Alborzi & Rahbar, 2012; Bartelt et al., 2009; Hassemer et al., 2016). Además, las aves también pueden llegar a alimentarse de las larvas y adultos de estos insectos, llegando incluso a preferir este insecto frente al alimento balanceado. Este comportamiento de las aves provoca una disminución en su peso, lesiones en el tracto gastrointestinal y presentando un déficit en su desarrollo y como consecuencia, una baja productividad, lo que se traduce en pérdidas económicas para las granjas avícolas (Bergamin, 2018; Japp et al., 2010; Rezende et al., 2009; Strother & Steelman, 2001). La infestación por esta plaga puede tener repercusiones en la salud humana, ya que el contacto directo con este insecto o el consumo de alimento contaminado puede provocar reacciones alérgicas (Costa Vaz, 2018). Es por ello que es importante tomar medidas efectivas para su control con la finalidad de minimizar su impacto negativo en el sector avícola.

En conjunto, la presencia de *A. diaperinus* representa un problema de gran relevancia para la industria avícola. Por lo tanto, la implementación de estrategias eficaces de control resulta fundamental para reducir las pérdidas económicas y sanitarias asociadas a esta plaga en los sistemas de producción avícola.

### **Métodos de control para *A. diaperinus***

Para el control de *A. diaperinus* se utilizan diversos métodos, tanto físicos, químicos y biológicos. El control químico se basa en el uso de insecticidas, el control físico implica ajustes en la temperatura, humedad y la implementación de medidas de limpieza en las instalaciones avícolas; mientras que el control biológico hace uso de organismos patógenos como *Beauveria bassiana*, *Cladosporium sp.* y *Trichoderma sp.*, capaces de generar enfermedades y la muerte del escarabajo (Figura 2). Sin embargo, ninguno de los métodos disponibles para el control de *A. diaperinus* ha demostrado ser eficaz. Los enfoques biológicos y físicos presentan bajas tasas de afectación de la plaga, mientras que los métodos químicos requieren altas concentraciones de insecticidas, lo cual puede ser perjudicial tanto para la salud de las aves como para los seres humanos (Esquivel et al., 2012; Japp et al., 2010; Rezende et al., 2009; Rumbos et al., 2018; Wolf et al., 2015). Otra desventaja importante es la capacidad de *A. diaperinus* para desarrollar resistencia a los diversos

insecticidas utilizados en su control. Esta resistencia reduce la eficacia de los tratamientos y complica aún más la tarea de combatir a la plaga *A. diaperinus*. Además, el uso excesivo de insecticidas y la exposición de las aves a estos productos químicos pueden ocasionar la presencia de químicos tóxicos en la carne de las aves. Esta situación plantea preocupaciones en términos de seguridad alimentaria y podría dar lugar a restricciones en el mercado. Estas restricciones comerciales podrían causar grandes pérdidas económicas para los productores avícolas. Por lo tanto, es crucial encontrar métodos de control de *A. diaperinus* que sean efectivos y que minimicen el uso de químicos para garantizar la calidad y seguridad de los productos avícolas (Hassemer, 2014).

Existen métodos de control basados en semioquímicos como una alternativa química de control de plagas. El uso de estos compuestos químicos tiene varios aspectos positivos como la especificidad que presentan al actuar solo en especies que son su objetivo sin afectar a otras. Usualmente se usan cantidades muy pequeñas para provocar una respuesta o efecto sobre la plaga y por no ser dañino con el medio ambiente, ya que no deja residuos que cause contaminación o toxicidad para las aves y para el consumidor final (Beck et al., 2017; Brezolin et al., 2018; Costa Vaz, 2018; Ezzat et al., 2020).

En la actualidad, el uso de semioquímicos feromonales (como las feromonas sexuales, feromonas de agregación o feromonas de alarma) en diferentes sistemas de control, permite atrapar y controlar insectos plaga en entornos agrícolas. Por lo que es una herramienta efectiva de monitoreo de plagas como por ejemplo contra algunas especies de chinches y gorgojos (Brezolin et al., 2018).

## Figura 2

Métodos de control de *A. diaperinus*. (A) Control físico (Limpieza de los galpones), (B)\* biológico (individuo de *A. diaperinus* infectado por *Beauveria bassiana*) y (C) químico (uso de insecticidas).

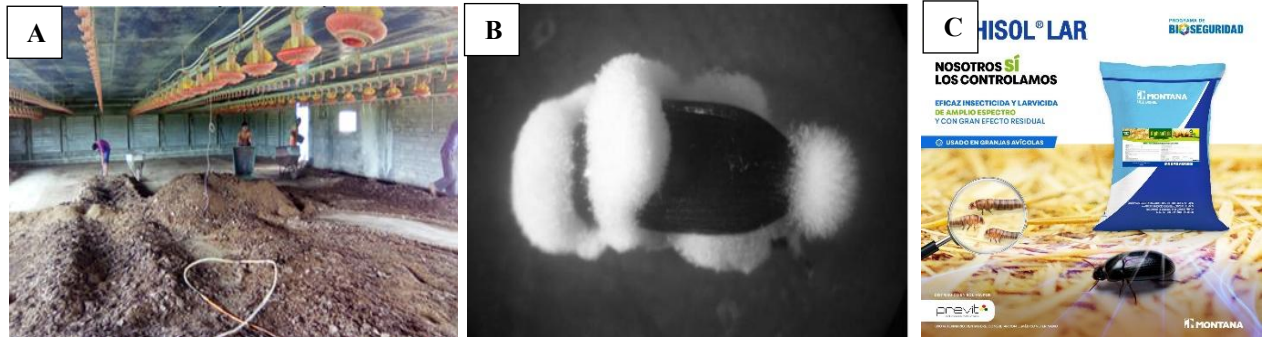


Imagen tomada de Rezende et al. (2009)

## Semioquímicos

Los semioquímicos son compuestos químicos producidos y emitidos por diferentes organismos que median la comunicación intra e interespecífica. De acuerdo al intercambio de estas señales entre organismos de la misma o de diferentes especies, los semioquímicos se clasifican en feromonas (comunicación química intraespecífica) y alelomonas (comunicación química interespecífica) (Beck et al., 2017; Brezolin et al., 2018). Las feromonas son sustancias químicas que provocan cambios conductuales o en la fisiología de individuos de la misma especie. Estos químicos pueden ser altamente volátiles, semivolátiles o no volátiles. Por lo que dependiendo de las características fisicoquímicas de los compuestos, el receptor de la señal necesitaría contactar al individuo que emite la señal o no (Borrero Echeverry et al., 2018).

Dentro de las feromonas, existen varios tipos los cuales son liberados ante determinados eventos y fines (i) las feromonas sexuales, emitidas por hembras o machos para atraer al sexo opuesto e inducir a la cópula; (ii) feromonas de alarma, inducen una respuesta de defensa o dispersión al sentir una amenaza; (iii) feromonas de agregación, atraen y congregan a individuos de ambos sexos con el objetivo de indicar alimento disponible u otras condiciones favorables; (iv) las feromonas de rastreo, conducen a otros individuos hacia lugares donde se encuentra alimento disponible (Brezolin et al., 2018; Ezzat et al., 2020).

### 1.3 Bases conceptuales (Operacionalización o categorización de variables)

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Técnicas	Instrumentos	Escalas de medición	Tipo
Dependiente: <i>Alphitobius diaperinus</i> (insectos adultos, Hembras y Machos)	Insecto plaga de avícolas y potencial vector de enfermedades. (Hassemer et al., 2016; Dunford & Kaufman, 2006).	Respuesta conductual frente a compuestos químicos sintéticos	Número de individuos atraídos durante los bioensayos.	Ensayo de olfatometría.	Olfatómetro de vidrio en forma de Y	De razón	Cuantitativa
Independiente: Compuestos químicos sintéticos de <i>A. diaperinus</i>	Compuestos químicos reportados como feromonas de agregación, producidas sintéticamente para simular señales químicas naturales de <i>A. diaperinus</i> .	Tipo de compuesto, dosis y sinergia (Mix de compuestos)	Porcentaje de respuesta de atracción en los bioensayos	Aplicación de compuestos químicos en bioensayos de olfatometría.	Pipetas Pasteur, papel filtro, bomba de aire con filtros de carbón activado.	De razón	Cuantitativa

## CAPITULO II. DISEÑO METODOLÓGICO

### 2.1 Diseño de contrastación de hipótesis/ Procedimiento a seguir en la investigación

#### 2.1.1 tipo de estudio y diseño de contrastación de hipótesis

El presente estudio es de tipo experimental, con enfoque cuantitativo, y adopta un diseño factorial de laboratorio. Para contrastar las hipótesis planteadas sobre la influencia de diferentes compuestos químicos sintéticos y sus posibles combinaciones en la atractividad de adultos de *Alphitobius diaperinus*, se evaluaron diferencias en la atracción hacia los tratamientos en comparación con el control mediante una prueba estadística binomial. Este test se realizó utilizando la función *binom.test* del paquete *stats* en el software R, versión 4.2.2, permitiendo determinar si los tratamientos tienen un efecto significativamente distinto sobre la variable dependiente.

### 2.2 Población y muestra

**2.2.1 Población:** La población estuvo constituida por individuos adultos de *A. diaperinus* de ambos sexos y sexualmente experimentados, criados en condiciones de laboratorio.

**2.2.2 Muestra:** La poblacional muestral estuvo conformada por 1200 individuos de ambos sexos (hembras y machos) de *A. diaperinus*.

### 2.3 Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

**2.3.1 Método:** Investigación cuantitativa, con diseño experimental, orientada a la obtención y análisis de datos numéricos derivados de la respuesta conductual de adultos de *A. diaperinus* frente a estímulos químicos sintéticos.

**2.3.2 Técnica:** Técnica cuantitativa experimental - observacional, basada en bioensayos de olfatometría, en los que se observa y registra la elección conductual de los insectos frente a diferentes compuestos químicos sintéticos, considerando dicha elección como una variable de respuesta cuantificable.

**2.3.4 Instrumento:** Ficha de registro de datos, diseñada para consolidar la respuesta de cada insecto evaluado, incluyendo el compuesto aplicado, el sexo del insecto, la elección del brazo del olfatómetro, tiempo, temperatura de la zona de trabajo y la hora de ejecución del ensayo (Anexo 1).

## 2.4 Procedimiento

### 2.4.1 Área de estudio:

Las larvas y adultos de *A. diaperinus* fueron colectados en una granja avícola comercial ubicada en el Parque Industrial Quebrada Retamal ( $12^{\circ} 09' 27.8''$  S  $76^{\circ} 53' 46.2''$  W), distrito de Villa María del Triunfo, en el departamento de Lima (Figura 3). Para el estudio se seleccionó individuos sanos y sin malformaciones o piezas corporales faltantes. El material biológico fue criado en condiciones de laboratorio por más de 21 días hasta alcanzar la adultez del insecto, estuvo constituido por insectos adultos de ambos sexos, criados en condiciones de laboratorio (Instituto de Ciencias Ómicas y Biotecnología Aplicada (ICOBA) – PUCP).

### Figura 3

*Ubicación geográfica de la granja avícola comercial, donde se llevó a cabo las colectas de esta *A. diaperinus*.*



Fuente: **Google Earth Pro**

#### 2.4.2 Procedimiento para la crianza de *A. diaperinus* en condiciones de laboratorio

Los insectos colectados en la granja avícola comercial fueron acondicionados en cajas de vidrio (30 × 25 × 20 cm), y estos a su vez se colocaron en una cabina de crecimiento de clima controlado: 30 °C, 50 % de humedad relativa y fotoperiodo de luz/oscuridad:12/12 h (Calla Quispe, 2022) (Figura 4). En una de las cajas de vidrio, se mantuvo una población de cientos de machos y hembras adultos colectados, permitiéndoles reproducirse libremente (Figura 5). Los individuos de *A. diaperinus* fueron alimentados con harina de trigo comercial ("Blanca flor", Alicorp, Lima) y se les proporcionó agua mediante papel toalla humedecido. La sustitución del alimento y agua, así como la limpieza de las cajas de crianza, se llevó a cabo dos veces por semana (siguiendo el protocolo de Calla-Quispe et al. 2022).

Las nuevas larvas resultado de la reproducción en las cámaras fueron transferidas a placas de Petri (60 × 15 mm), las cuales se ubicaron en otra caja de vidrio (Figura 6). Esta segunda caja fue inspeccionada dos veces por semana para alimentar a las larvas e identificar nuevas pupas. Posteriormente, se determinó el sexo del insecto en estado de pupa mediante las características morfológicas descritas por Esquivel et al. (2012). Se observaron la presencia o ausencia de estructuras ventrales llamados pigopodos. Las pupas hembras presentan un par de pigopodos ventrales (Figura 7), mientras que las pupas macho carecen de ellos. Ambos sexos poseen un par de urogomphus dorsales, pero estas estructuras no son un criterio de identificación del sexo del insecto (Esquivel et al., 2012).

Se asignó "F" a las hembras y "M" a los machos. Los adultos emergidos de las pupas fueron aislados para evitar que copularan y se les denominó vírgenes (V); otro subgrupo de machos y hembras fueron criados en grupos mixtos para permitirles copular a los que se les denominó sexualmente experimentados (Exp).

**Figura 4**

*Condiciones controladas de crianza de A. diaperinus en cabina de crecimiento.*



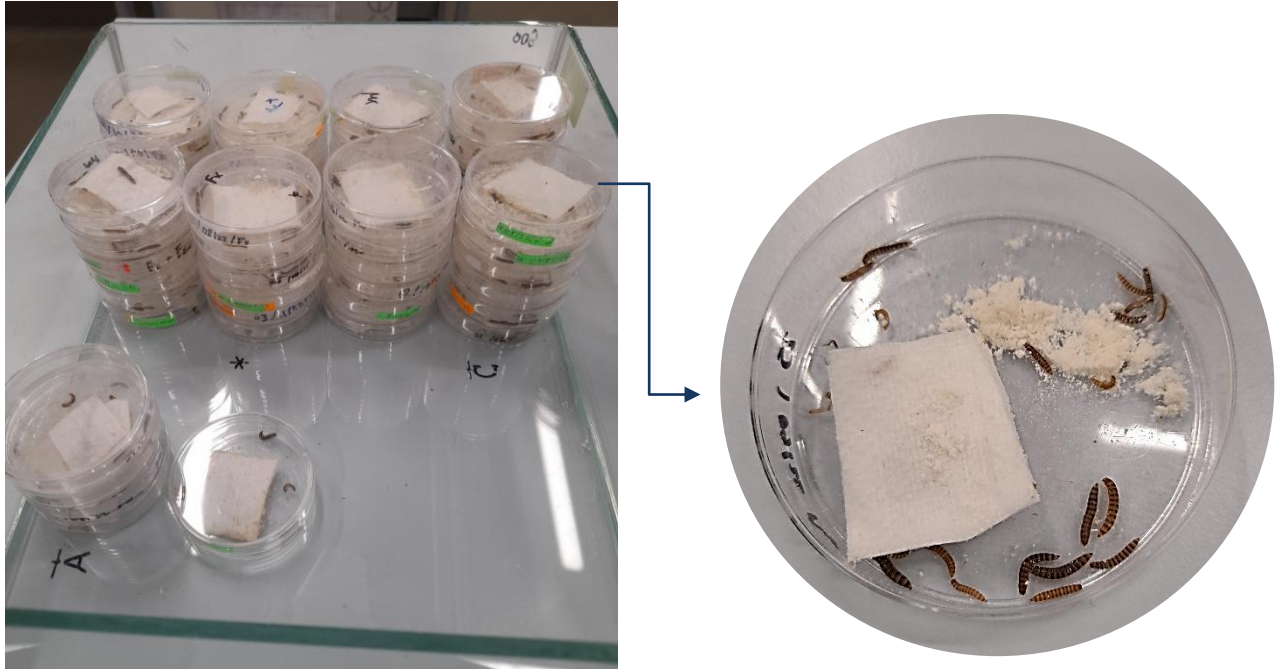
**Figura 5**

*Población de adultos de A. diaperinus criados en cajas de vidrio en condiciones de laboratorio.*



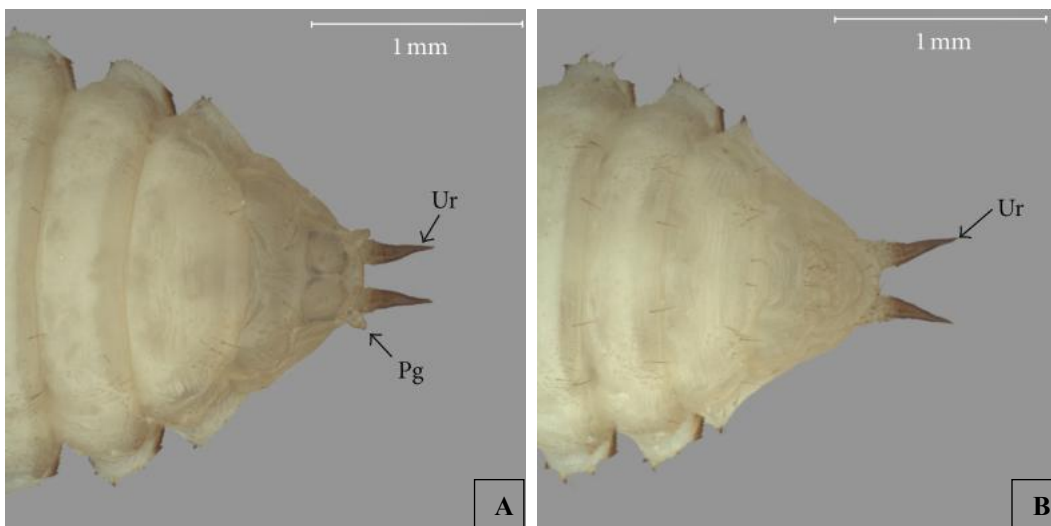
## Figura 6

*Transferencia y mantenimiento de larvas en placas de Petri.*



## Figura 7

*Determinación del sexo de *A. diaperinus* en estado de pupa.*



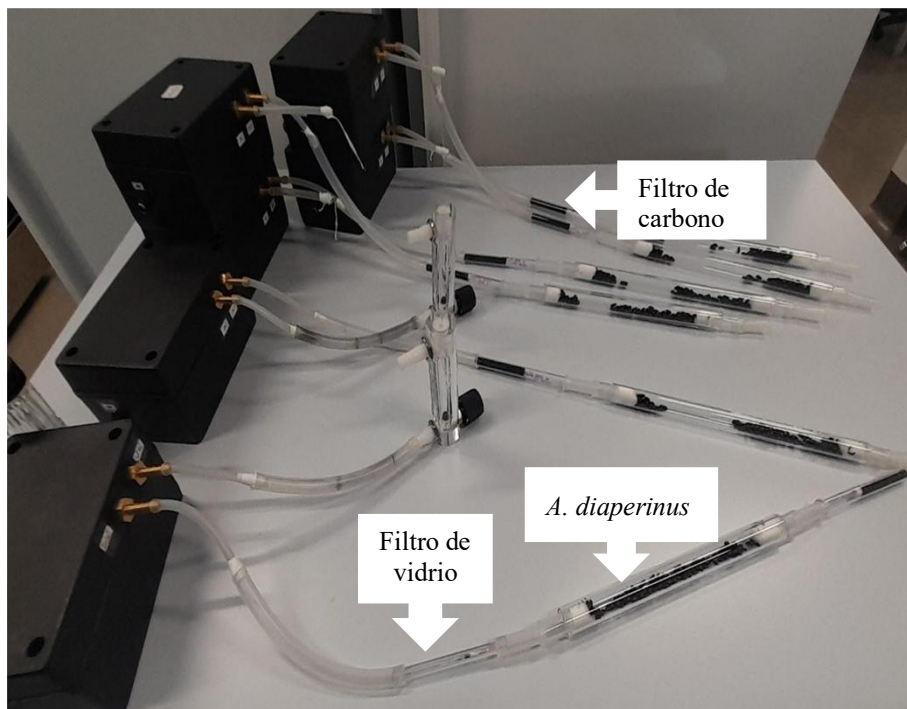
Tomado y adaptado de Esquivel et al. (2012). Hembra (A): presencia de un par pigopodos (Pg) y un par de urogomphus (Ur). Macho (B): solo presentan un par urogomphus (Ur).

### 2.4.3 Colecta de compuestos volátiles emitidos por adultos macho de *A. diaperinus*

Para obtener los volátiles emitidos naturalmente por machos sexualmente experimentados (Mexp), se utilizaron 500 individuos distribuidos en cámaras de vidrio (1 cm de diámetro × 15 cm de longitud), con 10 insectos por cámara. Cada cámara contenía 100 µL de agua en papel absorbente (1 × 1 cm) y estaba conectada a un sistema de flujo de aire continuo de 300 mL/min (Figura 8) a través de filtros de carbón activado (malla 20 - 40, Sigma-Aldrich). Previo a la colecta, las cámaras se purgaron durante 10 minutos con aire limpio. Los compuestos volátiles emitidos durante 4 horas fueron adsorbidos en filtros de vidrio con una mezcla de Carbotrap y Tenax (Supelco, USA). Posteriormente, los volátiles se eluyeron con hexano para su uso en los ensayos olfatométricos. Como control, se procesaron cámaras idénticas sin insectos bajo las mismas condiciones (Calla Quispe, 2022).

**Figura 8**

*Colecta de volátiles de machos adultos, sexualmente experimentados*



#### 2.4.4 Fase experimental

La respuesta conductual de *A. diaperinus* se evaluó mediante ensayos de olfatometría en un olfatómetro en forma de “Y”. Este diseño permitió probar simultáneamente el efecto de dos factores: el tipo de compuesto químico (individuales, mezclas y señales naturales) y la dosis de aplicación (1 y 10 EQ). Los tratamientos incluyeron cinco compuestos sintéticos individuales, una mezcla sintética (Mix), volátiles colectados de machos (VOC\_Mexp) y la señal emitida por machos vivos, enfrentados siempre contra un control de hexano.

##### **a) Ensayo de olfatometría para determinar la influencia conductual de diferentes compuestos químicos sintéticos de *A. diaperinus* hacia adultos de ambos sexos, evaluando su atraktividad**

Para evaluar la influencia conductual de diferentes compuestos químicos sintéticos de *A. diaperinus*, se utilizó un olfatómetro de vidrio en forma de “Y”, con un diámetro interno de 8 mm, un tronco central de 10 cm de longitud y dos brazos laterales de 5 cm cada uno (Figura 9).

Se evaluaron cinco compuestos químicos previamente reportados para *A. diaperinus*: 2-nonanona, (R)-(+)-limoneno, (-)-linalool, ocimeno (mixtura de isómeros), farneseno (mixtura de isómeros). Cada compuesto fue evaluado de forma individual en concentraciones equivalentes a las producidas naturalmente por un individuo macho durante un periodo de cuatro horas (de aquí en adelante referido como 1 EQ), de acuerdo con concentraciones basadas en Hassemer et al. (2016), (Tabla 2). Cada tratamiento (diluido en hexano) se evaluó frente a un control de hexano puro. En cada ensayo, se impregnó una tira de papel filtro (2 × 0,5 cm) con 20 µL del tratamiento o del control, la cual se colocó dentro de una pipeta Pasteur conectada a uno de los brazos del olfatómetro. Este diseño permitió una liberación uniforme del estímulo químico durante la prueba (Figura 10).

El experimento se inició colocando un adulto sexualmente experimentado (hembra o macho) en la base del tronco del olfatómetro. Posteriormente, se activó una bomba eléctrica que generó un flujo de aire limpio, constante y unidireccional de 300 mL/min, el cual previamente pasa por un filtro de carbono antes de llegar a la muestra (Figura 10). Este filtro permite eliminar contaminantes o cualquier compuesto volátil externo que pueda interferir con

el ensayo. Además, este flujo de aire permitió el transporte homogéneo de los estímulos químicos desde los brazos del olfatómetro hacia el tronco del tubo en “Y” donde se encontraba el insecto, asegurando condiciones controladas entre tratamientos. El comportamiento del insecto fue registrado durante cinco minutos, considerándose una respuesta positiva cuando el individuo ingresó completamente a uno de los brazos del olfatómetro (Calla Quispe, 2022).

#### **b) Evaluación de potenciales sinergias en la acción de los compuestos químicos sintéticos hacia adultos de *A. diaperinus* de ambos sexos**

Para evaluar la presencia de posibles efectos sinérgicos en la combinación de compuestos químicos a testear, se realizaron ensayos adicionales en machos y hembras experimentadas utilizando una mezcla (Mix) de cuatro compuestos químicos sintéticos: (R)-(+)-Limoneno, 2-Nonanona, Ocimeno, y Farneseno; aplicada en una concentración diez veces superior a la natural (Mix 10 EQ). Los resultados obtenidos con esta mezcla se compararon con un tratamiento control que contenía únicamente el solvente (hexano), empleando el mismo procedimiento utilizado en los ensayos con compuestos individuales.

#### **c) Evaluación del efecto de la dosis de aplicación de los compuestos químicos sintéticos hacia adultos de *A. diaperinus* de ambos sexos**

Para evaluar el efecto de la dosis de aplicación sobre la respuesta conductual de *A. diaperinus*, los cinco compuestos químicos sintéticos evaluados de manera individual fueron ensayados en dos concentraciones: una dosis equivalente a la emisión natural de un macho durante cuatro horas (1 EQ) y una dosis diez veces superior (10 EQ).

Ambos niveles de dosis fueron evaluados mediante el mismo ensayo de olfatometría en tubo en “Y”, registrándose la elección del insecto hacia el brazo con tratamiento o hacia el brazo control. Las respuestas conductuales obtenidas a 1 EQ y 10 EQ fueron comparadas para cada compuesto, con el fin de identificar posibles variaciones en la atractividad asociadas al incremento de la dosis, como parte del diseño experimental factorial del estudio.

- **Evaluación de compuestos químicos naturales como referencia biológica para determinar la respuesta conductual de adultos de *A. diaperinus***

Para determinar la respuesta conductual de *A. diaperinus* frente a los compuestos químicos sintéticos evaluados, se incluyeron dos tratamientos con estímulos o compuestos químicos naturales: (i) Compuestos orgánicos volátiles colectados de 10 machos sexualmente experimentados durante un periodo de cuatro horas (VOC-Mexp), los cuales representan la mezcla natural de compuestos emitidos por individuos de la especie, y (ii) Los compuestos químicos emitidos en tiempo real por 10 machos vivos, que representa una señal química natural más completa ya que reflejan las proporciones naturales de los volátiles emitidos, su liberación continua en el tiempo y la posible presencia de compuestos químicos no identificadas o a diferentes concentraciones a las usadas en los ensayos de esta investigación. Estas evaluaciones fueron utilizadas como compuestos químicos naturales de referencia biológica para comparar la atractividad generada por compuestos químico sintéticos evaluados de manera individuales y de la mezcla sintética (Mix), permitiendo evaluar su relevancia ecológica y su potencial aplicación en estrategias de manejo basadas en semioquímicos.

- **Condiciones experimentales**

Los ensayos se llevaron a cabo en un ambiente con temperatura controlada (30 °C - 32 °C). Cada individuo fue experimentalmente utilizado una única vez para garantizar la independencia de las observaciones. Se utilizó un olfatómetro limpio en cada ensayo, y estos fueron rotados tras cada prueba para minimizar posibles sesgos derivados de la iluminación y la posición de los tratamientos. Una hora antes de los ensayos, los insectos fueron individualizados en placas de Petri para su aclimatación y evitar que estén estresados, lo cual podría influir en la respuesta del insecto. Se realizaron al menos 15 repeticiones para cada tratamiento, lo que resultó en un total de 637 ensayos. No obstante, 118 pruebas fueron descartadas debido a la falta de respuesta de los insectos, resultando en un total de 482 ensayos válidos.

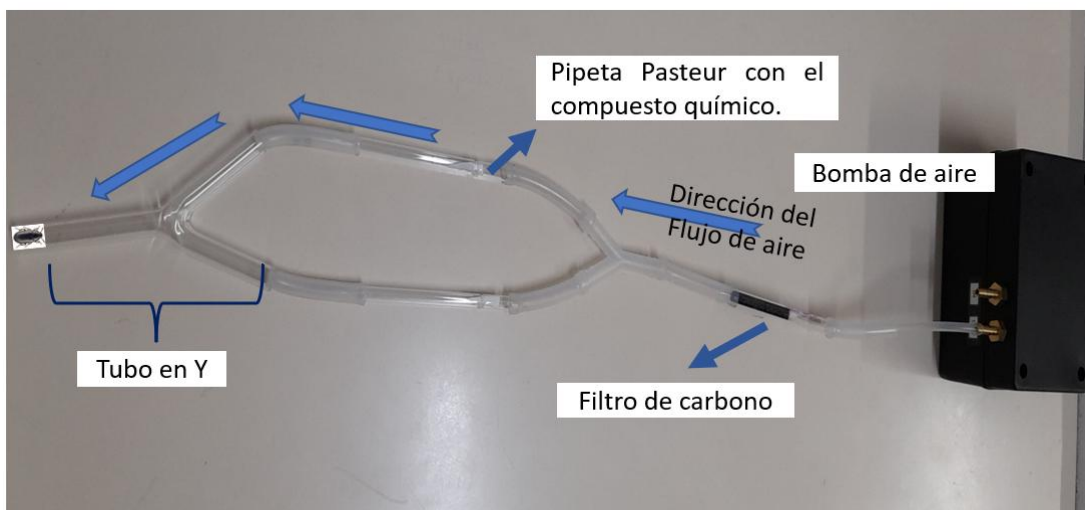
### Figura 9

*Olfatómetro de vidrio en forma de "Y" para la evaluación de la respuesta olfativa de *A. diaperinus*.*



### Figura 10

*Montaje experimental del olfatómetro en "Y" para las evaluaciones de atractividad.*



**Tabla 2**

*Compuestos químicos sintéticos utilizados en los tratamientos de atractividad de A. diaperinus.*

Tratamiento Número	Tratamientos (compuesto químico/organismos)	Concentración/Individuos
1	2-Nonanona, 1 EQ*	0,007 µg
2	2-Nonanona, 10 EQ	0,07 µg
3	(R)-(+)-Limoneno, 1 EQ	0,049 µg
4	(R)-(+)-Limoneno, 10 EQ	0,49 µg
5	(-)-Linalool, 1 EQ	0,0512 µg
6	(-)-Linalool, 10 EQ	0,512 µg
7	Ocimeno (mixtura de isómeros), 1 EQ	0,0312 µg
8	Ocimeno (mixtura de isómeros), 10 EQ	0,312 µg
9	Farneseno (mixtura de isómeros), 1 EQ	0,0445 µg
10	Farneseno (mixtura de isómeros), 10 EQ	0,445 µg
11	Mix de (R)-(+)-Limoneno, 2-Nonanona, Ocimeno, and Farneseno; 10 EQ	0,490 µg + 0,07 µg + 0,312 µg + 0,445 µg
12	Volátiles colectados de machos experimentados durante 4 h, 10 EQ	10 individuos
13	Machos experimentados vivos, 10 EQ	10 individuos

EQ (Número equivalente): concentración del compuesto químico que hay en un insecto.

## 2.5 Procesamiento y análisis de datos

El procesamiento inicial de los datos obtenidos en los bioensayos de olfatometría se realizó mediante hojas de cálculo en Microsoft Excel 2019, lo que permitió organizar y estructurar de manera ordenada las variables evaluadas. Posteriormente, el análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el software R, versión 4.2.2, aplicando la prueba binomial a través de la función *binom.test* del paquete stats, con el fin de determinar diferencias significativas en la atracción de *Alphitobius diaperinus* hacia los tratamientos químicos en comparación con el control.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1 Influencia conductual de diferentes compuestos químicos sintéticos de *A. diaperinus* hacia adultos de ambos sexos, evaluando su atractividad

Para determinar la influencia conductual de diferentes compuestos químicos sintéticos de *A. diaperinus* hacia adultos de ambos sexos, se realizaron ensayos olfatométricos de doble elección. Los resultados, presentados en la Figura 11, revelaron patrones de respuesta diferenciados entre hembras experimentadas (Fexp) y machos experimentados (Mexp) hacia los cinco compuestos evaluados a concentraciones de 1 y 10 EQ. Estas diferencias, evaluadas mediante la prueba binomial exacta frente al control (C), fueron clasificadas como significativas (\*  $p < 0,05$ ), débilmente significativas ( $\dagger p < 0,1$ ) o no significativas (ns  $p \geq 0,1$ ).

En las hembras sexualmente experimentadas (Fexp), se observó una preferencia significativa por el control de hexano frente al R-(+)-limoneno tanto a 1 EQ (3 de 15 individuos atraídos por el tratamiento, 20.0%;  $p < 0.05$ ) como a 10 EQ (11 de 30, 36.7%;  $p < 0.05$ ). La 2-nonanona a 10 EQ también fue significativamente menos atractiva que el control (9 de 30, 30.0%;  $p < 0.05$ ), mientras que a 1 EQ mostró una tendencia marginal en el mismo sentido (5 de 15, 33.3%;  $p < 0.1$ ). El (-)-linalool presentó tendencias débilmente significativas de menor atracción en ambas concentraciones (1 EQ: 5 de 15, 33.3%; 10 EQ: 5 de 15, 33.3%;  $p < 0.1$  en ambos casos). Los compuestos ocimeno y farneseno no presentaron respuestas significativamente diferentes al control en ninguna concentración, con porcentajes de atracción que oscilaron entre 40.0% y 48.0%. La mezcla sintética de compuestos (Mix) tampoco mostró diferencias significativas (7 de 14, 50.0%).

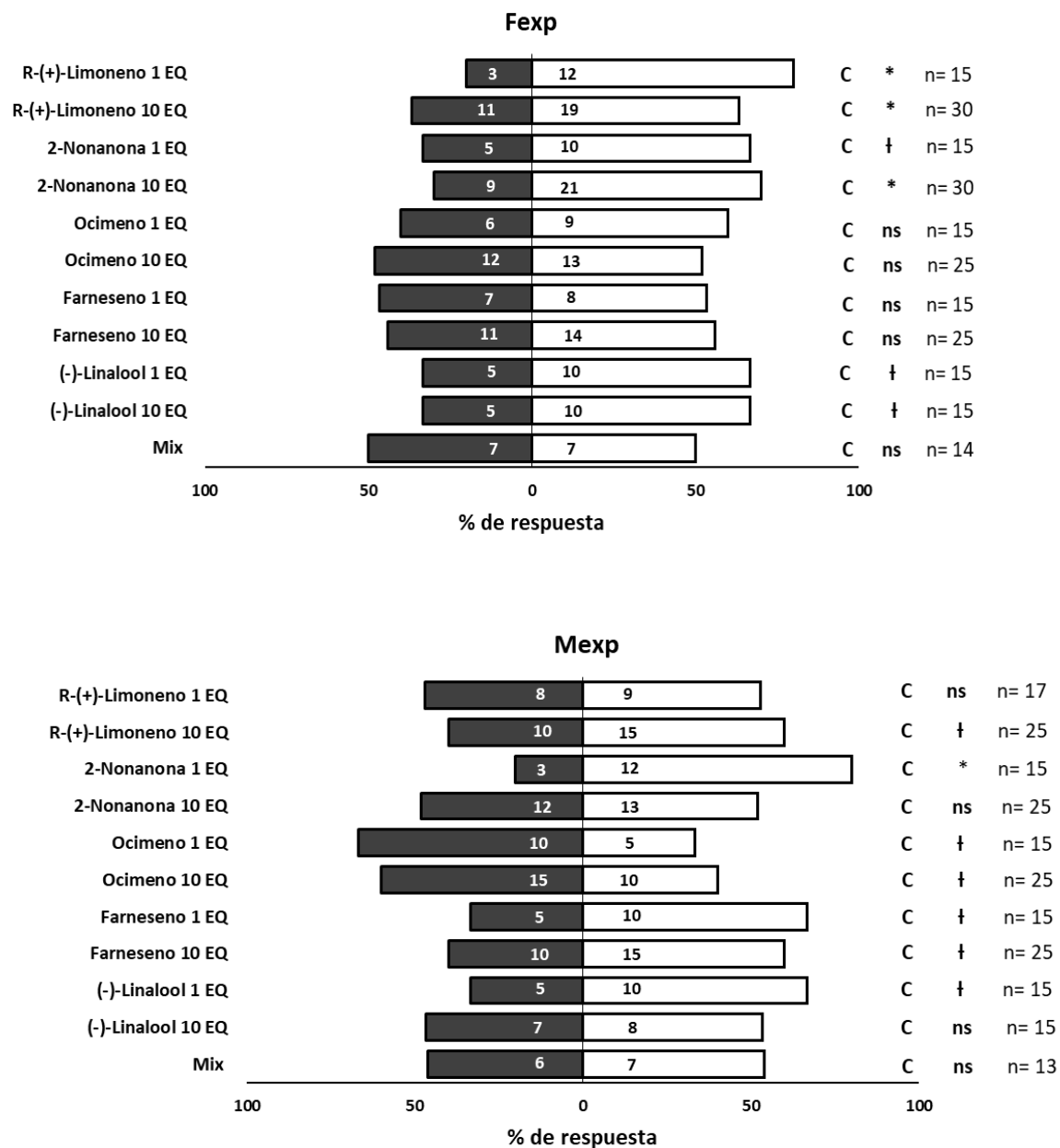
En los machos sexualmente experimentados (Mexp), el ocimeno fue el único compuesto que mostró tendencias de atracción débilmente significativas, tanto a 1 EQ (10 de 15 individuos, 66.7%;  $p < 0.1$ ) como a 10 EQ (15 de 25, 60.0%;  $p < 0.1$ ). Por el contrario, la 2-nonanona a 1 EQ fue significativamente menos atractiva que el control (3 de 15, 20.0%;  $p < 0.05$ ). Se registraron tendencias débilmente significativas de menor atracción hacia el R-(+)-limoneno a 10 EQ en comparación con el control (10 de 25, 40.0%;  $p < 0.1$ ), el farneseno a 1 EQ (5 de 15, 33.3%;  $p < 0.1$ ) y 10 EQ (10 de 25, 40.0%;  $p < 0.1$ ), y el (-)-linalool a 1 EQ (5 de 15, 33.3%;  $p < 0.1$ ). El R-(+)-limoneno a 1 EQ, la 2-nonanona a 10 EQ, el (-)-linalool a 10 EQ y la mezcla sintética no generaron respuestas significativamente diferentes al control.

### **Diferencias sexuales en la respuesta a compuestos sintéticos:**

La comparación de la respuesta entre hembras y machos reveló diferencias sexuales en la percepción de varios compuestos. Los machos mostraron una tendencia atractiva débilmente significativa hacia el ocimeno en ambas concentraciones (66.7% a 1 EQ; 60.0% a 10 EQ), mientras que las hembras no respondieron significativamente a este compuesto (40.0% y 48.0%, respectivamente). En contraste, las hembras mostraron una repelencia significativa hacia el R-(+)-limoneno en ambas dosis (20.0% a 1 EQ; 36.7% a 10 EQ), mientras que los machos no respondieron significativamente a la dosis baja (47.1%) y mostraron solo una tendencia débilmente significativa a la dosis alta (40.0%). La 2-nonanona a 1 EQ fue significativamente repelente para machos (20.0%) pero solo mostró una tendencia débilmente significativa en hembras (33.3%). Ambos sexos respondieron de manera similar a la mezcla sintética (Mix), sin mostrar preferencia significativa por el tratamiento o el control.

**Figura 11**

*Respuesta de atracción de hembras (Fexp) y machos experimentados (Mexp) de A. diaperinus hacia compuestos químicos sintéticos individuales a 1 y 10 EQ y hacia un Mix de compuestos a 10 EQ.*



### 3.2 Potenciales sinergias en la acción de los compuestos químicos sintéticos a testar

Con el fin de determinar potenciales sinergias en la acción de los compuestos químicos a testar, se comparó la respuesta de los adultos de *A. diaperinus* hacia una mezcla sintética (Mix) con su reacción ante los compuestos individuales. El Mix, formulado a una concentración de 10 EQ, combinó cuatro de los compuestos químicos estudiados previamente de forma individual. Esta comparación directa permitió determinar si la acción conjunta de los compuestos químicos sintéticos en la mezcla producía un efecto conductual diferente y se comparó esta respuesta con la obtenida para los compuestos químicos sintéticos probados individualmente a la misma concentración.

La mezcla sintética (Mix) no provocó una respuesta atractiva significativa en adultos de *A. diaperinus* de ninguno de los dos sexos. En las hembras sexualmente experimentadas (Fexp), 7 de 14 individuos (50.0%) seleccionaron el brazo de la mezcla, lo que no representó una diferencia estadísticamente significativa frente al control de hexano ( $p \geq 0.1$ ). De manera similar, en los machos sexualmente experimentados (Mexp), 6 de 13 individuos (46.2%) eligieron la mezcla, mostrando también una respuesta neutral que no difirió del control ( $p \geq 0.1$ ).

- **Comparación con compuestos químicos individuales (compuestos probados de uno en uno)**

Al comparar la respuesta a la mezcla con la observada hacia sus compuestos químicos sintéticos individuales (es decir evaluado de uno en uno por ensayo) a la misma concentración (10 EQ), no se detectó un efecto sinérgico que incrementara la atraktividad. En machos, mientras la mezcla (Mix) no tuvo un efecto significativo (46.2%, ns), el componente ocimeno individual mostró una tendencia débilmente significativa de atracción (60.0%,  $p < 0.1$ ). En hembras, la mezcla tampoco fue atractiva (50.0%, ns), mientras que componentes individuales como la 2-nonanona fueron significativamente menos atractivos que el control (30.0%,  $p < 0.05$ ). La mezcla no superó la atraktividad débilmente significativa del mejor componente individual (ocimeno en machos) ni revirtió la repelencia observada para algunos componentes en hembras.

La combinación sintética de cuatro compuestos a 10 EQ no generó una respuesta atractiva significativa y no mostró evidencias de sinergia al ser comparada con las respuestas a sus componentes individuales en las condiciones experimentales evaluadas.

### **3.3 Comparación de diferencias conductuales en relación a la dosis de aplicación de los compuestos químicos sintéticos para adultos de *A. diaperinus***

Para comparar diferencias conductuales en relación a las dosis de aplicación de los compuestos químicos, se analizó la respuesta de adultos de *A. diaperinus* hacia cada compuesto sintético individual a las concentraciones de 1 EQ y 10 EQ, tal como se visualizó en la figura 11.

La 2-nonanona fue el único compuesto que mostró un patrón de respuesta claramente influenciado por la concentración, y este efecto fue distinto entre sexos. En hembras, la repelencia fue débilmente significativa a 1 EQ (33.3% de atracción al tratamiento,  $p < 0.1$ ) y se volvió significativa a 10 EQ (30.0%,  $p < 0.05$ ). En machos, por el contrario, el compuesto fue significativamente menos atractivo que el control a 1 EQ (20.0%,  $p < 0.05$ ), pero esta diferencia desapareció a 10 EQ (48.0%, sin significancia estadística). Ningún otro compuesto presentó un cambio en la categoría de su respuesta (significativa/débilmente significativa/no significativa) entre las dos dosis evaluadas.

- **Compuestos químicos sintéticos que no modificaron la respuesta de *A. diaperinus* según la dosis**

La mayoría de los compuestos mantuvieron el mismo tipo de respuesta en ambas concentraciones. El R-(+)-limoneno fue significativamente menos atractivo que el control para las hembras en ambas dosis (1 EQ: 20.0%; 10 EQ: 36.7%). En machos, este compuesto no tuvo una respuesta significativa a 1 EQ (47.1%) y mostró solo una tendencia débilmente significativa de menor atracción a 10 EQ (40.0%). El (-)-linalool mantuvo una tendencia débilmente significativa de menor atracción en hembras en ambas concentraciones (33.3%). En machos, mostró una tendencia débilmente significativa solo a 1 EQ (33.3%) y mostró esta misma tendencia a 10 EQ (46.7%). El ocimeno no mostró diferencias significativas con el control en hembras en ninguna dosis, mientras que en machos mantuvo una tendencia débilmente significativa de atracción tanto a 1 EQ (66.7%) como a 10 EQ (60.0%). El farneseno

no fue significativamente diferente del control en hembras, y en machos mostró tendencias débilmente significativas de menor atracción en ambas dosis.

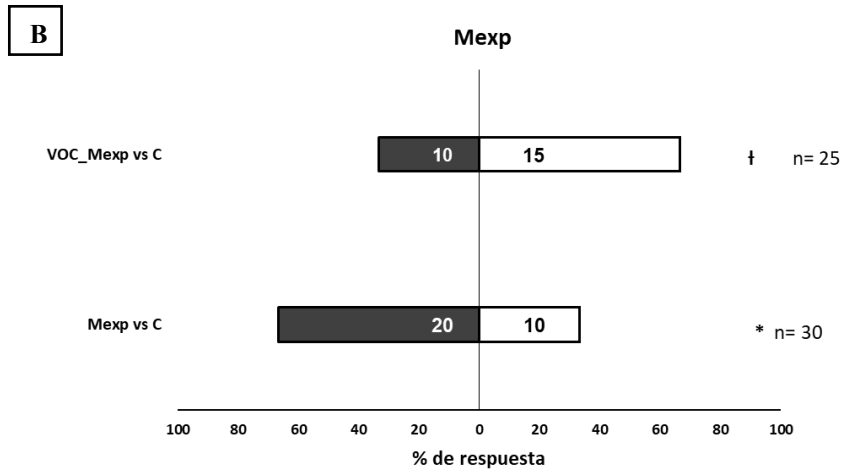
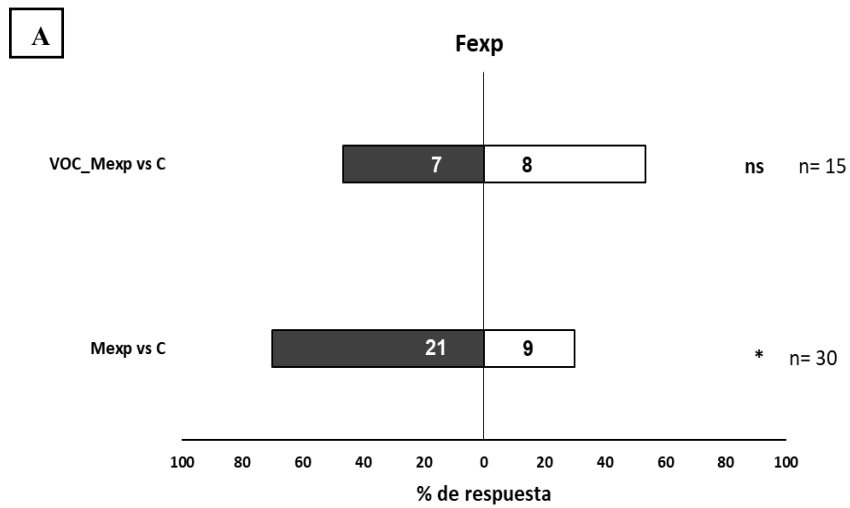
Bajo las condiciones de este estudio, el incremento de concentración de 1 a 10 EQ no generó un cambio en la cualidad de la respuesta (atractiva, débilmente atractiva o repelente) para la mayoría de los compuestos químicos sintéticos evaluados. La excepción fue la 2-nonanona, cuyo perfil de respuesta sí varió con la dosis de manera diferente en cada sexo.

### **Evaluación de compuestos químicos naturales como referencia biológica para determinar la respuesta conductual de adultos de *A. diaperinus***

Se evaluó la atracción de hembras experimentadas (Fexp) y machos experimentados (Mexp) de *A. diaperinus* hacia dos fuentes de señales químicas naturales: los volátiles colectados de machos (VOC\_Mexp) y la señal olfativa emitida en tiempo real por machos vivos (Mexp), como se observa en la figura 12. La significancia estadística de las respuestas, determinada mediante la prueba binomial exacta, se representa de la siguiente manera: asterisco (\*) para diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), "ns" para diferencias no significativas ( $p \geq 0,1$ ), y el símbolo de daga (†) para diferencias débilmente significativas ( $p < 0,1$ ).

## Figura 12

Respuesta de atracción de hembras experimentadas (*Fexp*): **A**, y machos experimentados (*Mexp*): **B**, de *A. diaperinus* hacia el olor de la colecta de volátiles de machos experimentados (*VOC\_Mexp*) frente al control (*C*) y hacia la señal olfativa de machos experimentados vivos (*Mexp*) frente al control.



En la figura 12 también se observa que los compuestos orgánicos volátiles colectados de diez machos sexualmente experimentados durante un periodo de 4 horas mostraron una atraktividad limitada. En las hembras (Fexp), 7 de 15 individuos (46.7%) fueron atraídos por los VOC\_Mexp, lo que no representó una diferencia significativa frente al control ( $p \geq 0.1$ ). En los machos (Mexp), se observó una tendencia débilmente significativa de atracción, con 10 de 25 individuos (40.0%) seleccionando el brazo del tratamiento ( $p < 0.1$ ).

En marcado contraste, la señal química completa emitida por diez machos vivos fue altamente atractiva para ambos sexos. En hembras, 21 de 30 individuos (70.0%) mostraron una preferencia significativa por el brazo con machos vivos frente al control ( $p < 0.05$ ). En machos, 20 de 30 individuos (66.7%) también fueron significativamente atraídos por este estímulo ( $p < 0.05$ ). Este tratamiento fue el más atractivo de todos los evaluados en el estudio.

La comparación entre ambos tratamientos naturales revela que la señal química completa y dinámica (machos vivos) es considerablemente más efectiva para atraer a adultos de ambos sexos que el extracto volátil estático (VOC\_Mexp). Este hallazgo valida la capacidad de respuesta del sistema experimental y sugiere que los estímulos sintéticos probados no reproducen la complejidad o el balance adecuado de la señal química natural atractiva.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN

La comunicación química mediante semioquímicos representa una alternativa prometedora para el manejo específico y sostenible de plagas como *A. diaperinus* (Domínguez, 2012). El enfoque central de la presente investigación fue utilizar concentraciones de compuestos equivalentes a las emitidas naturalmente por un número reducido de individuos (1 y 10 EQ), un enfoque que difiere de estudios previos que a menudo emplean dosis muy superiores. Esta diferencia metodológica fundamental provee un contexto ecológico más realista y permite reevaluar la función conductual atribuida a estos compuestos.

Los resultados revelan que, a concentraciones ecológicamente relevantes (1 y 10 EQ), no generaron respuestas sobre individuos adultos de *A. diaperinus*. De hecho, compuestos como el R-(+)-limoneno, la 2-nonanona, el farneseno y el (-)-linalool mostraron respuestas de indiferencia o incluso repelencia, especialmente en hembras experimentadas. Esto indica que, si fueran liberados individualmente en concentraciones equivalentes a las de uno o diez adultos, no serían atractivos. La única excepción fue el ocimeno, que mostró una atracción débilmente

significativa, pero solo en machos experimentados. Contrario a lo reportado en estudios previos que han demostrado que algunos compuestos volátiles emitidos por *A. diaperinus* tienen efectos atractivos sobre adultos de la misma especie a altas concentraciones (Cossé & Zilkowski, 2015; Hassemer et al., 2016; Singh & Johnson, 2012). Este contraste subraya que la actividad biológica de un semioquímico es inseparable de su concentración ambiental, un principio respaldado por estudios en otros coleópteros donde un mismo compuesto puede atraer o repeler según la dosis (Kheloul et al., 2019).

El análisis de la posible sinergia entre estos compuestos, mostró que la mezcla sintética (Mix) de cuatro componentes tampoco resultó atractiva para machos ni hembras. Esto indica que, en las bajas concentraciones utilizadas, estos compuestos no actúan de manera sinérgica como una feromona de agregación efectiva. La diferencia con estudios como los de Hassemer et al., 2016, que reportaron atraktividad para una mezcla sintética, podría explicarse por dos factores clave. En primer lugar, nuestra mezcla carecía de componentes reportados como esenciales, como el (S)-linalool y el (R)-dauceno. En segundo lugar, y probablemente más determinante, la concentración total de la mezcla (10 EQ) podría estar por debajo del umbral mínimo necesario para desencadenar la respuesta de agregación. Investigaciones que utilizaron mezclas de cinco compuestos a concentraciones muy superiores, apoyan la idea de que se requiere una concentración por encima del umbral y una combinación completa para activar la función biológica sinérgica como las concentraciones usadas por Cossé & Zilkowski (2015) y Singh & Johnson (2012). Así, se infiere que para que una mezcla sintética actúe como feromona de agregación efectiva, no solo debe estar completa en su composición, sino también presentarse a una concentración que supere un umbral perceptual crítico.

Al analizar el efecto de la concentración se reveló que, para la mayoría de los compuestos, el incremento de 1 a 10 EQ no alteró la naturaleza cualitativa de la respuesta conductual (atractiva, débilmente atractiva o repelente). Un hallazgo particularmente ilustrativo fue el de la 2-nonanona en hembras, donde la repelencia, débilmente significativa a 1 EQ, se volvió significativa a 10 EQ, evidenciando una clara relación dosis-respuesta. Este patrón refuerza la noción de que, para algunos compuestos, aumentar la concentración no los convierte en atrayentes, sino que puede intensificar su efecto repelente, posiblemente como un mecanismo para evitar una agregación excesiva (Kheloul et al., 2019).

Un contraste clave se observa al comparar estos resultados con la respuesta hacia las señales químicas naturales. Mientras los estímulos sintéticos fallaron en atraer, los machos

vivos (Mexp) fueron altamente atractivos para ambos sexos. Este resultado, coherente con lo reportado por Calla Quispe (2022) y Hassemer et al. (2016), valida nuestra metodología. Más importante aún, subraya la complejidad superior de la señal natural completa, la cual probablemente incluye compuestos semivolátiles o de baja volatilidad que no son eficientemente capturados por los métodos de colección con filtros adsorbentes (utilizados para el tratamiento VOC\_Mexp). Estos compuestos "perdidos" podrían actuar como co-factores esenciales o sinergistas necesarios para la atracción (Calla-Quispe et al., 2023; Calla Quispe, 2022). Así la feromona de agregación funcional podría ser una señal química multimodal, cuya eficacia depende de un balance específico entre componentes volátiles y no volátiles presentado en concentraciones adecuadas.

Estos hallazgos muestran que la atractividad en *A. diaperinus* no es una propiedad intrínseca de compuestos aislados, sino el resultado de una señal compleja, presentada en una concentración umbral adecuada y percibida de manera diferencial por cada sexo. Para el desarrollo de herramientas de control basadas en semioquímicos, esto implica la necesidad de identificar la combinación química completa y sus proporciones óptimas, así como determinar las concentraciones de campo necesarias para superar el umbral de respuesta. Este camino, aunque más complejo, es fundamental para diseñar estrategias de monitoreo y control que sean a la vez efectivas y específicas para esta plaga avícola.

## CONCLUSIONES

1. Los compuestos químicos sintéticos reportados para *A. diaperinus* no mostraron un efecto atractivo cuando se evaluaron a concentraciones equivalentes a las producidas naturalmente por 1 a 10 individuos (1 y 10 EQ). Por el contrario, varios compuestos registraron provocaron respuestas de indiferencia o repelencia.
2. Se confirmaron diferencias sexuales significativas en la respuesta de *A. diaperinus*. Las hembras mostraron una repelencia significativa hacia el R-(+)-limoneno (1 EQ y 10 EQ) y la 2-nonanona (a 10 EQ). En contraste, los machos solo mostraron una tendencia débilmente significativa de atracción hacia el ocimeno.
3. La mezcla sintética (Mix) de cuatro componentes a 10 EQ no generó una respuesta atractiva significativa en ningún sexo, ni mostró un efecto sinérgico al ser comparada con sus compuestos químicos sintéticos evaluados de forma individual.
4. Se determinó que el incremento en la concentración (de 1 a 10 EQ) no alteró cualitativamente la naturaleza de la respuesta para la mayoría de los compuestos. La excepción fue la 2-nonanona, que en hembras pasó de una repelencia débilmente significativa a una repelencia significativa al aumentar la dosis.
5. Como hallazgo adicional, se confirmó que la señal química completa emitida por machos vivos resulta altamente atractiva para ambos sexos. Esto demuestra que el sistema experimental es funcional y sugiere que la señal atractiva natural involucre una complejidad química que no fue replicada por los compuestos sintéticos individuales ni por la mezcla evaluada.

## RECOMENDACIONES

1. Profundizar en el efecto de la concentración y composición de mezclas. Se recomienda realizar nuevos ensayos con un rango más amplio de concentraciones (por encima de 10 EQ) y probar diferentes combinaciones de compuestos, incluyendo aquellos reportados en la literatura, pero no evaluados en este estudio (como el (R)-(+)-dauceno).
2. Identificar los componentes atractivos de la señal natural. Complementar este estudio con un análisis químico detallado de los volátiles emitidos por machos vivos (Mexp) para identificar los componentes específicos responsables de la alta atracción observada, y comparar este perfil con la mezcla sintética utilizada.
3. Evaluar la mezcla completa reportada en la literatura. Probar una mezcla sintética que incluya todos los compuestos identificados previamente como feromona de agregación (incluyendo el (R)-(+)-dauceno y (S)-(+)-linalool), tanto en su conjunto como de manera individual, para determinar si la ausencia de alguno de ellos explica la falta de atractividad observada.
4. Investigar la influencia de factores ambientales. Diseñar experimentos que evalúen cómo variables como la temperatura, humedad, fotoperiodo y ruido modulan la respuesta olfativa de *A. diaperinus* hacia los compuestos semioquímicos, ya que estos factores podrían afectar su comportamiento en condiciones de granja o campo.
5. Integrar los hallazgos en estrategias de Manejo Integrado de Plagas (MIP). Desarrollar y validar estrategias de control basadas en semioquímicos, como sistemas que combinen atrayentes y repelentes identificados en este estudio, para su inclusión en programas de MIP contra *A. diaperinus*.

## REFERENCIAS

- Agabou, A., & Alloui, N. (2010). Importance of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) as a reservoir for pathogenic bacteria in algerian broiler houses. *Veterinary World*, 3(2), 71–73.
- Alborzi, A. R., & Rahbar, A. (2012). Introducing *Alphitobius diaperinus*, (Insecta: Tenebrionidae) as a new intermediate host of *Hadjelia truncata* (Nematoda). *Iranian Journal of Parasitology*, 7(2), 92–98.
- Axtell, R. C. (1994). *Biology and economic importance of the darkling beetle in poultry houses*. 8–16.
- Bartelt, R. J., Zilkowski, B. W., Cossé, A. A., Steelman, C. D., & Singh, N. (2009). Male-produced aggregation pheromone of the lesser mealworm beetle, *Alphitobius diaperinus*. *Journal of Chemical Ecology*, 35(4), 422–434. <https://doi.org/10.1007/s10886-009-9611-y>
- Beck, J. J., Torto, B., & Vannette, R. L. (2017). Eavesdropping on Plant-Insect-Microbe Chemical Communications in Agricultural Ecology: A Virtual Issue on Semiochemicals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(25), 5101–5103. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02741>
- Bergamin, P. (2018). *Determinação das doses letais e esterilizantes para as fases do ciclo de vida do Alphitobius diaperinus (Panzer, 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae)* [Tese de Doutorado, Universidades de São Paulo]. <https://repositorio.usp.br/item/002982832>
- Borrero Echeverry, F., Barreto Triana, N., Aragón Rodríguez, S. M., Rivera Trujillo, H. F., Oehlschlager, C., & Cotes Prado, A. M. (2018). *Las feromonas en el control de insectos*. [https://www.researchgate.net/publication/335635533\\_Pheromones\\_in\\_insect\\_control](https://www.researchgate.net/publication/335635533_Pheromones_in_insect_control)
- 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. (2018). Tools for detecting insect semiochemicals: a review. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 410(17), 4091–4108. <https://doi.org/10.1007/s00216-018-1118-3>
- Calla-Quispe, E., Irigoin, E., Mansurova, M., Martel, C., & Ibáñez, A. J. (2023). Lateralized Movements during the Mating Behavior, Which Are Associated with Sex and Sexual Experience, Increase the Mating Success in *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Insects*, 14(10). <https://doi.org/10.3390/insects14100806>

- Calla-quispe, E., Martel, C., & Ibáñez, A. J. (2022). Ecology and behavior chemical signals associated with gender and sexual experience affect mating and the attractiveness of the poultry pest, *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Economic Entomology*, 20(20), 1–8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/jee/toac101>
- Calla Quispe, E. L. M. (2022). *Diseño y desarrollo de biotrapas avanzadas para la desinfección de granjas avícolas afectadas por Alphitobius diaperinus (Coleoptera: Tenebrionidae)* [Tesis de Doctorado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/186953>
- Chernaki-Leffer, A. M., Sosa-Gómez, D. R., Almeida, L. M., & Lopes, I. de O. N. (2011). Susceptibility of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera, Tenebrionidae) to cypermethrin, dichlorvos and triflumuron in southern Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia*, 55(1), 125–128. <https://doi.org/10.1590/S0085-56262011000100020>
- Cossé, A. A., & Zilkowski, B. W. (2015). Behavioral responses of lesser mealworm beetles, *Alphitobius diaperinus*, (Coleoptera: Tenebrionidae) to pheromone components using a wind tunnel dual choice walking bioassay. *Journal of Insect Behavior*, 28(2), 202–210. <https://doi.org/10.1007/s10905-015-9493-5>
- Costa Vaz, J. (2018). *Uso da ecologia química para o controle do Alphitobius diaperinus na Avicultura* [Tese de Doutorado, Universidade Federal de Alagoas]. <https://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/riufal/3262>
- Despins, J. L., Turner, E. C., & Ruszler, P. L. (1987). Construction profiles of high rise caged layer houses in association with insulation damage caused by the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Panzer) in Virginia. *Poultry Science*, 66(2), 243–250. <https://doi.org/10.3382/ps.0660243>
- Domínguez, I. (2012). *Alphitobius diaperinus ¿Un problema bajo control o bajo los comederos? Últimos avances en su control.* *Selecciones Avícolas*, 23–27. <https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2012/5/6690-alphitobius-diaperinus-un-problema-bajo-control-o-bajo-los-comederos.pdf>
- Dunford, J. C., & Kaufman, P. E. (2006). Lesser mealworm, litter beetle, *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Insecta: Coleoptera: Tenebrionidae). *Entomology and Nematology Department, UF/IFAS Extension*, 1–11. <https://doi.org/10.32473/edis-in662-2006>

- Eguizabal Alegre, Y. F. (2017). *Eficiencia de un insecticida orgánico para el control del artrópodo *Alphitobius diaperinus* en una granja avícola del distrito de Huanchaco - Provincia de Trujillo La Libertad - 2016* [Tesis de Licenciatura, Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/2919>
- Esquivel, J. F., Crippen, T. L., & Ward, L. A. (2012). Improved visualization of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae)-Part I: Morphological features for sex determination of multiple stadia. *Psyche*, 2012, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2012/328478>
- Ezzat, S. M., Jeevanandam, J., Egbuna, C., Merghany, R. M., Akram, M., Daniyal, M., Nisar, J., & Sharif, A. (2020). Semiochemicals: A green approach to pest and disease control. In *Natural Remedies for Pest, Disease and Weed Control*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819304-4.00007-5>
- Francisco, O., & do Prado, A. P. (2001). Characterization of the larval stages of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) using head capsule width. *Revista Brasileira de de Biologia*, 61(1), 125–131. <https://doi.org/10.1590/s0034-71082001000100016>
- Hassemer, M. J. (2014). *Identificação de semioquímicos e percepção olfativa de *Alphitobius Diaperinus* Panzer (Coleoptera: Tenebrionidae) a voláteis de coespecíficos*. [Tese de Mestrado, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul]. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/152999>
- Hassemer, M. J., Borges, M., Withall, D. M., Pickett, J. A., Laumann, R. A., Birkett, M. A., & Blassioli-Moraes, M. C. (2019). Development of pull and push–pull systems for management of lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus*, in poultry houses using alarm and aggregation pheromones. *Pest Management Science*, 75(4), 1107–1114. <https://doi.org/10.1002/ps.5225>
- Hassemer, M. J., Sant’Ana, J., Borges, M., Withall, D., Pickett, J. A., De Oliveira, M. W. M., Laumann, R. A., Birkett, M. A., & Blassioli-Moraes, M. C. (2016). Revisiting the male-produced aggregation pheromone of the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera, Tenebrionidae): Identification of a six-component pheromone from a Brazilian population. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(36), 6809–6818. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b02235>

- Hassemer, M. J., Sant'Ana, J., De Oliveira, M. W. M., Borges, M., Laumann, R. A., Caumo, M., & Blassioli-Moraes, M. C. (2015). Chemical composition of *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) badominal glands and the influence of 1,4-Benzoquinones on its ebhavior. *Journal of Economic Entomology*, *108*(4), 2107–2116. <https://doi.org/10.1093/jee/tov147>
- Inventaire National Du Patrimoine Naturel. (n.d.). *Alphitobius diaperinus* (Panzer, 1797). [https://inpn.mnhn.fr/espece/cd\\_nom/244606/tab/taxo](https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/244606/tab/taxo)
- Japp, A. K., Bicho, C. de L., & Silva, A. V. F. da. (2010). Importância e medidas de controle para *Alphitobius diaperinus* em aviários. *Ciência Rural*, *40*(7), 1668–1673. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782010005000114>
- Kheloul, L., Kellouche, A., Bréard, D., Gay, M., Gadenne, C., & Anton, S. (2019). Trade-off between attraction to aggregation pheromones and repellent effects of spike lavender essential oil and its main constituent linalool in the flour beetle *Tribolium confusum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, *167*(9), 826–834. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/eea.12831>
- Leandro Luna, N. (2020). *Evaluación de la efectividad de la cipermetrina en mezcla con acidificantes y absorbentes de humedad en el control de Alphitobius diaperinus* [Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de Luján, Argentina]. <https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/1011>
- Lockey, K. H. (1979). Cuticular Hydrocarbons of Adult *Alphitophagus Bifasciatus* ( Say .) and *Alphitobius Diaperinus*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, *64*(I), 47–56. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0305-0491\(79\)90182-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0305-0491(79)90182-2)
- Rezende, S. R. F., Curvello, F. A., Fraga, M. E., Reis, R. C. S., Castilho, A. M. C., & Agostinho, T. S. P. (2009). Control of the *Alphitobius Diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) with entomopathogenic fungi. *Brazilian Journal of Poultry Science*, *11*(2), 121–127. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2009000200008>
- Roche, A. J., Cox, N. A., Richardson, L. J., Buhr, R. J., Cason, J. A., Fairchild, B. D., & Hinkle, N. C. (2009). Transmission of *Salmonella* to broilers by contaminated larval and adult lesser mealworms, *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Poultry Science*, *88*(1), 44–48. <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00235>

- Rumbos, C. I., Karapanagiotidis, I. T., Mente, E., & Athanassiou, C. G. (2018). The lesser mealworm *Alphitobius diaperinus*: a noxious pest or a promising nutrient source? *Reviews in Aquaculture*, *11*(4), 1418–1437. <https://doi.org/10.1111/raq.12300>
- Sammarco, B. C., Hinkle, N. C., & Crossley, M. S. (2023). Biology and Management of Lesser Mealworm *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) in Broiler Houses. *Journal of Integrated Pest Management*, *14*(1). <https://doi.org/10.1093/jipm/pmad003>
- Singh, N., & Johnson, D. T. (2012). Attractiveness of an aggregation pheromone lure and chicken droppings to adults and larvae of *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Economic Entomology*, *105*(6), 2196–2206. <https://doi.org/10.1603/EC11422>
- Souza, L. M., Silva, G. S., Belo, M. A. A., Soares, V. E., & Costa, A. J. (2009). Controle de *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) em instalações para frangos de corte. *Archives of Veterinary Science*, *14*(4), 214–220. <https://doi.org/10.5380/avs.v14i4.12282>
- Strother, K. O., & Steelman, C. D. (2001). Spatial analysis of *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) in broiler production facilities. *Environmental Entomology*, *30*(3), 556–561. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-30.3.556>
- Wolf, J., Potrich, M., Lozano, E. R., Gouvea, A., & Pegorini, C. S. (2015). Combined physical and chemical methods to control lesser mealworm beetles under laboratory conditions. *Poultry Science*, *94*, 1145–1149. <https://doi.org/10.3382/ps/pev093>



