



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

MAESTRIA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

**Respuesta de adultos de *Macrodactylus
mexicanus* (Coleoptera: Melolonthidae) a sustancias
químicas incluidas en microcápsulas: modelado y
bioensayos**

Tesis para obtener el grado de
Maestra en Ciencias Biológicas

Presenta:

Fernanda Salgado Farias

Director:

Angel Alonso Romero López



Diciembre 2022



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Asunto: Voto Aprobatorio

Comité Académico del Posgrado
PRESENTE

Por medio de la presente se hace constar que se revisó y aprobó la tesis titulada:

“Respuesta de adultos de *Macroductylus mexicanus* (Coleoptera: Melolonthidae) a sustancias químicas incluidas en microcápsulas: modelado y bioensayos”

Que presenta la estudiante **C. Fernanda Salgado Farias** con número de matrícula **220470531**, aspirante al grado de **Maestra en Ciencias Biológicas**, de la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento: **“Ecología y Aprovechamiento de Recursos Bióticos”**, notificamos que la tesis reúne los requisitos y se aprueba para su réplica oral en el examen de grado.

Por lo tanto, emitimos los **VOTOS APROBATORIOS** como miembros del **Comité de Jurado de Examen de Grado** como a continuación se indica:

Tutor Interno: M. en C. Ma. Concepción López Téllez

Tutor Externo: Dr. Apolonio Vargas Torres

Revisor Externo: Dr. Jesús Francisco López Olguín

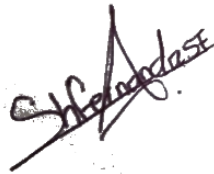


Agradecemos de antemano la atención que se sirva prestar a la presente.

H. Puebla de Z. a 28 de noviembre de 2022

Declaratoria de trabajo original

Quien suscribe, egresada de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), de la Facultad de Ciencias Biológicas y estudiante del programa de Maestría en Ciencias Biológicas, declara la responsabilidad del contenido de la presente tesis titulada **“Respuesta de adultos de *Macrodactylus mexicanus* (Coleoptera: Melolonthidae) a sustancias químicas incluidas en microcápsulas: modelado y bioensayos”**. Se trata de un trabajo original y no ha sido publicado con anterioridad, total o parcialmente por otros autores. Los resultados presentados en el documento no se han utilizado para realizar otro grado académico dentro o fuera del país.



Biol. Fernanda Salgado Farias

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca (772678) otorgada para realizar este trabajo.

A la Maestría en Ciencias Biológicas (BUAP) incluida en el PNPC (005671), por el acompañamiento a lo largo del trabajo de tesis.

A la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado (VIEP), por el apoyo brindado.

A mi director de tesis, Angel Alonso Romero López, por su paciencia y por brindarme las respuestas a mis preguntas e incluso darme más dudas que respuestas. Por estar para mí durante todos estos años.

A la M. en C. María Concepción López Téllez, por las sugerencias para el escrito de tesis. Por su apoyo y acompañamiento durante los estudios de maestría.

Al Dr. Apolonio Vargas Torres, por su colaboración en este trabajo y en la elaboración de biopolímeros.

Al Dr. Jesús Francisco López Olguín, por las correcciones y comentarios que ayudaron a enriquecer esta tesis.

A Carolina Contreras, qué fue el cerebro de los modelos de simulación y qué me ayudó a entender más sobre ellos. Gracias por brindarme más que tu tiempo.

A mis padres, Carlos y Gloria. Gracias por mantener en mí la chispa, el valor y el coraje para terminar cada uno de los procesos, las metas y proyectos.

A mis hermanos, July, Ale y Carlos, por enseñarme como ser una mejor persona y mostrarme el camino a seguir con su ejemplo y su esfuerzo. A Jime y Santi, por las preguntas y el gusto e interés que tienen a los “bichos” tanto o más del que yo les he mostrado.

A mis abuelitos, Gloria, Gabriel y Florita, por seguir siendo el principio y el fin de esta familia. Por ser la sabiduría en mi vida.

A Viri y Mile, por su amistad y su permanencia a lo largo del camino. A Lety, por estar conmigo todos los días en este proceso tan difícil, a pesar de estar físicamente a kilómetros de distancia. A Mauro, mi soporte en los días negros, por cuidarme, estar conmigo siempre y hacerme feliz con solo una sonrisa. Gracias por qué sin todos ustedes, no hubiera terminado este paso en mi vida.

A mis compañeros de laboratorio, Yamil y Zaira. Por sus sugerencias, ayuda y compañía en las salidas de campo y por su amistad.

A Paola y Sylvia de la UAEH, gracias por ayudarme en el proceso de la elaboración de los biopolímeros y por brindarme su compañía en mi estancia allá.

Gracias a Dios, porque aún sigue mostrándome que camino seguir.

ÍNDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. ANTECEDENTES	2
2.1. Semioquímicos, feromonas y atrayentes	3
2.2. Aleloquímicos y COVs	3
2.3. Principales interacciones en las que se involucran AS y COVs	4
2.4. Interacciones coleóptero Melolonthidae-coleóptero Melolonthidae	5
2.5. Interacciones coleóptero Melolonthidae-planta hospedera	6
2.6. Interacciones coleóptero <i>Macroductylus</i> -planta hospedera.....	6
2.7. Interacción <i>Macroductylus</i> – <i>Quercus grahamii</i>	7
2.8. Modelado basado en agentes de la interacción <i>M. mexicanus</i> - <i>Q. grahamii</i>	10
2.9. Dispositivos de atracción con AS y COVs para coleópteros Melolonthidae	12
2.10. Polímeros y su relación con compuestos bioactivos	13
2.11. Fuente vegetal de almidón para la elaboración de biopolímeros que contengan AS y COVs.....	15
2.12. Manejo y conservación con el uso de AS y COVs	16
3. JUSTIFICACIÓN	18
4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	19
5. HIPÓTESIS	19
6. OBJETIVOS.....	19
6.1. Objetivo general	19
6.2. Objetivos particulares	20
7. MATERIAL Y MÉTODOS.....	21
7.1. Modelos basados en agentes para el estudio de las interacciones <i>M. mexicanus</i> - <i>M. mexicanus</i> y <i>M. mexicanus</i> - <i>Q. grahamii</i>	21
7.2. Obtención de biopolímeros y estandarización de la técnica de microencapsulación de COVs.....	23
7.3. Bioensayos en laboratorio	24
7.4. Bioensayos en campo	25
7.5. Análisis de la percepción de adultos de <i>Macroductylus</i> en zonas de encino como parte de la propuesta de una estrategia de manejo de estos insectos.....	26
8. RESULTADOS.....	28
8.1.- Modelo basado en agentes de las interacciones <i>M. mexicanus</i> - <i>M. mexicanus</i> y <i>M. mexicanus</i> - <i>Q. grahamii</i>	28

8.2. Estandarización de biopolímeros	37
8.3. Bioensayos de laboratorio	38
8.4. Bioensayos en campo	42
8.5. Análisis de la percepción sobre la presencia de adultos de <i>Macroductylus</i> en zonas de encinos.....	44
9. DISCUSIÓN	48
9.1.- Modelos de las interacciones <i>M. mexicanus</i> - <i>M. mexicanus</i> y <i>M. mexicanus</i> -encino	48
9.3.- Bioensayos en laboratorio y campo.....	50
9.4. Análisis de la percepción sobre la presencia de adultos de <i>Macroductylus</i> en zonas de encinos.....	53
10. CONCLUSIONES.....	55
11. LITERATURA CITADA	56
12. ANEXO	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Hembra de <i>Macroductylus mexicanus</i> sobre una hoja de <i>Quercus grahamii</i>	8
Figura 2. Comportamiento precopulatorio de hembras de <i>Macroductylus mexicanus</i> en laboratorio; A) Llamado de hembras; se observan movimientos periódicos tanto del abdomen como de sus alas y élitros. B) Acercamiento, monta e intentos de cópula. C) Cópula (Tomado de Benítez-Herrera, 2014).....	9
Figura 3. Apariencia morfológica externa de un árbol y hojas de <i>Quercus grahamii</i> . (Tomada de www.asianfagaceae.com).....	10
Figura 4. Bioensayos de laboratorio. Se observa la distribución de cada uno de los tratamientos al momento de cada experimento.....	24
Figura 5. Bioensayos en laboratorio con la mezcla del compuesto pineno y ácido hexanoico. Se observa la distribución de los compuestos	25
Figura 6. Distribución de los dispositivos de liberación en los bioensayos en campo.....	26
Figura 7. Propuesta de etograma que incluye patrones del comportamiento precopulatorio y alimentario de hembras y machos de <i>M. mexicanus</i> en campo.....	32
Figura 8. Modelo 1.....	33
Figura 9. Representación en el modelo virtual de A) hembras desplazándose sobre los árboles de <i>Q. grahamii</i> y liberando los AS (cuadritos azules); B) Acercamiento por parte del macho; C) Interacción macho y hembra de <i>M. mexicanus</i>	34
Figura 10. Dispositivos de atracción.	35
Figura 11. Comparación del número de adultos de <i>Macroductylus mexicanus</i> en el transcurso de los días con y sin dispositivos escarabajo.....	35

Figura 12. Dispositivo de atracción biopolímero.....	36
Figura 13. Comparación del número de adultos de <i>Macroductylus mexicanus</i> en el transcurso de los días con treinta y cinco dispositivos escarabajo y con treinta y cinco dispositivos biopolímero.....	37
Figura 14. Porcentaje de respuestas de adultos de <i>Macroductylus mexicanus</i> a compuestos individuales, en laboratorio.....	39
Figura 15. Porcentaje de respuestas de adultos de <i>Macroductylus mexicanus</i> a mezclas de microcápsulas en laboratorio.....	41
Figura 16. Porcentaje de respuestas positivas de adultos de <i>Macroductylus mexicanus</i> hacia los volátiles liberados por los compuestos individuales incluidos en los dispositivos biopoliméricos.....	43
Figura 17. Red de la pregunta 1 “Mencione tres palabras al escuchar la palabra plaga”.	45
Figura 18. Red de la pregunta 2 “Mencione tres palabras al escuchar la palabra feromonas”	46
Figura 19. Red de la pregunta 3 “Mencione tres palabras que piensa al escuchar la palabra volátiles de plantas”	46
Figura 20. Red de la pregunta: “Mencione dos razones por las que cree que este insecto no es importante”	47

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Interacciones de especies de <i>Macroductylus</i> con sus plantas hospederas estudiadas a la fecha.....	7
Cuadro 2. Parámetros y agentes empleados para el diseño y construcción del Modelo 1.22	
Cuadro 3. Base de datos para preparar el modelo virtual de las interacciones <i>M. mexicanus</i> - <i>M. mexicanus</i> y <i>M. mexicanus</i> - <i>Q. grahamii</i>	30
Cuadro 4. Condiciones iniciales de los compuestos microencapsulados.....	38
Cuadro 5. Porcentaje de respuestas positivas de adultos de <i>Macroductylus mexicanus</i> a compuestos individuales y mezclas.....	40
Cuadro 6. Índices de información, para analizar la diversidad de palabras en la encuesta número 1	46

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó la respuesta de adultos de *Macroductylus mexicanus* Burmeister hacia atrayentes sexuales (AS) y compuestos orgánicos volátiles (COVs) de su planta hospedera *Quercus grahamii* (Benth.) a través de un modelo computacional como de ensayos en laboratorio y campo. En la simulación virtual, se elaboraron tres modelos basados en agentes. En el Modelo 1 se describió la secuencia general del comportamiento precopulatorio y su interacción con árboles de *Q. grahamii*, el cual coincide con lo mostrado en el etograma elaborado de manera simultánea y con lo que se observa en la naturaleza. En el caso del Modelo 2, se propuso un escenario en el que adultos de esta especie, en condiciones naturales, se desplazan hacia los “dispositivos de atracción escarabajo” (algodón y tela impregnados con los AS: ácido hexanoico y ácido oleico, propios de la especie); el número de machos disminuyó virtualmente a los 5 días, mientras que el de las hembras a los 30 días, lo cual es concordante con su comportamiento en esta etapa de su ciclo de vida. En el Modelo 3, se incluyeron los denominados “dispositivos biopoliméricos” (microcápsulas de almidón de arroz conteniendo los AS mencionados), que permitieron predecir la respuesta de adultos de esta especie en condiciones naturales; se observó que el número de machos disminuye con el uso de estos biopolímeros también a los 5 días, sin embargo, después de un tiempo, los machos decrecían más rápido. Destacando el aporte en términos metodológicos del tipo de microencapsulación de AS y COVs de plantas que se estableció para los bioensayos de laboratorio y campo, siendo el primer registro para coleópteros Melolonthidae. En laboratorio se empleó un olfatómetro de vidrio semicilíndrico de cuatro vías para probar las microcápsulas en diferentes tratamientos, observándose respuestas positivas significativas por parte de los adultos de *M. mexicanus*, principalmente de machos, hacia ácido hexanoico ($p < 0.05$) y alfa pineno ($p < 0.05$). En campo se probaron microcápsulas y tratamientos similares a los de laboratorio, en tres sitios diferentes, detectándose mayor número de respuestas positivas hacia alfa pineno principalmente de hembras ($p < 0.05$) y hacia ácido hexanoico de machos ($p < 0.05$). Con los dispositivos poliméricos que contenían la mezcla de ácido hexanoico + pineno se observó un efecto sinérgico, ya que provocaron una atracción similar de hembras y machos.

Palabras clave: Atrayentes sexuales, COVs, dispositivos de atracción

1. INTRODUCCIÓN

Los miembros de *Macrodactylus* (Coleoptera: Melolonthidae) tradicionalmente se han considerado plagas de diversos cultivos agrícolas en sus etapas larvarias y adultas (Arce-Pérez y Morón, 2000), aunque en fechas recientes se les atribuyen actividades benéficas como posibles polinizadores (Romero-López, 2016). Las interacciones ecológicas que establecen estos insectos en la naturaleza son estudiadas actualmente, tomando como base las sustancias químicas que se encuentran involucradas como el caso de feromonas sexuales y cebos alimentarios (Leal, 1998; Arredondo *et al.*, 1995), las cuales determinan la respuesta de estos insectos. La finalidad de utilizar dichas sustancias, así como los AS y los COVs provenientes de las plantas hospederas, es la de modificar el comportamiento de los coleópteros adultos para su captura en actividades de monitoreo de poblaciones (Romero-López, 2012). Otra herramienta empleada para este tipo de situaciones son los modelos basados en agentes, los cuales permiten efectuar pruebas sin necesidad de ir a campo, así como reducir costos de los instrumentos que se van a emplear y tiempo (Quezada y Canessa, 2010; Ruíz-Flores, 2020). En el caso de integrantes de especies de *Macrodactylus* distribuidas en México, se cuenta con propuestas para la captura específica de adultos con dispositivos de atracción (Martínez-Bonilla, 2019) o con “trampas pegajosas” (Nieves-Silva, 2019), aunque a la fecha no se ha logrado consolidar una estrategia que permita la captura de ambos sexos a partir de material biodegradable.

Con la información recabada tanto de los AS de *Macrodactylus mexicanus* Burmeister como de los COVs de la planta hospedera *Quercus grahamii* (Benth.), se propone evaluar la respuesta de estos insectos hacia AS y COVs incluidos en microcápsulas preparadas con material biodegradable (almidón de arroz), tanto en simulaciones virtuales como en ensayos de laboratorio y campo. Con esto y a través de actividades en donde se recopiló información, se plantea un esquema de manejo o conservación de esta especie, desde el uso de un modelo de simulación y de semioquímicos.

2. ANTECEDENTES

2.1. Semioquímicos, feromonas y atrayentes

Al hablar sobre ecología química se hace referencia al estudio de las “señales” o “mensajes” químicos que median las interacciones intra e interespecíficas que pueden observarse en la naturaleza (Ruther *et al.*, 2002; Leal, 2017). Entre estos estímulos, los semioquímicos destacan como señales que no son dirigidas con un propósito específico y se clasifican en aleloquímicos y feromonas (Nordlund y Lewis, 1976; Dicke y Sabelis, 1988; Ward *et al.*, 2002). A su vez, el término feromona sexual, se emplea cuando se han localizado los sitios de producción y recepción de la misma, además de que se cuenta con información sobre la estructura química de los componentes y la actividad biológica que ocasionan. En el contexto de los estudios en el que se reporta el uso de “atrayentes sexuales”, se refieren a estímulos químicos que provocan taxias positivas de los receptores, aunque no se sabe con certeza los sitios de producción-recepción, la identidad química de los componentes, ni la actividad biológica de cada uno de ellos (Romero-López *et al.*, 2005).

2.2. Aleloquímicos y COVs

Los aleloquímicos median interacciones entre individuos de diferentes especies y se dividen en alomonas (el receptor se beneficia), kairomonas (el emisor se favorece) y sinomonas (ambos interactuantes son beneficiados) (Nordlund y Lewis 1976, Dicke y Sabelis, 1988). Las plantas han desarrollado diversas estrategias de defensa, destacando la producción de sustancias (Van-Donk *et al.*, 2011; Farré-Armengol *et al.*, 2013) denominadas como “volátiles de plantas” o COVs; estos son emitidos en pequeñas cantidades a través de las hojas, frutos, flores e incluso las raíces, pero principalmente por la superficie y sitios de almacenamiento en las hojas (Bautista-Lozada *et al.*, 2012). Entre los COVs más importantes se encuentran los terpenos, hidrocarburos saturados e insaturados, bencenoides y fenil propanoides (Marin-Loaiza y Céspedes, 2007) y suelen ser exclusivos de la especie vegetal que los emite, provocando que la interacción con los insectos tienda a la especificidad (Xu y Turlings, 2018). Para tales propósitos, los insectos cuentan con la capacidad de detectar los

COVs de sus plantas hospederas por medio de quimiorreceptores situados en sus antenas y en partes bucales que desencadenan la respuesta fisiológica y comportamental (Wicher, 2015; Benjamin-Kaup, 2010; Conchou *et al.*, 2019).

2.3. Principales interacciones en las que se involucran AS y COVs

2.3.1. Insecto-insecto

Los AS se encuentran involucrados en interacciones entre individuos de la misma especie, pero de diferente sexo (Nordlund y Lewis 1976, Dicke y Sabelis, 1988). En algunas especies la liberación de los AS sucede aun estando en el suelo lo que lleva a concentraciones de machos en ciertos sitios, a la espera de la aparición de la hembra (Morón, 1986). El estudio de las interacciones insecto-insecto permite identificar el comportamiento precopulatorio y el “llamado sexual”, momento en el cual se detona la comunicación química intraespecífica con la liberación de las feromonas al medio externo generalmente por las hembras y que son captadas por los machos (Romero-López, 2016).

2.3.2. Planta-planta

Los COVs son mediadores de la interacción entre plantas y su entorno; estos brindan información sobre competencia o alguna amenaza antes de que ocurra y al mismo tiempo, pueden regular las respuestas de plantas “vecinas”. La eficacia de la comunicación química entre las plantas vecinas depende del contexto y está determinada por las plantas involucradas. La planta emisora desencadena la activación o supresión de diferentes defensas (Ninkovic *et al.*, 2021).

2.3.3. Planta-insecto

La interacción planta-insecto es un sistema sujeto a variaciones y cambios continuos. Para reducir el ataque de insectos, las plantas desarrollaron diferentes mecanismos de defensa que incluyen barreras físicas y químicas. De la misma manera, los insectos implementan estrategias para superar la defensa vegetal como es la desintoxicación y el secuestro (Mello y Silva-Filho, 2002). Se ha observado que las hojas con daño emiten

COVs que permiten la localización de hembras alimentándose a distancias largas, mientras que AS específicos emitidos por hembras pueden ayudar a machos a identificar la pareja adecuada, en periodos más cortos (Xu y Turlings, 2018). En la búsqueda de localización de pareja, los AS, atraen por sí solos a los insectos, en cambio, cuando los COVs son expuestos, los individuos se ven apenas atraídos. Si los AS son liberados en un contexto de volátiles de plantas, la atracción incrementa (efecto sinérgico), aunque para algunas especies los COVs por sí solos son atractivos (Xu y Turlings, 2018).

2.4. Interacciones coleóptero Melolonthidae-coleóptero Melolonthidae

De acuerdo con la clasificación propuesta por Cherman y Morón (2014), la familia Melolonthidae está conformada por seis subfamilias, las cuales son Melolonthinae, Dynastinae, Rutelinae, Hopliinae, Sericinae y Euchirinae. En esta familia se encuentran insectos que son denominados coloquialmente como “mayates” o “escarabajos de junio”. En su etapa adulta, se alimentan con hojas, flores, frutos, polen, néctar, corteza, detritus vegetal y rara vez depredan adultos, mientras que las larvas consumen raíces, humus o xilema (Morón *et al.*, 1997; Morón *et al.*, 2014).

En la interacción coleóptero Melolonthidae-coleóptero Melolonthidae, se ha identificado y descrito el esquema de comunicación química sexual, desde que aparece el elemento “emisor” (“llamado” por parte de la hembra) de la sustancia o “mensaje químico” (AS) y es localizado por el “receptor” (macho), hasta que se presenta la cópula (Romero-López, 2016). Tal es el caso de *Anomala inconstans* Burmeister, en donde las hembras muestran un comportamiento de llamado, en el que frotan sus patas posteriores contra su abdomen, y después de unos minutos los machos son capaces de localizarlas (Rodrigues *et al.*, 2019). En adultos de *Phyllophaga cuyabana* Moser, la elección de los sitios de apareamiento y oviposición también la efectúan las hembras antes de la cópula, levantando sus patas metatorácicas, exponiendo el segmento terminal del abdomen y permaneciendo inmóviles hasta que hacen contacto con el macho (Oliveira y García, 2003). En *Phyllophaga obsoleta* Blanchard el comportamiento se compone del llamado por parte de las hembras y acercamiento de los machos como resultado de los AS liberados en ese instante (Romero-López y Arzuffi, 2010).

2.5. Interacciones coleóptero Melolonthidae-planta hospedera

Para el estudio de las interacciones entre coleópteros Melolonthidae y sus plantas hospederas, se han enlistado las especies vegetales que fungen como alimento, refugio y sitios de oviposición de estos insectos (Morón *et al.*, 1997; Aragón *et al.*, 2010). Se ha registrado el comportamiento precopulatorio de cuatro especies de *Phyllophaga* en las hojas de árboles de *Quercus* sp. (Romero-López *et al.*, 2007) de igual manera, se han descrito patrones de comportamiento sobre árboles de encino, proponiendo que, en la interacción, los COVs de las hojas de la planta hospedera están involucrados (Moctezuma-Vega y Romero-López, 2020).

Se sabe que los machos de *Melolontha hippocastani* F. localizan hembras que permanecen alimentándose de sus plantas hospederas y se dirigen hacia el daño inducido por COVs. Así, los COVs emitidos por hojas dañadas podría indicar a un macho la presencia de hembras alimentándose (Ruther *et al.*, 2002); de manera similar, los adultos de *Melolontha melolonta* L. localizan las hembras a través de los volátiles de hojas verdes; los machos se ven atraídos hacia estos y los AS permiten la discriminación de daños inespecíficos en las hojas y los sitios de alimentación de las hembras (Reinecke *et al.*, 2002)

2.6. Interacciones coleóptero *Macrodactylus*-planta hospedera

Dentro de la subfamilia Melolonthinae se encuentra el género *Macrodactylus* Dejean (Morón *et al.*, 2014), conformado por individuos que en su etapa adulta son conocidos como “frailecillos”. Los miembros de este género se han descrito como insectos con efectos tanto benéficos como perjudiciales, los cuales se atribuyen a las interacciones que establecen con algunas de sus plantas hospederas. Sin embargo, de manera más frecuente estos individuos son conocidos porque dañan hojas, yemas, flores, frutos de una gran cantidad de especies cultivadas, consideradas plagas de diversos cultivos agrícolas en sus etapas larvianas y adultas (Arce-Pérez y Morón, 2000; Caselín-Castro *et al.*, 2003). Se sabe que hembras y machos de *Macrodactylus* responden a extractos de diferentes plantas hospederas, como las que se incluyen en el Cuadro 1; para destacar los movimientos mandibulares y el desplazamiento sobre hojas y flores.

Cuadro 1. Interacciones de especies de *Macroductylus* con sus plantas hospederas estudiadas a la fecha. Se describen los patrones de comportamiento presentados en condiciones como campo y laboratorio.

Especies	Condiciones	Patrones	Autores
<i>Macroductylus.nigripes-</i> <i>Baccharis salicifolia</i>	Laboratorio	A) Hembras emergen	Nieves-Silva y Romero-López (2016)
	Campo	B) Desplazamiento sobre hojas C) Movimiento mandibular D) LLamado sexual E) Cópula	
<i>Macroductylus mexicanus-</i> <i>Eysenhardtia polystachya</i>	Campo	A) Desplazamiento sobre flores B) Movimiento antenal	Morales-Blancas y Romero-López (2019,2020)
<i>Macroductylus</i> <i>mexicanus-Quercus</i> <i>grahamii</i>	Campo	A) Desplazamiento sobre hojas B) Desplazamiento sobre ramas C) Movimiento antenal D) Movimiento mandibular	Moctezuma-Vega y Romero-López (2020)

Las interacciones entre larvas o adultos de *Macroductylus* con partes aéreas o raíces de sus plantas hospederas, en este caso, con fines de alimentación, se fundamenta en la emisión de COVs (Romero-López, 2016). Se han descrito algunas interacciones de adultos de *Macroductylus subspinosus* F. con algunas plantas hospederas como el maíz, frijol, uva, caña de azúcar, manzanas, duraznos y ornamentales; se sabe que estos forman agregaciones en las flores y en las frutas de estas plantas mostrando comportamientos de apareamiento (Heath *et al.*, 2002). Del mismo modo, los adultos de esta especie responden positivamente a los ácidos hexanoico y valérico (Williams *et al.*, 2000; García-Canales y Romero-López, 2017).

2.7. Interacción *Macroductylus* – *Quercus grahamii*

2.7.1. *Macroductylus mexicanus*

Dentro de las principales características morfológicas de los adultos de esta especie, destaca la cabeza negra, cubierta de vestidura exceptuando la región occipital, tercio apical del clípeo, artejos antenales pardo-rojizos y piezas bucales negras; pueden diferenciarse machos y hembras por la forma del abdomen, siendo en hembras ancho,

convexo y voluminoso, mientras que en machos presentan un abdomen estrecho y cóncavo (Arce-Pérez y Morón 2000) (Figura 1).

A la fecha se han abordado algunos aspectos importantes sobre la comunicación química de esta especie:

- ✓ Posible sitio de producción de AS en hembras: epitelio glandular especializado en cámara genital y glándulas accesorias, siendo las productoras principales, ya que se ha observado que la hembra no expone su cámara genital (a diferencia de lo que sucede con las hembras de *Holotrichia* y *Phyllophaga*) (Benítez-Herrera *et al.*, 2015).
- ✓ Identificación del perfil químico de la feromona sexual a partir de extractos de la cámara genital y glándulas accesorias, encontrándose ácidos grasos, aldehídos, metil ésteres y ácidos carboxílicos, sobresaliendo el ácido hexanoico, ácido oleico y ácido octadecanoico (García-Canales y Romero-López, 2017).
- ✓ Los AS de *M. mexicanus* y los COVs de sus plantas hospederas son captadas por quimiorreceptores ubicados en las lamelas de hembras y machos (Romero-López *et al.*, 2017).

En cuestiones de comportamiento precopulatorio, se cuenta con información de los patrones relacionados con este evento en observaciones de laboratorio (Benítez-Herrera, 2014). Entre los principales patrones destaca el llamado (A), acercamiento de los machos, monta, intentos de cópula (B) y cópula (C) (Figura 2).



Figura 1. Hembra de *Macroductylus mexicanus* sobre una hoja de *Quercus grahamii*, mostrando las antenas lameladas pardo-rojizas, élitros no uniformemente coloreados y con seis estrías, además de meso y metatibias rojizas.

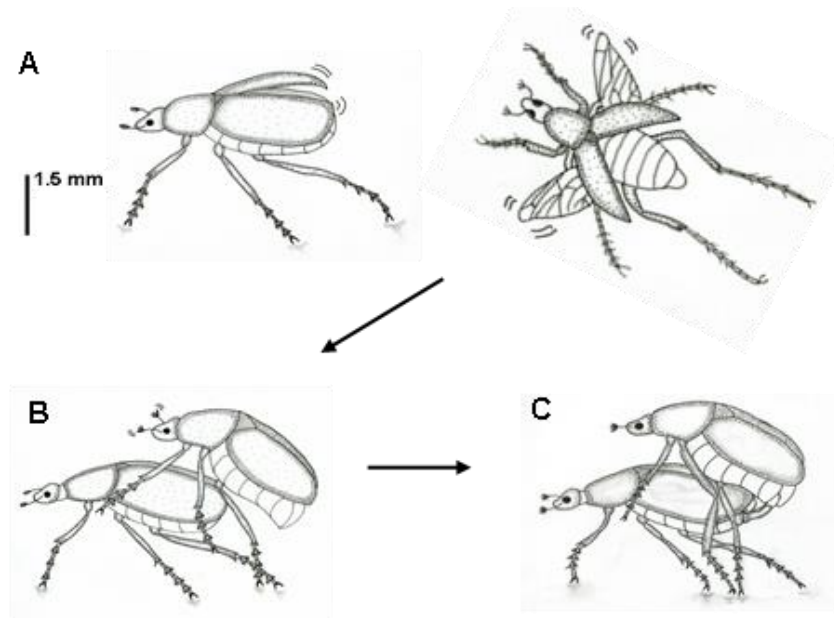


Figura 2. Comportamiento precopulatorio de hembras de *Macrodactylus mexicanus* en laboratorio; **A)** Llamado de hembras; se observan movimientos periódicos tanto del abdomen como de sus alas y élitros. **B)** Acercamiento, monta e intentos de cópula. **C)** Cópula (Tomado de Benítez-Herrera, 2014).

2.7.2. *Quercus grahamii*

Dentro de la familia Fagaceae, el género *Quercus* es el que presenta mayor distribución en todo el mundo. Se encuentra en casi todos los bosques templados del hemisferio norte, así como en algunas regiones tropicales y subtropicales del mismo (Valencia, 2004). El tamaño y forma de las hojas varía desde grandes, delgadas y suaves hasta pequeñas, gruesas y tiesas (esclerófilas), dependiendo de la zona de residencia y de muestreo de los árboles. Al respecto, se conoce que las hojas esclerófilas se presentan en lugares donde hay bajos niveles de nutrientes y por lo tanto, repercute en la longevidad foliar (Zavala-Chávez, 1999). Esta especie vegetal es conocida comúnmente como “encino chilillo” (Nixon, 1993), caracterizándose por árboles con hojas subcoriáceas, oblongas con base oblicua y margen aristado; se les encuentra principalmente en regiones templadas (Romero-Rangel, 2006). En México, se han descrito 161 especies, siendo un recurso natural renovable que sirve de alimento, de madera y carbón (Valencia, 2004).



Figura 3. Apariencia morfológica externa de un árbol y hojas de *Quercus grahamii*. (Tomada de www.asianfagaceae.com).

Se ha descrito que los insectos detectan los COVs de los encinos y con estos se guían para localizar a su hospedero. En los adultos de *M. mexicanus*, se registran patrones entre los que destacan los movimientos antenales, los cuales sirven para la recepción de la información química (Moctezuma-Vega y Romero-López, 2020). Una vez localizada la planta hospedera, estos insectos se posan sobre sus hojas las cuales se observan delgadas y nuevas, con una textura blanda y no rugosa (Moctezuma-Vega, 2019)

Finalmente, se ha descrito el tipo de semioquímicos que contienen las hojas de esta especie, destacando la presencia de terpenos, de la clasificación de monoterpenos y sesquiterpenos; se sugiere que estos COVs detonan la atracción de los adultos de *M. mexicanus* con fines de agregación y para localizar pareja (Moctezuma-Vega, 2022; Moctezuma-Vega y Romero-López, 2020)

2.8. Modelado basado en agentes de la interacción *M. mexicanus* - *Q. grahamii*

Los simuladores biológicos son herramientas que, mediante la configuración de software y hardware, permiten el estudio de procesos o sistemas físicos mediante algoritmos de cálculo (Fuchs *et al.*, 2010). En particular, la simulación de un modelo computacional

consiste en construir un programa informático que represente un sistema para luego experimentar con él y caracterizar así su comportamiento (Quezada y Canessa, 2010). Existen programas basados en lenguajes de modelización que han sido desarrollados para facilitar el uso de modelos basados en agentes (Ontiveros y Calvo, 2017), destacando como un nuevo enfoque para el análisis de los interactuantes (Macal y North, 2009) y empleándolo, se puede llegar de manera expedita a definir variables que expliquen el comportamiento del sistema (Ontiveros y Calvo, 2017).

Este tipo de herramientas permiten efectuar pruebas sin necesidad de ir a campo, reducir los costos de los instrumentos que se van a emplear y economizar tiempo, brindando la opción para analizar muchas variables de manera simultánea y así, posteriormente, seleccionar las más significativas y proseguir con la investigación (Quezada y Canessa, 2010; Ruíz-Flores, 2020). Los modelos basados en agentes se han empleado en trabajos como el de Leitch *et al.* (2021), en donde se simuló el comportamiento de adultos de *Drosophila melanogaster* L. en trayectos diferentes en campo, moviéndose de manera independiente y autónoma para probar diferentes condiciones y ver cómo detectan las “plumas de olor”. También funcionan para explorar los efectos de cantidades diferentes de trampas y la densidad de población de insectos en las capturas, estimando la cantidad de trampas necesarias para detectar plagas invasoras (Gries *et al.*, 1989). Se espera que los resultados que se obtengan con este tipo de simulaciones sean semejantes a lo que se observa en la naturaleza (Ruiz-Flores, 2020), aunque no se pretende que reemplacen a la experimentación en el sistema real, sino que la asista y complemente (Quezada y Canessa, 2010).

Los modelos computacionales también se han ocupado en Coleoptera y Lepidoptera, recreando virtualmente el comportamiento, las combinaciones de dispositivos de atracción o de trampas, el número de individuos, así como el monitoreo de una población en áreas específicas (McClendon *et al.*, 1976, Gries *et al.*, 1989, Byers *et al.*, 2014). Por ejemplo, Gries *et al.* (1989) simularon el comportamiento de la búsqueda de plantas hospederas, la búsqueda de alimento y el éxito de reproducción de adultos de *Ips typographus* L. utilizando distintos parámetros como número de árboles, tamaño de población y capacidad de vuelo; la simulación se llevó a cabo en

una computadora central IBM 3090 con el software SPSSPC a partir de funciones exponenciales y regresiones lineales. En otro estudio se efectuaron pruebas en campo al mismo tiempo que utilizaba un modelo espacial para simular la captura de polillas macho de *Pectinophora gossypiella* Saunders atraídas por trampas cebadas con feromonas, informando sobre la densidad de las trampas necesarias para monitorear de manera más efectiva las poblaciones de esta especie o calcular la probabilidad de captura (Byers *et al.*, 2014; Manoukis y Hill, 2021).

2.9. Dispositivos de atracción con AS y COVs para coleópteros Melolonthidae

La identificación y posterior síntesis de los AS han permitido el diseño de trampas para la detección y monitoreo de poblaciones de insectos, así como para la alteración de su apareamiento (Romero-López, 2012). A partir de ello, es posible aprovechar los atrayentes químicos involucrados en las interacciones ecológicas para el monitoreo, manejo y control de plagas (Leal, 1998; Romero-López, 2016). A la fecha, la mayoría de los dispositivos empleados contienen AS o COVs de sus plantas hospederas por separado. Arakaki *et al.* (2003) utilizaron dispositivos de atracción para evaluar las respuestas de adultos de *Holotrichia loochooana loochooana* Sawada, especie relacionada filogenéticamente con *Macrodactylus*, los cuales consistían en un alambre con material absorbente impregnado de su feromona sexual identificada como ácido antranílico (ácido 2-aminobenzenoico), envuelto en una tela de forma y tamaño de las hembras de esta especie. En estas pruebas los machos se acercaban a los dispositivos en búsqueda de las hembras y después de un tiempo se alejaban del material absorbente y se iban hacia hojas para alimentarse de ellas.

Por su parte, Romero-López y Arzuffi (2010) emplearon dispositivos similares para probar el efecto de AS de *P. obsoleta*, en particular el butilhidroxianisol o 1,1-dimetil etil-4-metoxi fenol; estos autores tomaron como “respuesta positiva” el momento en que los adultos se posaban o se acercaban a los algodones. Adicionalmente, Martínez-Bonilla (2019) evaluó las respuestas por parte de adultos de *M. mexicanus* y *Macrodactylus nigripes* Bates con dispositivos de atracción parecidos, aunque modificados al tamaño de las hembras y a los compuestos reportados como parte del

perfil químico de los AS de cada una de estas especies. Los machos respondieron positivamente hacia el ácido hexanoico y el ácido oleico con respecto al control (hexano), lo que permitió sugerir que en las condiciones en las que se efectuaron los bioensayos, la búsqueda de la pareja sexual como la del alimento es igual de prioritaria.

Los COVs de una planta hospedera, al mezclarse simultáneamente con los AS, provocan un efecto sinérgico en los insectos, los cuales muestran un mayor número de respuestas positivas (Reddy y Guerrero, 2004). De los escasos estudios para miembros de Melolonthidae en los cuales se incluyeron ambos tipos de semioquímicos, se registra el de *M. melolonta*. En este caso, se probaron mezclas de extractos de la feromona sexual (toluquinona) y COVs (en particular de (Z)-3-hexen-1-ol (Z-3-ol)), denotando que los machos eran atraídos principalmente por la mezcla con un efecto positivo y sinérgico, en contraste con el control y los semioquímicos utilizados por separado (Reinecke *et al.*, 2002). Asimismo, Nieves-Silva (2019) empleó trampas pegajosas con (Z)-3-hexenil acetato, bioactivo de los COVs identificado de hojas y frutos de durazno *Prunus persica* (L.), registrándose un mayor número de capturas de *M. nigripes* con el compuesto referido con respecto al control.

2.10. Polímeros y su relación con compuestos bioactivos

Un polímero es una molécula constituida por la repetición de una unidad más simple: los monómeros, los cuales son pequeñas moléculas (Ravve, 2013). Este término incluye a los polímeros naturales y sintéticos. Los polímeros naturales son aquellos que provienen directamente de vegetales o animales, como la celulosa, almidón o el caucho natural y son comúnmente llamados biopolímeros (Carraher, 2013). Con base en sus características, se ha buscado elaborar un polímero biodegradable, proceso a través del cual se obtiene la desintegración del polímero en pequeños fragmentos debido a la ruptura de enlaces en su cadena principal (Meneses, 2007; Valero-Valdivieso, 2013).

Un gran número de polímeros biodegradables (celulosa, quitina, almidón, colágeno, etc.) se forman en el ambiente natural durante los ciclos de crecimiento de los organismos. A partir de esto, se han identificado algunos microorganismos y enzimas capaces de degradar tales compuestos (García-Hernández, 2016; Valdero-Valdivieso,

2013). Las propiedades y las características de los polímeros varían dependiendo de la composición de dicho polímero y del método de preparación (Agudelo-Aguirre, 2011), presentándose diferentes propiedades como estabilidad térmica, propiedades mecánicas y resistencia a la acción química, entre otras (García-Hernández, 2016).

Normalmente en dispositivos para AS o COVs, las tasas de liberación no pueden ser realmente controladas y la cinética de los mismos, se modifica con el tiempo y con las temperaturas de exposición. En un intento de mejorar la liberación de este tipo de formulados, comenzaron a usarse las múltiples posibilidades que otorgan los polímeros para el diseño de dispositivos más eficientes (Valladares, 2014). Debido a esto, en años recientes se ha manifestado un interés en el desarrollo de materiales que se encuentren relacionados con procesos en los que se aprovecha y regula la permeabilidad de líquidos, gases y vapores a través de polímeros (García-Hernández, 2016). Al haber moléculas de un líquido que permea a través de un polímero, se cuenta por un lado con la solubilidad del fluido en la cara expuesta por el polímero y, por otro lado, la difusión de COVs. A esto se le conoce como permeabilidad.

Para poder introducir algún compuesto químico es necesario recurrir a la técnica de microencapsulación, la cual consiste en el recubrimiento de pequeñas cantidades de un determinado compuesto mediante un material protector que es generalmente de naturaleza polimérica. La selección del método de encapsulación estará en función del tamaño medio de la partícula requerida, de las propiedades físicas del agente encapsulante, de la sustancia a encapsular, de las aplicaciones del material encapsulado y del mecanismo de liberación deseado. La microencapsulación protege a los materiales encapsulados de factores como el calor y la humedad, permitiendo mantener su estabilidad y viabilidad (Martín-Villena *et al.*, 2009).

Existen diversos métodos para la producción de microcápsulas, como el secado por aspersión, extrusión, recubrimiento por aspersión, polimerización interfacial, inclusión molecular y coacervación (Alfaro-Galarza, 2019; Villena *et al.*, 2009; Nava-Reyna *et al.*, 2015). García-Hernández (2016) sintetizó un polímero a partir de ácido cítrico y glicerol, generando agua como único subproducto. Los compuestos que probaron fueron nonanal, terpinoleno y 4-metil-5-nonan-1-ol, con una difusión adecuada

de la sustancia proveniente del biopolímero. En campo, dicho autor empleó el polímero sintetizado con los AS de *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier conocido como “picudo rojo” (coleópteros considerados con importancia agrícola). Aún con menos cantidad de feromona se atraían los insectos con una difusión de hasta dos meses, lo que implicaba un menor costo al colocarse menor cantidad de compuesto.

Por su parte, Valladares *et al.* (2016) elaboró un polímero a partir de quitosano y alginato; este diseño se enfocó en la liberación de compuestos que forman parte de la feromona de *Megaplatypus mutatus* Chapuis, especie de coleópteros con importancia forestal, para evaluar sus respuestas positivas en pruebas con olfatómetro. Se encontró que dos de los componentes feromonales liberados por las “esferas” (dispositivos poliméricos) provocaron respuestas positivas en las hembras de esta especie. La novedad del estudio radica en que las esferas permitieron la liberación de los compuestos químicos en la cantidad adecuada para observar los efectos esperados. Dhivya *et al.* (2014), utilizaron como polímero natural el quitosano para encapsular la feromona de *Rhipicephalus sanguineus* L. y junto con un acaricida, se efectuaron ensayos en laboratorio y en campo para atraer y matar las etapas larvales parasitarias. Los individuos se agrupaban en el sitio donde estaban colocados los dispositivos.

Para especies de la familia Melolonthidae no se han empleado biopolímeros como dispositivos liberadores ya sea de AS o de COVs. Las pruebas efectuadas a la fecha para la atracción de individuos solo se basan en dispositivos como los descritos anteriormente.

2.11. Fuente vegetal de almidón para la elaboración de biopolímeros que contengan AS y COVs

Estructuralmente, el almidón es una molécula que consiste en dos polisacáridos que son la amilosa y la amilopectina, lo cual lo convierte en un carbohidrato complejo, subdividido en largas cadenas de moléculas de glucosa. La amilosa que es un polímero lineal constituye principalmente entre el 15% al 20% del almidón y la amilopectina es una molécula ramificada, siendo esta el componente principal del almidón (Villarreal *et al.*, 2018; Hernández-Medina *et al.*, 2008). El almidón es un polímero natural cuyos gránulos consisten en estructuras macromoleculares ordenadas en capas y cuyas características

en cuanto a composición, cantidad y forma varían de acuerdo con el tipo de fuente de la que provenga; puede encontrarse en raíces, frutos, semillas, tubérculos e incluso en bacterias que lo generan como mecanismo de defensa ante situaciones de estrés presentes en su medio (Meneses, 2007).

Se han elaborado polímeros biodegradables a partir de diferentes fuentes vegetales, como son almidón de yuca, de trigo, arroz, malanga y papa (Meneses, 2007; Ruiz-Avilés, 2005; Alfaro-Galarza, 2020). En el caso particular del arroz (*Oryza sativa* (L.)), es fuente vegetal fundamental para el desarrollo de polímeros biodegradables, ya sea a partir del almidón o de la harina (Días *et al.*, 2010). El almidón de arroz muestra un aumento en la permeabilidad y solubilidad mayores con respecto a otras fuentes vegetales utilizadas (Bourtoom y Chinnan, 2008).

Son escasos los estudios en los cuales se han incorporado COVs a los biopolímeros, destacando el de Rubiano-Charry (2015) en que se hace referencia al uso de agentes tensoactivos (Tween 20, Tween 60, caseinato de sodio y pectina de bajo metoxilo) para la encapsulación de emulsiones de D-limoneno a través de secado por aspersión; se describieron las temperaturas adecuadas y se concluyó que la utilización de estos agentes provocan efectos positivos ya que mantiene estable el compuesto para su almacenamiento, encontrando las condiciones óptimas del proceso de secado por aspersión puesto y una eficiencia de encapsulación del 98%. Asimismo, Niebla-Bárceñas (2009) cita el encapsulado de tres compuestos aromáticos (hexanal, hexanoato de etilo y ácido hexanoico) por el método de secado por aspersión, utilizando la cebada forrajera (*Hordeum vulgare* (L.)) como material pared (almidón), evaluando el material encapsulado a través de microextracción en fase sólida.

2.12. Manejo y conservación con el uso de AS y COVs

Una actividad de manejo, en el contexto de los recursos naturales, contempla la toma de decisiones y aplicación de estrategias, así como los métodos y técnicas para regular, administrar y dirigir hacia un objetivo determinado (López-Jiménez y Chan-Quijano, 2016). En este sentido, los AS se han contemplado para su empleo en programas de manejo de plagas y ha permitido abordar las problemáticas agrícolas desde un enfoque multidimensional e integral (Enkerlin *et al.*, 1997). La utilidad principal de estas

sustancias se refleja en actividades de monitoreo, las cuales proporcionan información sobre la presencia y abundancia de adultos de la especie de interés, conocimiento fundamental para la planeación de estrategias de manejo (Enkerlin *et al.*, 1997; Robbins *et al.*, 2006).

La sensibilidad de la detección y la selectividad de especies de las trampas cebadas con atrayentes las convierten en herramientas ideales para detectar la presencia de insectos y controlar la fenología de su periodo de vuelo. Los “señuelos” con AS también se pueden utilizar para el control de la población, en combinación con trampas de gran capacidad o un insecticida de contacto (Witzgall *et al.*, 2008). En el caso de los COVs, han sido empleados para combatir fitófagos plaga de manera más amigable para el ambiente, protegen contra patógenos, estrés ambiental, antimicrobianos o algún individuo que cause daño a la planta, así como, regular el crecimiento y propiciar el desarrollo de plantas (Brilli *et al.*, 2019).

La conservación, por otro lado, se enfoca en atenuar o restaurar hábitats y comunidades biológicas, así como prevenir la extinción de especies y la pérdida de la variación genética (Primack y Massardo, 2001). Los estudios sobre la comunicación química de los seres vivos ya se consideran para incidir en la toma de decisiones relacionadas con este enfoque. Los semioquímicos podrían emplearse en distintas situaciones para especies vulnerables o en peligro de extinción; por ejemplo, en especies en las que su alimentación se basa en animales o plantas específicas, estas sustancias podrían hacer que se alimentaran de elementos “suplementarios”. Asimismo, el monitoreo basado en AS ya se utiliza para evaluar el estado de conservación de muchas especies (Leal, 2017).

Las encuestas son una técnica que utiliza un conjunto de procedimientos estandarizados de investigación mediante los cuales se recoge y analiza una serie de datos de una muestra de casos representativa de una población, del que se pretende explorar, describir, predecir y/o explicar una serie de características (Anguita, 2003). Parte fundamental de actividades de manejo o de conservación son las técnicas de recopilación de información, en donde destacan las entrevistas y las diferentes modalidades de encuestas (Young *et al.*, 2018).

3. JUSTIFICACIÓN

Los miembros del género *Macrodactylus* establecen interacciones estrechas con sus plantas hospederas, principalmente para actividades de cópula y alimentación, lo cual puede repercutir positivamente en el crecimiento de algunas de sus partes aéreas y en sentar las bases para la polinización (Romero-López, 2016; Morales-Blancas y Romero-López, 2019, 2020) o de forma negativa en aquellas situaciones que se les considera como “insectos plaga” (Arce-Pérez y Morón, 2000; Caselín-Castro *et al.*, 2003). La mayor parte de las investigaciones se enfocan en esta última faceta, empleando insecticidas sintéticos para el control principalmente de larvas, con resultados contraproducentes como la resistencia por parte de los insectos, alza en el costo de producción agropecuaria, contaminación ambiental y, sobre todo, pérdida de biodiversidad (Gliessman, 2002).

Una herramienta que podría beneficiar este tipo de situaciones son los modelos de simulación computacional que permiten estudiar el comportamiento de procesos o de sistemas físicos, así como evaluar los efectos de diferentes situaciones, la probabilidad de que un insecto sea capturado o el dispositivo de atracción más eficaz y así de esta manera obtener información sobre las opciones sustentables de manejo (Fuchs *et al.*, 2010; Manoukis *et al.*, 2014; Fenoglio *et al.*, 2017). Del mismo modo en un contexto de conservación, se han utilizado modelos basados en agentes para modelar las condiciones de las plantas hospederas de insectos en peligro de extinción y estimaciones de abundancias de poblaciones en amenaza por pérdida de hábitat (Griebeler y Seitz, 2002; Wang *et al.*, 2021).

Para evaluar la respuesta de coleópteros adultos de Melolonthidae, se ha optado por emplear estudios de comunicación química, incorporando dispositivos diseñados principalmente para el monitoreo de poblaciones (Romero-López, 2012) a partir de la liberación de AS ya sea para atraer a uno o a ambos sexos (Leal 1998; Robbins *et al.*, 2006). Del mismo modo, algunos estudios fundamentados en la liberación de COVs de plantas hospederas de estos insectos, se han visualizado, observando que atraen de igual manera tanto machos como hembras (Xu y Turlings, 2018). Los trabajos de Martínez-Bonilla (2019) y de Nieves-Silva (2019) evidencian este escenario alentador

para el estudio de este grupo de insectos. El siguiente paso es el establecimiento de un sistema de trapeo que permita optimizar la captura de adultos de ambos sexos, además de dosificar la liberación de atrayentes y COVs con base en material polimérico biodegradable.

En el presente proyecto se pretende atender este aspecto a través de simulación biológica y del uso de biopolímeros basados en material vegetal como dispositivos de liberación de AS de *M. mexicanus* y COVs de *Q. grahamii*. Con ambos elementos se plantea consolidar a mediano plazo una estrategia sustentable de manejo o conservación para esta especie y otras que forman parte de Melolonthidae.

4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo es la respuesta de hembras y machos de *M. mexicanus* hacia AS y COVs provenientes de *Q. grahamii* incluidos en microcápsulas elaboradas con polímeros derivados de almidón de arroz en simulaciones virtuales y en ensayos de laboratorio y campo?

5. HIPÓTESIS

Los dispositivos de liberación de AS y COVs de *Q. grahamii*, basados en microcápsulas de almidón de arroz favorecen la atracción de hembras y machos de *M. mexicanus*, tanto en modelos virtuales como en los ensayos de laboratorio y campo.

6. OBJETIVOS

6.1. Objetivo general

Evaluar la respuesta de coleópteros adultos de *M. mexicanus* hacia AS y COVs de *Q. grahamii* incluidos en microcápsulas de almidón de arroz, en modelos virtuales y ensayos de laboratorio y campo.

6.2. Objetivos particulares

- Establecer un modelo basado en agentes que represente las interacciones *M. mexicanus*-*M. mexicanus* y *M. mexicanus*-*Q. grahamii* mediadas por AS y COVs, respectivamente.
- Estandarizar la técnica de microencapsulación a partir de almidón de arroz para que incluyan AS de *M. mexicanus* y COVs de hojas de *Q. grahamii*.
- Comparar el efecto de los AS y COVs contenidos en las microcápsulas entre hembras y machos de *M. mexicanus* en laboratorio y campo.

7. MATERIAL Y MÉTODOS










7.1. Modelos basados en agentes para el estudio de las interacciones *M. mexicanus*-*M. mexicanus* y *M. mexicanus*- *Q. grahamii*

Con base en el programa NetLogo (Wilensky, 1999) y una búsqueda bibliográfica minuciosa, se creó una base de datos con información sobre ecología química, comportamiento y morfología de especies de Melolonthidae, en particular de *Macrodactylus*.

7.1.1. MODELO 1

Se emplearon datos recopilados en el 2018 como parte de la descripción del comportamiento precopulatorio de *M. mexicanus*, en áreas verdes del Jardín Botánico Universitario (JBU) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) (Romero-López, datos no publicados). De igual forma, se agregó información recopilada de encinos de este mismo lugar, considerados como plantas hospederas de esta especie. Con todo esto se elaboraron los deslizadores que contendrían los valores máximos y mínimos, así como todas las especies que se muestran en el modelo (Cuadro 2). El ciclo de vida y las desviaciones estándar de sus tamaños fueron con base en Serapio *et al.* (2014) y Arce-Pérez y Morón (2012). Las características generales, tamaño y coloración, con base en Arce-Pérez y Morón (2000). La proporción de sexos fue de 60 machos y 120 hembras, en la literatura se describía el doble de hembras que de machos en el género *Macrodactylus* (Eberhard, 1993).

Cuadro 2. Parámetros y agentes empleados para el diseño y construcción del Modelo 1.

Parámetros	Agentes
▪ Número de árboles por especie	 <i>Quercus grahamii</i> n= 6
▪ Número de individuos por árbol	 <i>Quercus laeta</i> n= 2
▪ Número de hembras y machos de <i>M. mexicanus</i>	 <i>Quercus greggi</i> n= 2  <i>Quercus liebmanii</i> n= 2
▪ Tamaño de hembras y machos de <i>M. mexicanus</i>	 <i>Quercus germana</i> n= 2  <i>Quercus crassipes</i> n= 3
▪ Desviación estándar del tamaño de adultos de <i>M. mexicanus</i>	 <i>Quercus sartori</i> n= 5  Hembra de <i>M. mexicanus</i> n= 120
▪ Vida media de adultos de <i>M. mexicanus</i>	 Macho de <i>M. mexicanus</i> n= 60

7.1.2. MODELO 2

Se diseñaron dispositivos de atracción que contenían AS de esta especie de acuerdo con lo establecido por Arakaki *et al.* (2003), Romero-López y Arzuffi (2010) y Martínez Bonilla (2019) y ya descrito en el apartado 2.9. Se consideraron los siguientes parámetros:

- Número de dispositivos de atracción (“dispositivos escarabajo”)
- Concentración de AS (entre 1 y 100 mg/ml)

Los dispositivos se colocaron de manera aleatoria junto a las plantas hospederas, representándose treinta y cinco corridas del comportamiento de los adultos de *M. mexicanus*. Se consideraron ciento ochenta adultos para las corridas (n= 120 hembras y n= 60 machos) y cinco dispositivos escarabajo, analizándose los datos en el programa Rstudio Team (2021).

7.1.3. MODELO 3

Además de emplear el dispositivo anteriormente descrito, se consideró un dispositivo de atracción que de igual manera contenía AS de esta especie, aunque en este caso la forma, estructura y características eran diferentes, un dispositivo de atracción denominado “biopolímero” con base en los trabajos de Valladares *et al.* (2016) y García-Hernández (2016). Se llevaron a cabo treinta y cinco repeticiones para cada corrida: 1)

sin dispositivos de atracción, 2) treinta y cinco dispositivos de atracción escarabajo y 3) treinta y cinco dispositivos de atracción biopolímero. Se agregaron los siguientes parámetros.

- Número de dispositivos de atracción (biopolímero)
- Concentración de AS

Los dispositivos se colocaron de manera aleatoria. Se empleo un total de ciento ochenta adultos para las corridas (n=120 hembras y n=60 machos). El análisis de los datos y las gráficas correspondientes se realizaron con el programa Rstudio Team (2021).

7.2. Obtención de biopolímeros y estandarización de la técnica de microencapsulación de COVs

El almidón proveniente del arroz requerido para la preparación de los dispositivos fue suministrado por investigadores del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), con la previa determinación taxonómica de la especie vegetal por parte de dichos especialistas. Una vez obtenido el almidón, se colocó 1 gr de este en una termobalanza (OHAUS, MB200) para determinar su humedad. Se consideraron cuatro repeticiones de 20 min a 120°C, determinando las condiciones óptimas de cada uno de los compuestos probados con base en una búsqueda bibliográfica exhaustiva.

Los dispositivos se elaboraron en el Laboratorio de Físicoquímica, Biotecnología y Taller de Fermentaciones del ICA, UAEH como proponen Rubiano-Charry (2015) y Hoyos-Leyva *et al.* (2019) a través de la técnica de secado por aspersión. Se precalentó el equipo (BUCHI Mini Sprat Dryer B-290) con agua destilada estéril mezclando almidón, agua destilada, Tween 60 (polisorbato 60 o monoestearato de sorbitán polioxietilénico) y los compuestos identificados como AS de *M. mexicanus*: ácido hexanoico y ácido oleico (García-Canales y Romero-López, 2017), así como alfa pineno y D-limoneno, extraídos de hojas de *Q. grahamii* (Moctezuma-Vega, 2022). Una vez mezclados todos los componentes, se colocaron en agitación constante en una plancha a 22°C a 650 rpm mientras la muestra pasaba por toda la máquina de secado en un volumen de 200 ml, a

una temperatura de entrada de 90°C. Al finalizar, se tomó una muestra en polvo, la cual se colocó en bolsas estériles y herméticas para su uso posterior.

7.3. Bioensayos en laboratorio

Entre junio y julio de 2022, con especímenes recolectados en los encinos del JBU, se efectuaron bioensayos pasivos en el laboratorio. Para ello se empleó un olfatómetro de vidrio semicilíndrico de cuatro vías, conformado por cuatro oquedades y cada una, a su vez, por un receptáculo. En cada oquedad se colocó de forma aleatoria cada uno de los compuestos encapsulados sobre un pedazo de papel filtro de 3 cm², empleando: a) 0.0010 gr de D-limoneno; b) 0.0010 gr de alfa pineno; c) 0.0010 gr de ácido hexanoico; d) 0.0010 gr de ácido oleico y 10 µl de agua destilada (control). La dinámica de los bioensayos y los tratamientos propuestos se representan en la Figura 4. Se contabilizaron las respuestas positivas (momento en que adultos de *M. mexicanus*, permanecieran por lo menos 30 s sobre alguno de los receptáculos, ya sea con alguna extremidad o con el cuerpo completo). Los ensayos se efectuaron entre las 11:00 y las 14:00 hrs. Se emplearon cuarenta y ocho adultos, veinticuatro machos y veinticuatro hembras (n= 24), en un periodo de 5 min por prueba.

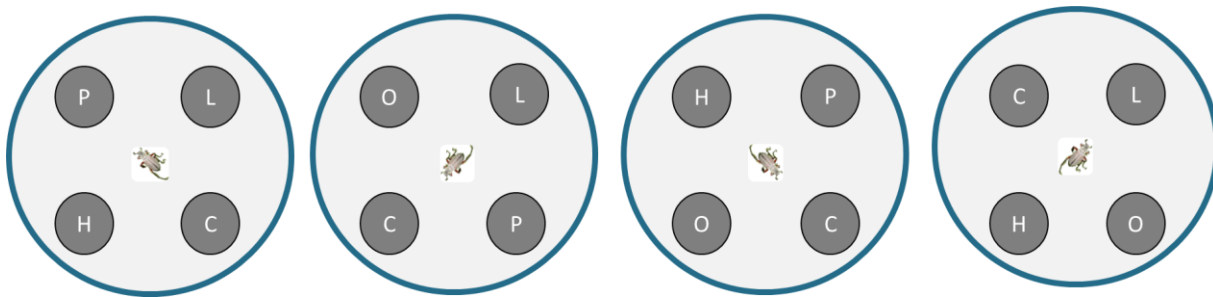


Figura 4. Bioensayos de laboratorio. Se observa la distribución de cada uno de los tratamientos al momento de cada experimento. En el centro del olfatómetro se colocó una hembra o un macho de *Macroductylus mexicanus*, según fuera el caso, con lo cual se evaluaron las respuestas positivas hacia algunos de los estímulos. C= Control; L= D-limoneno, P= Pineno, H= Ácido hexanoico, O= Ácido oleico. n= 24 por sexo.

Posteriormente, los compuestos con mayor número de respuestas positivas en el bioensayo anterior se tomaron para realizar una mezcla de AS y COVs. Se colocaron aproximadamente 0.0005 g de cada uno de los compuestos seleccionados y 0.0010 gr

de los compuestos individuales. Se emplearon cuarenta y ocho adultos, veinticuatro hembras y veinticuatro machos ($n = 24$), en un periodo de 5 min por prueba (Figura 5).

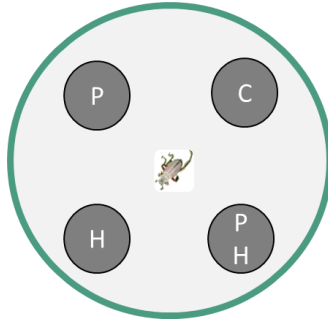


Figura 5. Bioensayos en laboratorio con la mezcla del compuesto pineno y ácido hexanoico. Se observa la distribución de los compuestos, en cada repetición se colocaban de manera aleatoria por las cuatro esquinas del olfatómetro. En el centro se colocó una hembra o un macho de *Macroductylus mexicanus* según fuera el caso. C = Control (agua), P= pineno, H= ácido hexanoico, PH = Pineno y Ácido hexanoico. $n= 24$ por sexo.

Para analizar los datos generados en cada ensayo, se aplicó una prueba de Chi cuadrada para determinar las diferencias estadísticas entre cada tratamiento con respecto al control, tomando en cuenta los individuos que se dirigían hacia cada uno de los estímulos.

7.4. Bioensayos en campo

Las pruebas se efectuaron en tres sitios del estado de Puebla en donde se observan adultos de *Macroductylus* con actividad sexual o alimentaria en esa época del año: 1) Zona de Quercetum del Jardín Botánico Universitario de la BUAP ($19^{\circ}00'05''N$ $98^{\circ}12'03''O$), en encinos de *Q. grahamii*, 2) Zona no perturbada del "Cerro Zapotecas", San Pedro Cholula ($19^{\circ} 04' 31'' N$ $98^{\circ}20'46'' O$) en arbustos de acacia (*A. angustissima* (Mill.) Britton & Rose) y 3) Zona cultivada de San Andrés Calpan (SAC) ($19^{\circ}04'55.1''N$, $98^{\circ}23'36.7''O$) en manzano (*Malus domestica* (Borkh.)). Se efectuó un muestreo dirigido a aquellos árboles donde se encontraba un número mayor a veinte individuos. Se colocaron tubos Eppendor de 0.5 ml de capacidad con 0.0010 gr de cada uno de los compuestos y se ubicaron en cuatro puntos de cada árbol en cuatro árboles diferentes como se observa en la Figura 6a, a una altura de 1.50 m.

Se colocó un tratamiento por árbol, utilizando como control 10 µl de agua. Los ensayos se efectuaron entre las 11:00 y las 14:00 hrs. Una vez colocados los dispositivos, estos se revisaron periódicamente, efectuando un recorrido por cada uno de los tratamientos. Se registró el número de frailecillos que presentó “respuestas positivas” es decir, si se posaba en el dispositivo de atracción y se observaba algún patrón de comportamiento alimentario o precopulatorio durante por lo menos 30 s. Posteriormente, los compuestos con mayor número de respuestas positivas en el laboratorio y en el campo, se tomaron para realizar una mezcla de AS y COVs. Se colocaron aproximadamente 0.0005 gr de cada uno de los compuestos seleccionados y 0.0010 gr de los compuestos individuales (Figura 6b)

Finalmente, se aplicó una prueba de Chi cuadrada para determinar las diferencias entre cada tratamiento con respecto al control, tomando en cuenta los individuos que se dirigían hacia cada uno de los estímulos.

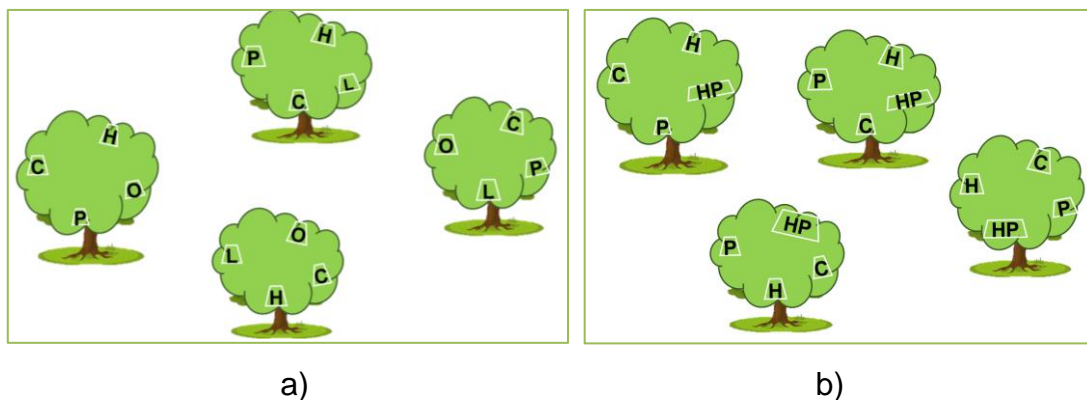


Figura 6. Distribución de los dispositivos de liberación en los bioensayos en campo. a) bioensayos en campo con los compuestos en su forma individual, se colocaban de manera aleatoria. b) bioensayos en campo con la mezcla del compuesto pineno y ácido hexanoico, se colocaban de manera aleatoria por las cuatro esquinas de los árboles seleccionados. C = Control (agua), L= limoneno, O= oleico, P= pineno, H= ácido hexanoico, HP = Pineno y Ácido hexanoico.

7.5. Análisis de la percepción de adultos de *Macroductylus* en zonas de encino como parte de la propuesta de una estrategia de manejo de estos insectos

Se elaboraron dos encuestas semiestructuradas. La primera, en Google Forms, constó de veinticinco preguntas, aplicándola a ciento dos personas, de manera aleatoria, durante abril de 2021; esta encuesta se realizó a personas de entre 20 y 53 años que

no tenían contacto con estos coleópteros. Las preguntas abiertas se diseñaron para conocer la información que se tiene sobre estos insectos y sus interacciones; algunas de estas fueron preguntas de evocación. La segunda encuesta fue impresa y se conformó de doce preguntas, aplicada a quince personas en el mes de mayo del 2022; se aplicó a personas que ya habían tenido contacto previamente con estos escarabajos. Esta actividad se llevó a cabo de manera presencial con el personal de Jardines Botánicos del estado de Puebla (JBU) y el Jardín Etnobotánico Francisco Peláez Roldan de San Andrés Cholula (JEFPR).

Se generaron dos bases de datos con las respuestas de las encuestas mencionadas, para homogeneizar la información sin que se cambiara la idea principal. Las respuestas se categorizaron y analizaron utilizando distintos índices de información, con base en López-Téllez *et al.* (2019). Se empleó el Índice de Shannon y Weaver (H'), el cual indica el grado de información del tema, así como el índice de Simpson (D) para saber que ideas se comparten, de manera que cuanto más se acerca a "1" la información es similar entre las diferentes personas. Del mismo modo, se elaboraron redes conformadas por nodos (respuestas obtenidas) conectados por líneas (relaciones o vínculos de esas respuestas) se utilizó el software UCINET.

8. RESULTADOS

8.1.- Modelo basado en agentes de las interacciones *M. mexicanus*-*M. mexicanus* y *M. mexicanus*- *Q.grahamii*

Los resultados obtenidos sobre la información relacionada con la comunicación química del género *Macroductylus*, tanto desde el enfoque de la interacción insecto-insecto como de la interacción insecto-planta, en registros de laboratorio y campo (Cuadro 3). La recepción de los AS por parte de los machos es a través de quimiorreceptores antenales, principalmente placoideos y aurículos (Romero-López *et al.*, 2017). Por otro lado, en la interacción *M. mexicanus*-*Q. grahamii* se describen como mensajes químicos los COVs y como parte del comportamiento alimentario, en donde se sabe que los sitios de recepción antenal por parte de los adultos de *Macroductylus* son las sensilas basicónicas y celocónicas (Romero-López *et al.*, 2010, 2017). En el Cuadro 3 se representa como AS y comportamiento precopulatorio.

8.1.1. MODELO 1

Derivado de la construcción del etograma fundamentado en patrones precopulatorios según Romero-López y Arzuffi (2010), incluyendo los patrones observados en el etograma conforme a lo sugerido por Moctezuma-Vega y Romero-López (2020). Aquí se plasma la información recopilada, desde todo lo relacionado con la llegada de los adultos de *M. mexicanus* a las hojas de los árboles de *Q. grahamii* hasta el momento en que se efectúa la cópula, denotando no solo los AS partícipes en esta secuencia sino también los COVs liberados por planta hospedera, lo cual se describe a continuación (Figura 7):

A) Las hembras y los machos hacen desplazamientos aéreos cerca de las hojas de su planta hospedera; B) Hembras y machos posándose y desplazándose sobre el envés de las hojas desde el ápice hasta la base, de arriba hacia abajo; C) Hembras y machos desplazándose sobre las ramas; D) Hembras y machos mueven sus cápsulas cefálicas junto con sus antenas, desde el escapo hasta la maza antenal en lapsos constantes, periódicos y armónicos, muestran la apertura de cada lamela con

movimientos azarosos y repetitivos; E) Hembras y machos se quedan inmóviles sobre las hojas; F) Hembras y machos se posan y desplazan sobre el envés de las mismas desde el ápice hasta la base; G) Hembras y machos realizan movimientos mandibulares; H) Hembras y machos realizan movimiento de sus apéndices; I) Hembras y machos frotran sus partes bucales con sus propatas, con movimiento de las antenas; J) Hembras y machos realizan giros corporales de 180° sobre las hojas; K) Hembras realizan movimiento abdominal, en forma circular con un vaivén periódico; L) Hembras hacen intentos de vuelo; M) Hembras pliegan y despliegan sus alas; N) Hembras se quedan inmóviles sobre el envés de las hojas durante 15 s; O) Machos se acercan a las hembras; P) Intentos de cópula con 10 s de duración entre el acercamiento y la monta. Finalmente, termina en Q) Cópula, la cual puede llegar a durar hasta 2700 s (Figura 7).

Cuadro 3. Base de datos para preparar el modelo virtual de las interacciones *M. mexicanus*-*M. mexicanus* y *M. mexicanus*-*Q. grahamii*.

Secuencia	Especie-insecto	Sitio	Acción-insecto	Estructura-insecto	Estructura-planta	Sexo	Interacción	Mensaje-químico	Nombre-comportamiento
1	<i>M. mexicanus</i>	<i>E. polystachya</i>	Permanencia	Individuo	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
2	<i>M. mexicanus</i>	<i>E. polystachya</i>	Desplazamiento	Individuo	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
3	<i>M. mexicanus</i>	<i>E. polystachya</i>	Desplazamiento aéreo	Individuo	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
4	<i>M. mexicanus</i>	<i>E. polystachya</i>	Desplazamiento	Individuo	Flor	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
5	<i>M. mexicanus</i>	<i>E. polystachya</i>	Desplazamiento aéreo	Individuo	Flor	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
6	<i>M. mexicanus</i>	<i>E. polystachya</i>	Permanencia	Individuo	Flor	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
7	<i>M. mexicanus</i>	<i>E. polystachya</i>	Movimiento antenal	Antenas	Flor	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
8	<i>M. mexicanus</i>	<i>E. polystachya</i>	Movimiento mandibular	Mandíbula	Flor	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
9	<i>M. mexicanus</i>	<i>E. polystachya</i>	Inmersión	Cabeza	Flor	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
10	<i>M. mexicanus</i>	<i>E. polystachya</i>	Permanencia	Individuo	BFL	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
11	<i>M. mexicanus</i>	<i>E. polystachya</i>	Desplazamiento	Individuo	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
12	<i>M. mexicanus</i>	<i>E. polystachya</i>	Despliegue	Lamelas	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
13	<i>M. mexicanus</i>	<i>E. polystachya</i>	Permanencia	Cabeza	Flor	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
14	<i>M. mexicanus</i>	<i>E. polystachya</i>	Separación	Propatas	Pétalos	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
15	<i>M. mexicanus</i>	<i>E. polystachya</i>	Movimiento antenal	Antenas	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
16	<i>M. mexicanus</i>	<i>E. polystachya</i>	Permanencia	Individuo	Flor	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
17	<i>M. mexicanus</i>	<i>E. polystachya</i>	Movimiento mandibular	Mandíbula	BFL	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
18	<i>M. mexicanus</i>	<i>E. polystachya</i>	Movimiento patas	Propatas	Flor	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
19	<i>M. mexicanus</i>	<i>E. polystachya</i>	Movimiento patas	Propatas	Botón flor	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
20	<i>M. nigripes</i>	<i>B. salicifolia</i>	Vuelo no dirigido	Alas	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
21	<i>M. nigripes</i>	<i>B. salicifolia</i>	Asentamiento	Individuo	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
22	<i>M. nigripes</i>	<i>B. salicifolia</i>	Reconocimiento	Individuo	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
23	<i>M. nigripes</i>	<i>B. salicifolia</i>	Cortar	Mandíbula	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
24	<i>M. nigripes</i>	<i>B. salicifolia</i>	Vuelo no dirigido	Alas	Aire	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
25	<i>M. nigripes</i>	<i>B. salicifolia</i>	Sin movimiento mandíbula	Mandíbula	Aire	H/M	Insecto-insecto	AS	Precopulatorio
26	<i>M. nigripes</i>	<i>B. salicifolia</i>	Llamado	Individuo	Hoja	H	Insecto-planta	COVs	Alimentario
27	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. grahamii</i>	Desplazamiento aéreo	Individuo	Aire	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
28	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. grahamii</i>	Inmóvil	Individuo	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
29	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. grahamii</i>	Permanencia	Individuo	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
30	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. grahamii</i>	Desplazamiento	Individuo	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
31	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. grahamii</i>	Desplazamiento	Individuo	Ramas	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
32	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. grahamii</i>	Movimiento antenal	Antenas	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
33	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. grahamii</i>	Movimiento mandibular	Mandíbula	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
34	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. grahamii</i>	Movimiento apéndices	Apéndices	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
35	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. grahamii</i>	Giro 180 grados	Cuerpo	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
36	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. sartorii</i>	Desplazamiento aéreo	Individuo	Aire	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
37	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. sartorii</i>	Inmóvil	Individuo	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
38	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. sartorii</i>	Permanencia	Individuo	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario

39	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. sartorii</i>	Desplazamiento	Individuo	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
40	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. sartorii</i>	Desplazamiento	Individuo	Ramas	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
41	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. sartorii</i>	Movimiento antenal	Antenas	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
42	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. sartorii</i>	Movimiento mandibular	Mandíbula	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
43	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. sartorii</i>	Movimiento apéndices	Apéndices	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
44	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. sartorii</i>	Giro 180°	Cuerpo	Hoja	H/M	Insecto-insecto	AS	Precopulatorio
45	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. grahamii</i>	Asentamiento	Individuo	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
46	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. grahamii</i>	Desplazamiento	Individuo	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
47	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. grahamii</i>	Movimiento cabeza	Cc	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
48	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. grahamii</i>	Movimiento antenal	Antenas	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
49	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. grahamii</i>	Asentamiento	Individuo	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
50	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. grahamii</i>	Desplazamiento	Individuo	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
51	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. grahamii</i>	Frotamiento	Pb	Hoja	H/M	Insecto-planta	COVs	Alimentario
52	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. grahamii</i>	Movimiento antenal	Antenas	Hoja	H/M	Insecto-insecto	AS	Precopulatorio
53	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. grahamii</i>	Movimiento circular	Abdomen	Hoja	H	Insecto-insecto	AS	Precopulatorio
54	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. grahamii</i>	Intento vuelo	Alas	Hoja	H	Insecto-insecto	COVs	Alimentario
55	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. grahamii</i>	Desplegamiento	Alas	Hoja	H	Insecto-insecto	COVs	Alimentario
56	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. grahamii</i>	Plegamiento	Alas	Hoja	H	Insecto-insecto	COVs	Alimentario
57	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. grahamii</i>	Sin movimiento	Individuo	Hoja	H	Insecto-insecto	COVs	Alimentario
58	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. grahamii</i>	Acercamiento	Individuo	Hoja	M	Insecto-insecto	AS	Precopulatorio
59	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. grahamii</i>	Intento monta	Individuo	Hoja	M	Insecto-insecto	AS	Precopulatorio
60	<i>M. mexicanus</i>	<i>Q. grahamii</i>	Cópula	Individuo	Hoja	H/M	Insecto-insecto	AS	Precopulatorio
61	<i>M. mexicanus</i>	No_aplica	Llamado	Individuo	No planta	H	Insecto-insecto	AS	Precopulatorio
62	<i>M. mexicanus</i>	No_aplica	Desplegamiento	Individuo	No planta	H/M	Insecto-insecto	AS	Precopulatorio
63	<i>M. mexicanus</i>	No_aplica	Plegamiento	Individuo	No planta	H/M	Insecto-insecto	AS	Precopulatorio
64	<i>M. mexicanus</i>	No_aplica	Acercamiento	Individuo	No planta	M	Insecto-insecto	AS	Precopulatorio
65	<i>M. mexicanus</i>	No_aplica	Intento de cópula	Individuo	No planta	M	Insecto-insecto	AS	Precopulatorio
66	<i>M. mexicanus</i>	No_aplica	Cópula	Individuo	No planta	H/M	Insecto-insecto	AS	Precopulatorio

M. mexicanus= *Macroductylus mexicanus*; *Q. grahamii*= *Quercus grahamii*; *Q. sartorii*= *Quercus sartorii*; *E. polystachia*= *Eysendhartia polystachya*; *M. nigripes* =*Macroductylus nigripes*; *B. salicifolia* = *Baccharis salicifolia*; COVs= Compuestos orgánicos volátiles de plantas hospederas de *M. mexicanus*; AS= Atrayentes sexuales extraídos previamente de las cámaras genitales de hembras de *M. mexicanus*; H= hembras; M= machos; BFL = Brote Floral; Cc= Cápsula cefálica; Pb= Partes bucales.

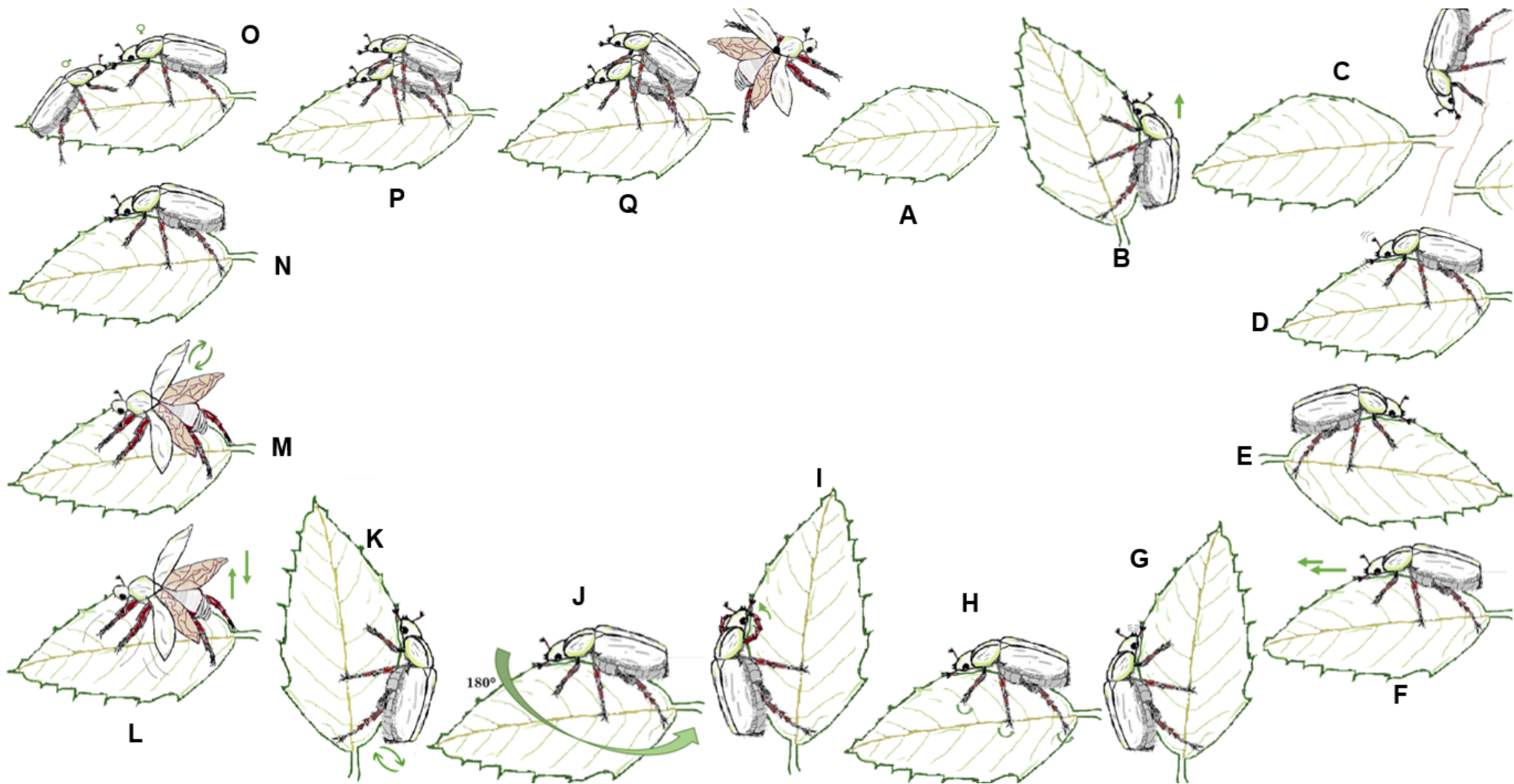


Figura 7. Propuesta de etograma que incluye patrones del comportamiento precopulatorio y alimentario de hembras y machos de *M. mexicanus* en campo. A) Desplazamiento aéreo, B) Desplazamiento/subir/bajar sobre hojas, C) Desplazamiento sobre ramas, D) Movimiento de cápsula cefálica y antenas, E) Inmóvil con permanencia en la hoja, F) Desplazamiento sobre la hoja, G) Movimiento mandibular, H) Movimiento de apéndices, I) Frotamiento de cabeza con propatas, J) Giro corporal de 180°, K) Movimiento abdominal, L) Intento de vuelo, M) Extensión y plegamiento de alas, N) Inmovilidad, O) Acercamiento por parte del macho, P) Monta e intentos de cópula, Q) Cópula.

Los agentes que se diseñaron (machos, hembras y encinos conocidos como plantas hospederas de esta especie) se observan en la Figura 8; esto para que el modelo fuera lo más parecido a lo que se observa en el JBU.

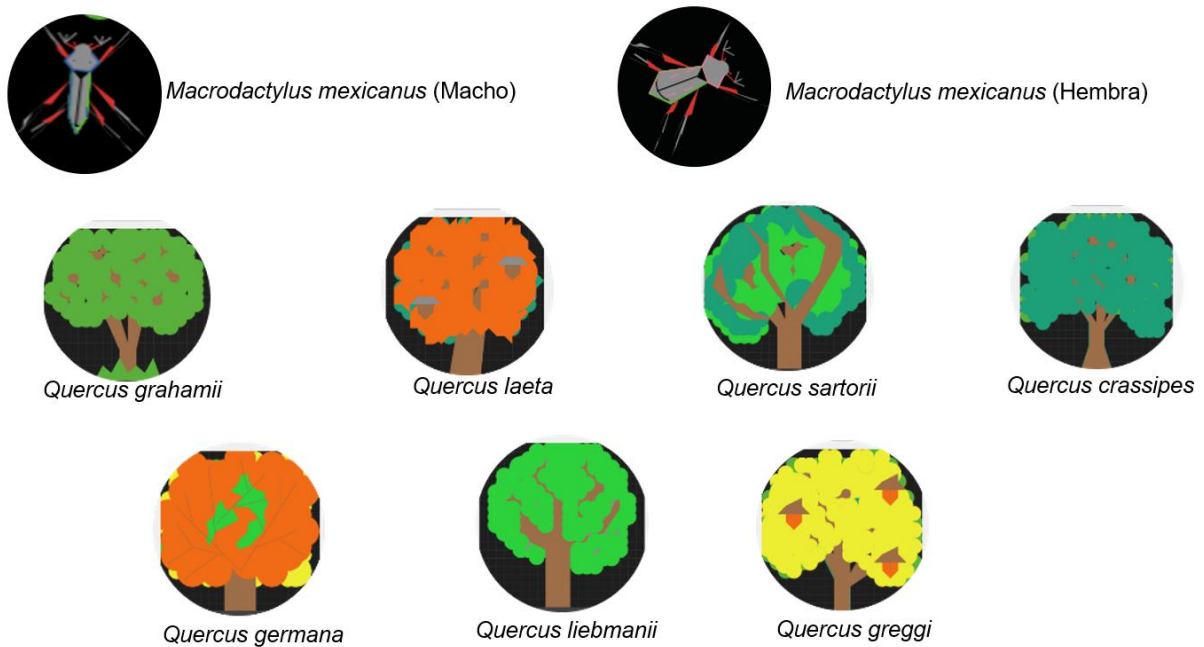


Figura 8. Modelo 1. Los machos se distinguen de las hembras porque tienen el abdomen más estrecho y tienen unas pequeñas rayas azules, a diferencia de las hembras que son más robustas y con rayas rosas. Los encinos se pintaron de diferentes colores para que su visibilidad sea más clara en el modelo.

De manera inicial, se observaron los siguientes patrones generales del comportamiento precopulatorio de esta especie (Figura 9): A) Las hembras se posan en su planta hospedera *Q. grahamii* e inician con la liberación de los AS; B) Los machos se acercan a las hembras y C) Machos y hembras se encuentran juntos y la liberación de AS se detiene, por lo que dejan de aparecer los cuadros azules.

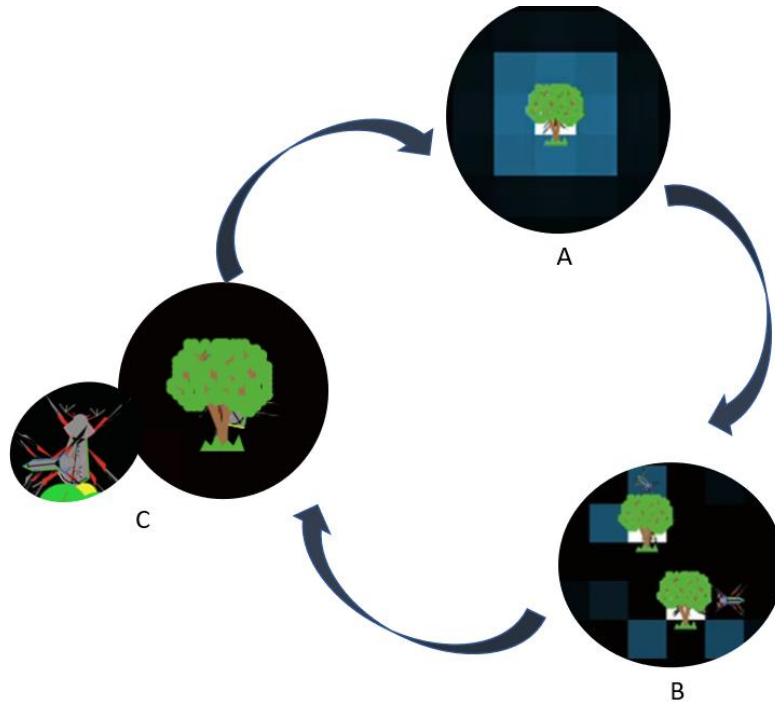


Figura 9. Representación en el modelo virtual de A) hembras desplazándose sobre los árboles de *Q. grahamii* y liberando los AS (cuadritos azules); B) Acercamiento por parte del macho; C) Interacción macho y hembra de *M. mexicanus*.

8.1.2. MODELO 2

Cuando los insectos entraban en uno de los dispositivos de atracción, desaparecían del “mundo” (lugar en donde se desplazan los agentes en el programa), sin embargo, después de un tiempo, los individuos restantes que no entraban a los dispositivos de atracción, también desaparecían del mundo con base en el número máximo de días que viven según la literatura. La interacción de los insectos con la planta y con los individuos del sexo opuesto era diferente, es decir no solo se dirigían hacia las hembras que se encontraban liberando el AS sino que también los machos se dirigían hacia los dispositivos (Figura 10).

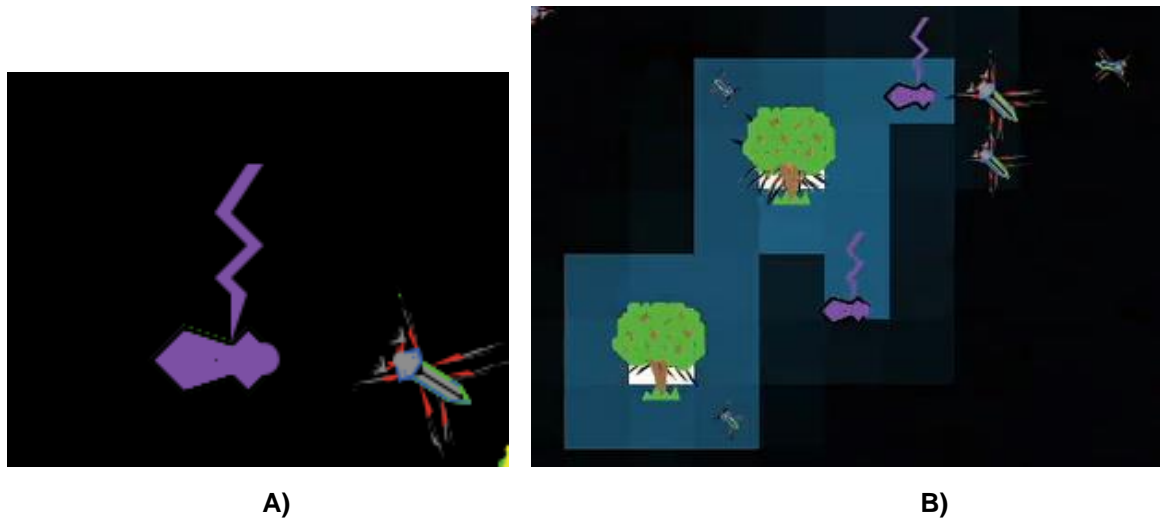


Figura 10. Dispositivos de atracción. A) Dispositivo escarabajo representado con base en Arakaki *et al.* (2003), en este caso, con tamaño y forma de los adultos de *Macroductylus mexicanus*, impregnados con AS) B) Dispositivos de escarabajo, liberando los AS.

La simulación virtual mostró una disminución constante en el número de machos de *M. mexicanus* al utilizarse los dispositivos de atracción escarabajo, en contraste con los datos que se proyectan con los machos en la naturaleza. En el caso de las hembras, el modelo resultó en atracción mínima hacia los dispositivos; por ende, un número menor de individuos con respecto a los machos, sobre todo cuando ya habían transcurrido alrededor de 30 días (Figura 11).

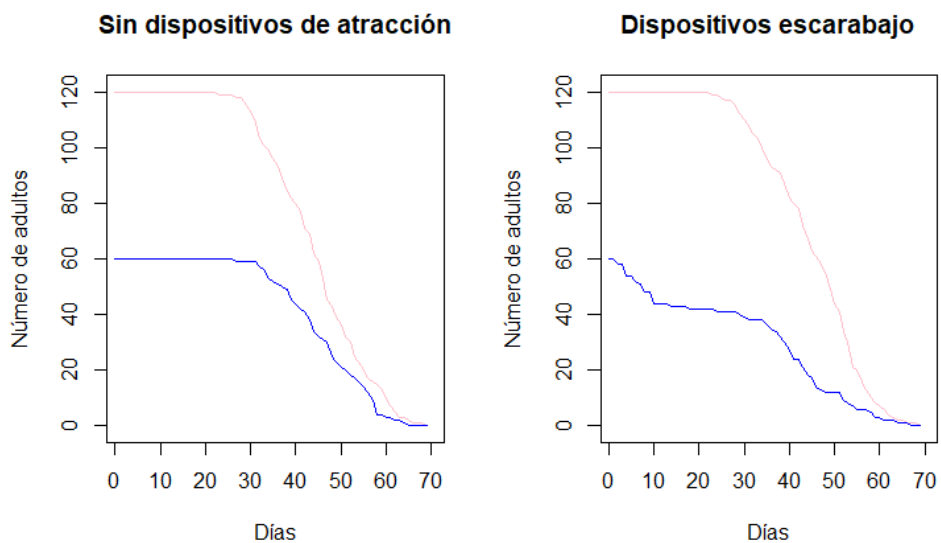


Figura 11. Comparación del número de adultos de *Macroductylus mexicanus* en el transcurso de los días con y sin dispositivos escarabajo. En el eje de las “Y” se muestra el

número de machos y hembras y el eje de las "X" el número de días. Las líneas de color azul son los machos y las de color rosa son las hembras.

8.1.3. MODELO 3

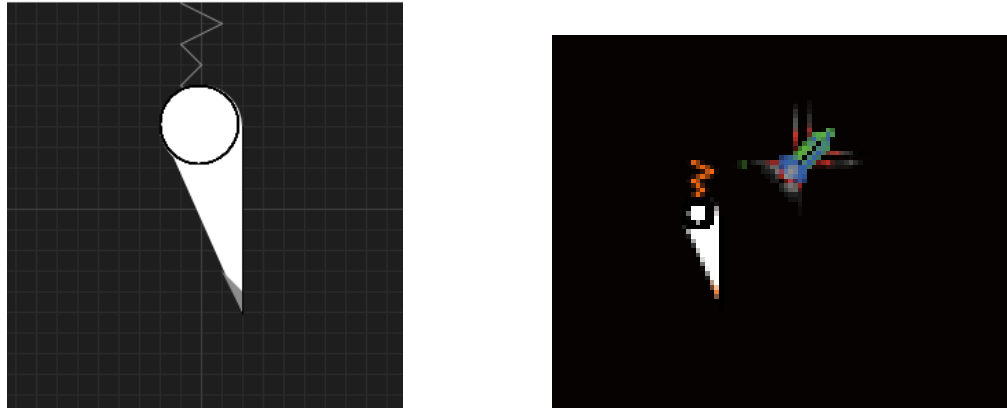


Figura 12. Dispositivo de atracción biopolímero. Representación de un tubo Eppendorf que contiene a los AS. Se observa el macho de esta especie dirigiéndose hacia el dispositivo de atracción.

La Figura 12 describe el dispositivo de atracción biopolímero empleado en la simulación virtual. Se mostró una disminución en el número de machos de *M. mexicanus* al utilizarse ambos dispositivos de atracción. En el caso de las hembras, el modelo resultó en mínima atracción. En la Figura 13 se observan las dos gráficas del comportamiento de estos coleópteros hacia ambos dispositivos de atracción, al principio disminuyen de manera similar; sin embargo, en algunos casos, la disminución comienza en el día 5 en los dispositivos biopolímero. Es en el día 20 aproximadamente en donde empieza a reducirse de manera más rápida y abrupta el número de machos. Después de algunos días, la disminución en ambos dispositivos vuelve a ser parecida. El número de machos termina o es menor en el día 60 en los dispositivos biopolímero a diferencia de los dispositivos escarabajo, que termina hasta unos días después.

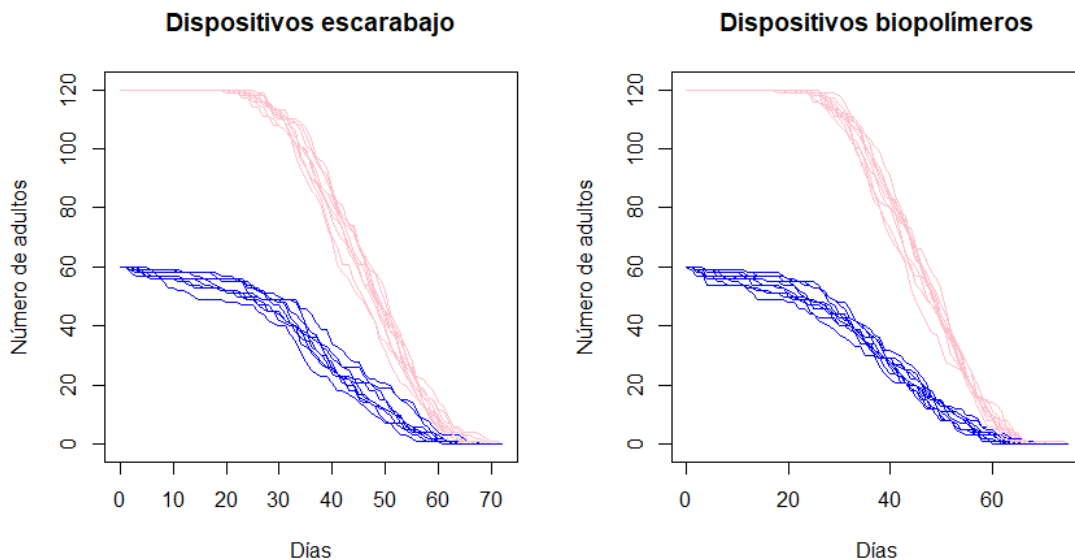


Figura 13. Comparación del número de adultos de *Macrodactylus mexicanus* en el transcurso de los días con treinta y cinco dispositivos escarabajo y con treinta y cinco dispositivos biopolímero. Se muestran un total de diez repeticiones para su mejor visibilidad. El eje de las “Y” muestra el número de machos y hembras y en el eje de las “X” el número de días. Las líneas de color azul son los machos y las de color rosa son las hembras.

8.2. Estandarización de biopolímeros

En las pruebas para determinar la humedad del almidón de arroz, se obtuvo un 10.1% de humedad. Se estandarizaron las condiciones óptimas de encapsulación de los compuestos alfa pineno, D-limoneno (COVs), ácido hexanoico y ácido oleico (AS de *M. mexicanus*), utilizando condiciones documentadas en fuentes bibliográficas, en donde se describen las condiciones de microencapsulación. Sin embargo, al ser compuestos aceitosos y la base de la mezcla de estos polímeros es acuosa, se empleó Tween 60 (polisorbato 60 o monoestearato de sorbitán polioxietilénico), el cual es un agente tensoactivo para la emulsificación del aceite con el agua. La temperatura de salida observada al momento del proceso de secado variaba entre 40° C (ácido oleico) y 53°C (Cuadro 4).

Cuadro 4. Condiciones iniciales de los compuestos microencapsulados. Se describen las temperaturas de salida de cada uno de los compuestos y su rendimiento al finalizar el proceso de secado por aspersión.

<p style="text-align: center;">D-limoneno</p> <p>-30 % de solutos volumen de 200 ml: -Temperatura de entrada 90° C - Temperatura de salida 51° C - 60 gr. de almidón - 20 ml de limoneno -120 ml de agua - 0.2 gr de Tween ->Rendimiento 50%<-</p>	<p style="text-align: center;">Pineno</p> <p>-20 % de solutos volumen de 200 ml -Temperatura de entrada 90°C -Temperatura de salida 51°C - 40 gr. de almidón - 20 ml de pineno - 140 ml de agua - 0.2 gr de Tween ->Rendimiento de 58%<-</p>
<p style="text-align: center;">Ácido hexanoico</p> <p>-20 % de solutos volumen de 200 ml -Temperatura de entrada 100°C -Temperatura de salida 53°C - 40 gr. de almidón -140 ml de agua - 20 ml de ác. hexanoico - 0.2 gr de Tween ->Rendimiento de 53%<-</p>	<p style="text-align: center;">Ácido oleico</p> <p>-20 % de solutos volumen de 200 ml - Temperatura de entrada 90°C -Temperatura de salida 40°C - 36 gr. de almidón -160 ml de agua - 4 ml de ácido oleico - 0.2 gr de Tween ->Rendimiento de 19.4%<-</p>

8.3. Bioensayos de laboratorio

Las hembras de *M. mexicanus* mostraron respuestas positivas estadísticamente significativas hacia pineno y D-limoneno. Los machos, por su parte, presentaron respuestas positivas significativas hacia el ácido hexanoico, pineno y ácido oleico, presentando una mayor frecuencia de este tipo de respuestas con respecto a las hembras (Figura 14). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los distintos patrones y el desplazamiento hacia el control. Las hembras, además de responder a los estímulos anteriormente mencionados, con frecuencia presentaron desplazamientos aleatorios. Los machos mostraron inmovilidad con movimiento antenal de manera recurrente. A pesar de que con algunos adultos no se detectaron taxias positivas hacia alguno de los estímulos químicos, se observaron algunos patrones de comportamiento como desplazamientos aleatorios e inmovilidad con movimiento antenal (Cuadro 5a).

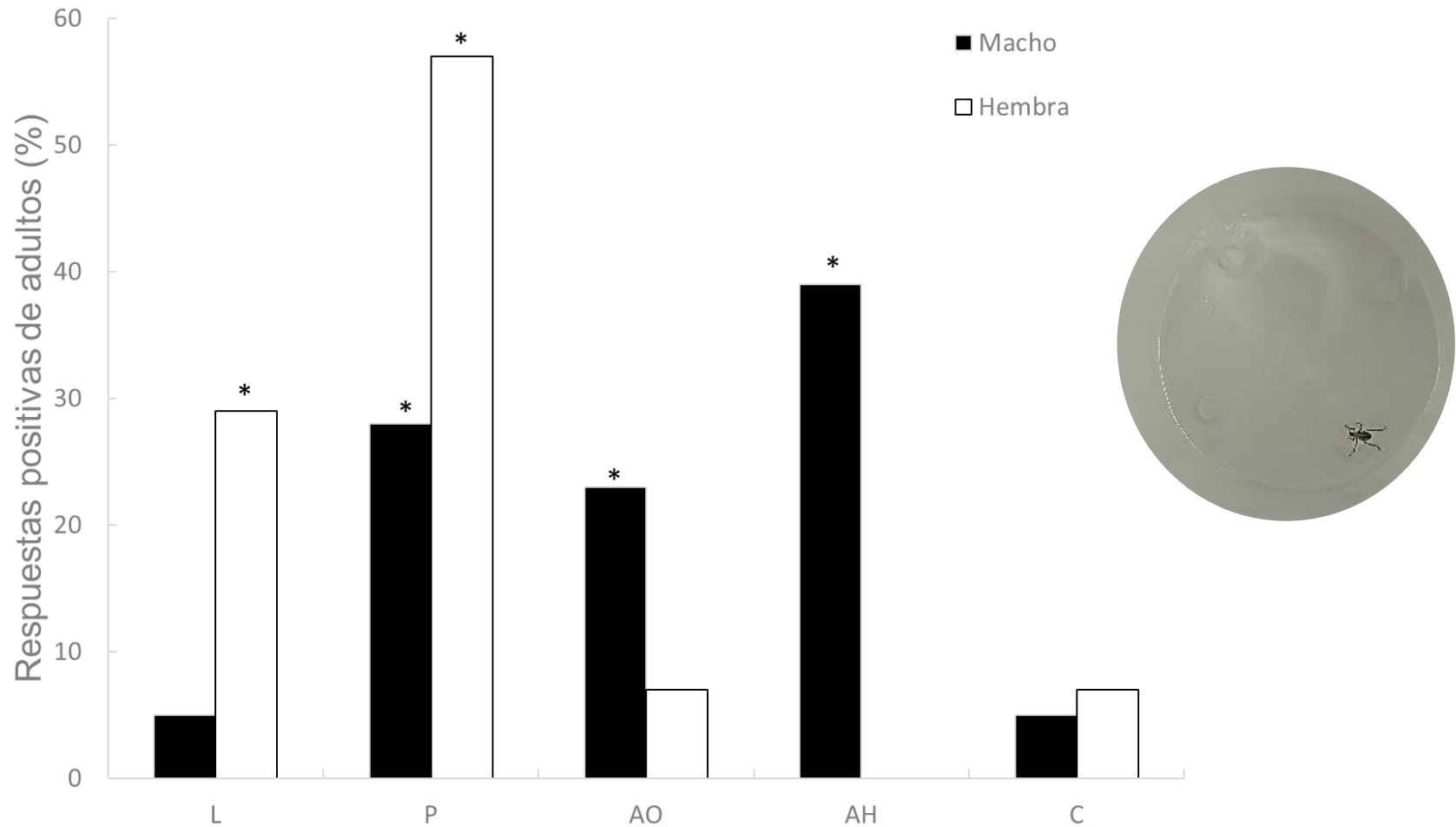


Figura 14. Porcentaje de respuestas de adultos de *Macroductylus mexicanus* a compuestos individuales, en laboratorio. El asterisco (*) indica las respuestas significativas ($p < 0.05$) con respecto al control. Chi-cuadrada, $n = 24$. AH= ácido hexanoico; AO= ácido oleico; P= pineno; L= limoneno; C= control. A la parte derecha de la gráfica se muestra una vista aérea del olfatómetro con una respuesta positiva de un macho de *Macroductylus mexicanus* hacia ácido hexanoico.

En los bioensayos con compuestos individuales se observó que el ácido hexanoico (AS) y el pineno (COVs) fueron los que provocaron las respuestas positivas estadísticamente significativas por parte de los adultos de *M. mexicanus*. Por ello, las mezclas se prepararon con estos compuestos. Las hembras presentaron desplazamientos aleatorios de manera recurrente (Cuadro 5b). Los machos mostraron respuestas positivas estadísticamente significativas hacia el ácido hexanoico, pineno y la mezcla. Las hembras, presentaron respuestas positivas significativas hacia la mezcla y pineno. No se observaron respuestas positivas hacia el control. El porcentaje de respuestas positivas por parte de los machos y las hembras hacia las mezclas es mayor que la de los demás estímulos (Figura 15).

Cuadro 5. Porcentaje de respuestas positivas de adultos de *Macroductylus mexicanus* a compuestos individuales y mezclas. a) Porcentaje de respuestas de machos y hembras de *M. mexicanus* a los diferentes compuestos individuales. b) Porcentaje de respuestas de machos y hembras a los compuestos individuales y la mezcla de pineno y ácido hexanoico. Se compararon estadísticamente por sexo todos los compuestos y patrones contra el control.

Compuestos individuales	M	H
L	4 a	17 b
P	21 b	33 b
AH	29 b	0 a
AO	17 b	4 a
DA	8 a	29 b
IMA	17 b	13 a
C	4 a	4 a

Mezclas	M	H
H	21 b	4 a
P	8 b	38 b
P-H	37 b	29 b
DA	17 b	29 b
IMA	17 b	0
C	0 a	0 a

DA: desplazamientos aleatorios; IMA: inmóvil con movimiento antenal; C: Desplazamientos hacia control; L: limoneno; P: pineno; AH: ácido hexanoico; AO: ácido oleico; M: machos; H: hembras. Chi cuadrada. ($p < 0.05$) letras distintas muestran diferencias estadísticas significativas.

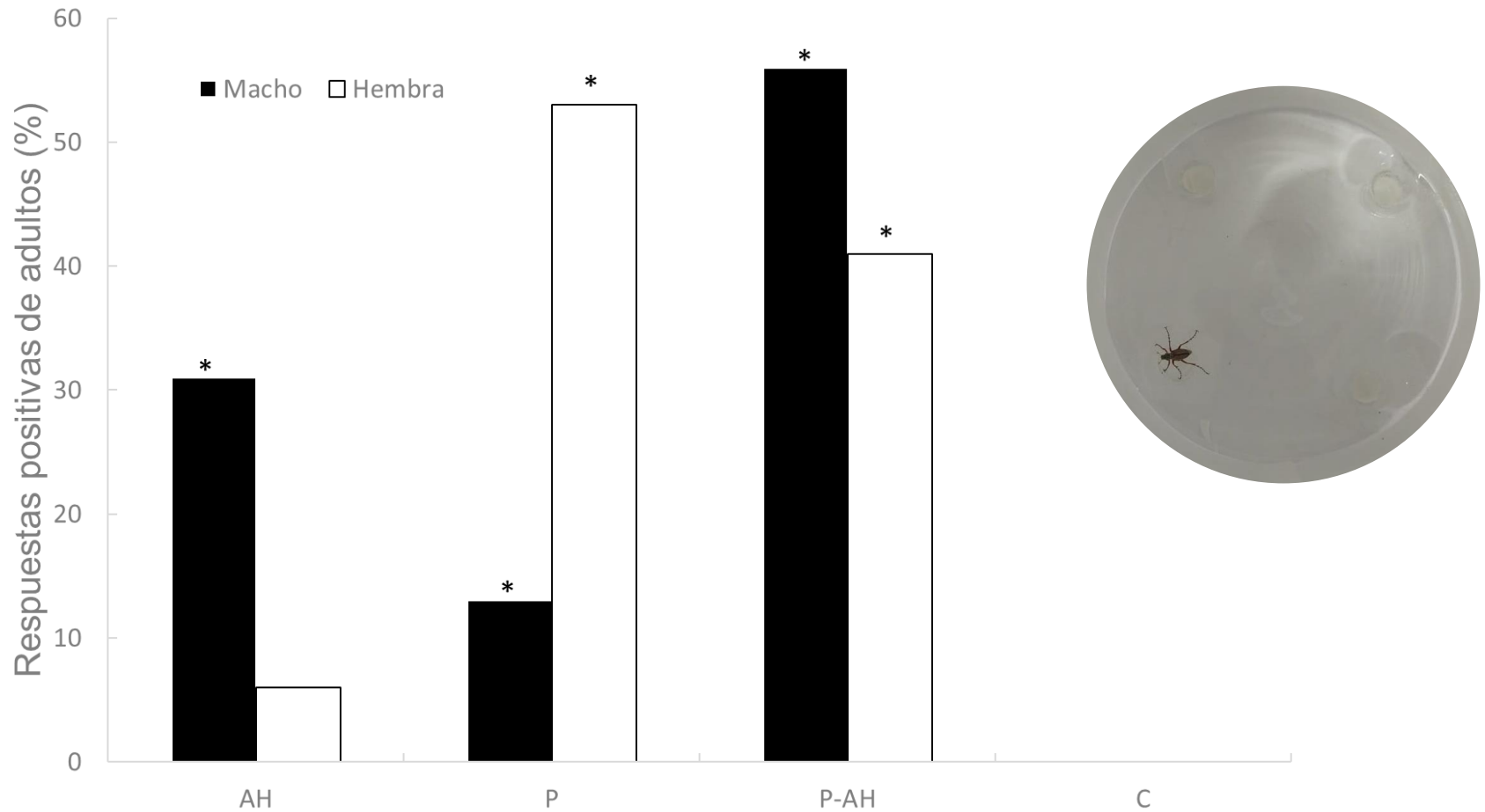


Figura 15. Porcentaje de respuestas de adultos de *Macrodactylus mexicanus* a mezclas de microcápsulas en laboratorio. El asterisco (*) indica las respuestas significativas ($p < 0.05$) con respecto al control. Chi-cuadrada, $n = 24$. AH= ácido hexanoico; P= pineno; P-AH= pineno y ácido hexanoico; C= control. A la parte derecha de la gráfica se muestra con una respuesta positiva de una hembra de *Macrodactylus mexicanus* hacia la mezcla en el olfatómetro.

8.4. Bioensayos en campo

De igual forma que en laboratorio, el mayor número de respuestas positivas por parte de los adultos de esta especie se presentó hacia el ácido hexanoico y el pineno. Los machos mostraron respuestas estadísticamente positivas hacia el ácido hexanoico en contraste con las hembras que no mostraron respuestas positivas hacia este compuesto ni hacia el ácido oleico. Las hembras, mostraron respuestas positivas estadísticamente significativas hacia el pineno con respecto al control. Tanto machos como hembras mostraron respuestas positivas hacia el limoneno, aunque sin diferencias estadísticas (Figura 16).

Posteriormente se emplearon las microcápsulas que tuvieron mayor número de respuestas positivas en los bioensayos de laboratorio y campo. Se empleó una $n= 4$. Se obtuvieron 2 respuestas positivas por parte de las hembras hacia la mezcla (pineno + ácido hexanoico), por parte de los machos hubo una respuesta positiva hacia el ácido hexanoico y una respuesta positiva hacia la mezcla. Las respuestas obtenidas del experimento con mezclas fueron del JBU y del cerro zapotecas

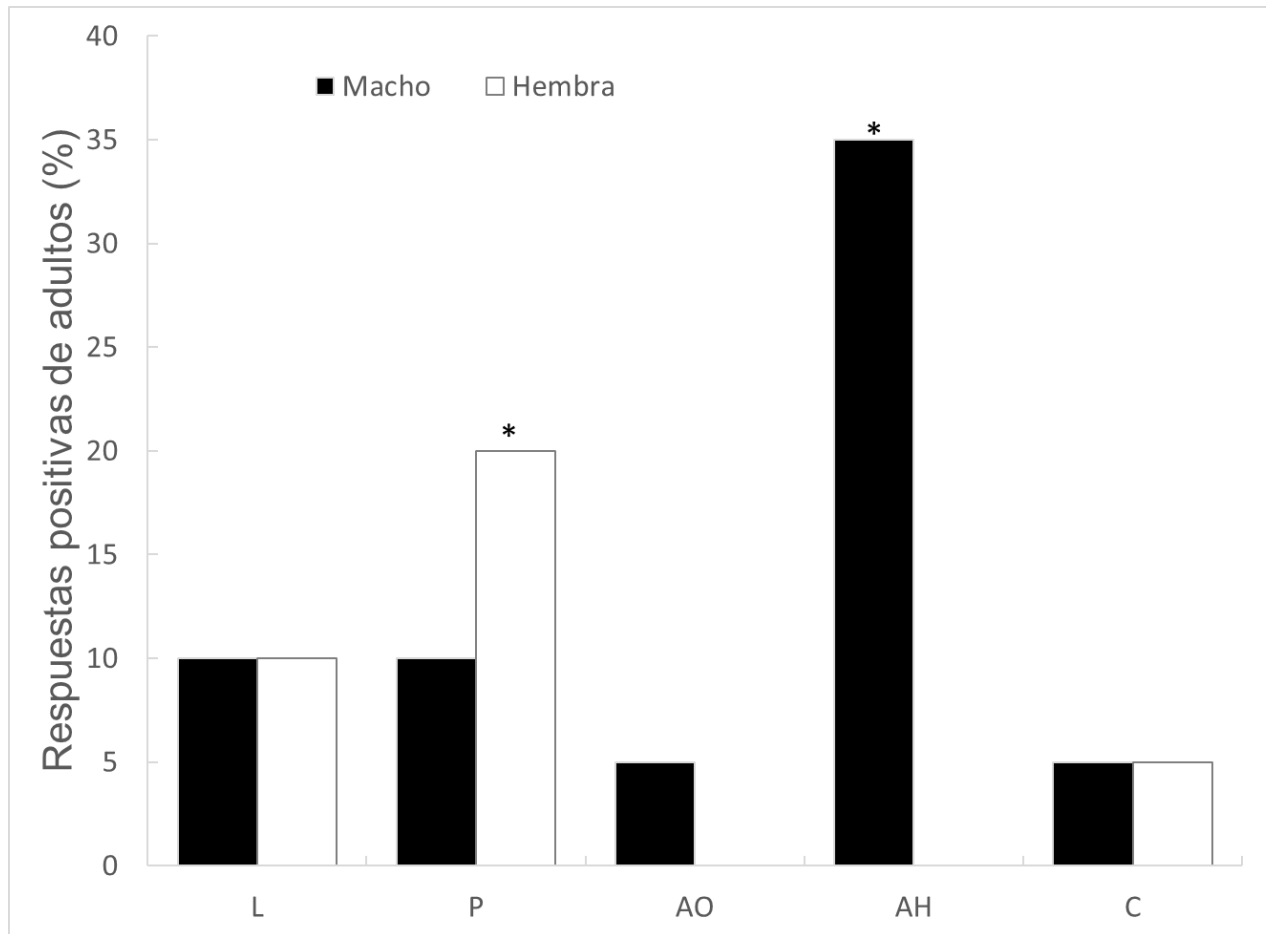


Figura 16. Porcentaje de respuestas positivas de adultos de *Macrodactylus mexicanus* hacia los volátiles liberados por los compuestos individuales incluidos en los dispositivos biopoliméricos. Los datos integran la información generada en las tres zonas de estudio. El asterisco (*) indica las respuestas significativas ($p < 0.05$) con respecto al control. Chi-cuadrada, $n = 8$. Mm= *Macrodactylus mexicanus*; C= control; AH= ácido hexanoico; AO= ácido oleico; P= pineno; L= limoneno. A la derecha de la gráfica se observan respuestas positivas de adultos de *M. mexicanus* hacia las microcápsulas contenidas en el dispositivo de atracción empleado.

8.5. Análisis de la percepción sobre la presencia de adultos de *Macroductylus* en zonas de encinos

Con respecto a los resultados sobre la percepción, las personas que no tienen relación o acercamiento con estos insectos, el 53% corresponde a mujeres y el 47% a hombres en un intervalo de edades que va desde los 21 hasta los 55 años, perteneciendo en su mayoría a personas del estado de Puebla y con menor frecuencia a habitantes de los estados de Aguascalientes, Veracruz, Ciudad de México, Estado de México, Guadalajara, Morelos, Oaxaca, Hidalgo, Tlaxcala y Chiapas. El 62% de los encuestados no conoce a *M. mexicanus*, mientras que quienes si los conocen los describen como “pequeños”, “verdes/gris”, con “patas largas”, “voladores” y que son “plaga”. También se menciona haberlos visto principalmente en sus jardines (estado de Puebla).

Las ideas descritas en las encuestas del estado de Puebla no son similares a las de otros estados. Relacionado con el manejo y control de este insecto u otros denominados como plagas, la población respondía que una plaga es algo “abundante” y que está relacionado con “insectos”, “pérdida”, “destrucción”, “daño” y “malo” (Figura 17). El 54% contestó que no creía que *M. mexicanus* fuera plaga y el 8% que sí; sin embargo, hubo personas que no conocían este individuo y por lo tanto no estaban seguras de la importancia de este en el ambiente (38%). Las personas que respondieron afirmativamente contestaron que la mejor manera de controlar insectos “dañinos” o de tener un manejo es a través de “control químico”, “control biológico”, “fumigación” y “trampas”.

Finalmente, para saber la percepción que se tiene sobre sustancias empleadas para el manejo o control de plagas como los volátiles de plantas y los AS, se elaboraron dos preguntas: El 85% contestó que conoce el término “feromonas”, relacionándolo con un compuesto proveniente de las “hembras” o de las mujeres, que provocaba atracción o bien que era una hormona, siendo la palabra “compuesto” la más frecuente (Figura 18), por otro lado, no sabían que eran los “volátiles de plantas” (77%) siendo “atrayente” y “polinización” las palabras más mencionadas (Figura 19). Las entidades que no aparecen en las redes son de aquellas personas que no sabían acerca de estos términos o no conocían estos

insectos. En las redes descritas el estado que presentó mayor número de menciones fue Puebla. Los estados que no aparecen en la red de la Figura 19 son Estado de México, Guadalajara, Hidalgo y Chiapas.

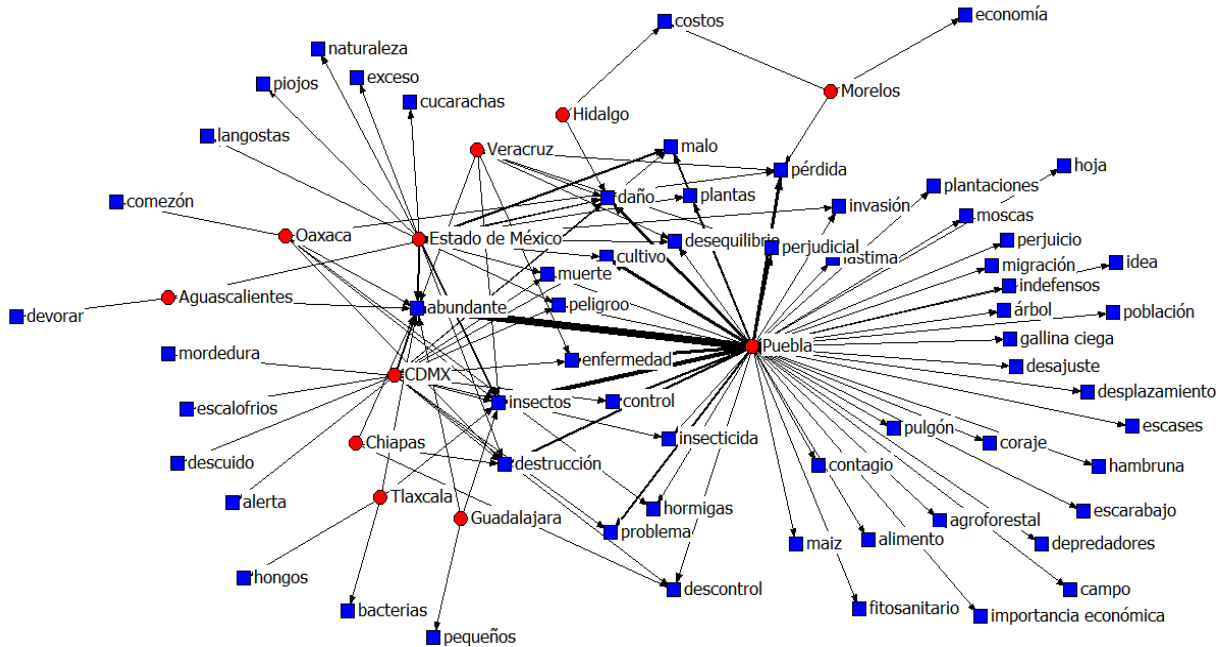


Figura 17. Red de la pregunta 1 “Mencione tres palabras al escuchar la palabra plaga”, separada por estados del país. Los cuadros azules describen las palabras y los puntos rojos denotan los estados, las flechas más grandes reflejan las respuestas más mencionadas.

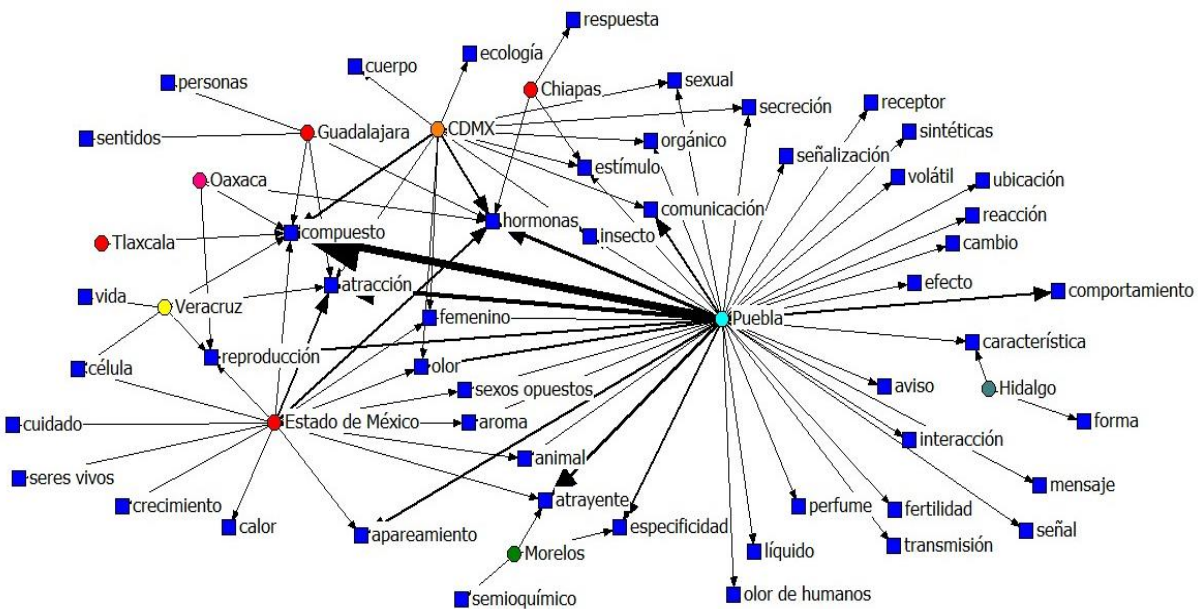


Figura 18. Red de la pregunta 2 “Mencione tres palabras al escuchar la palabra feromonas”, separada por estados del país. Los cuadros azules describen las palabras y los puntos morados denotan los estados, las flechas más grandes reflejan las respuestas más mencionadas.

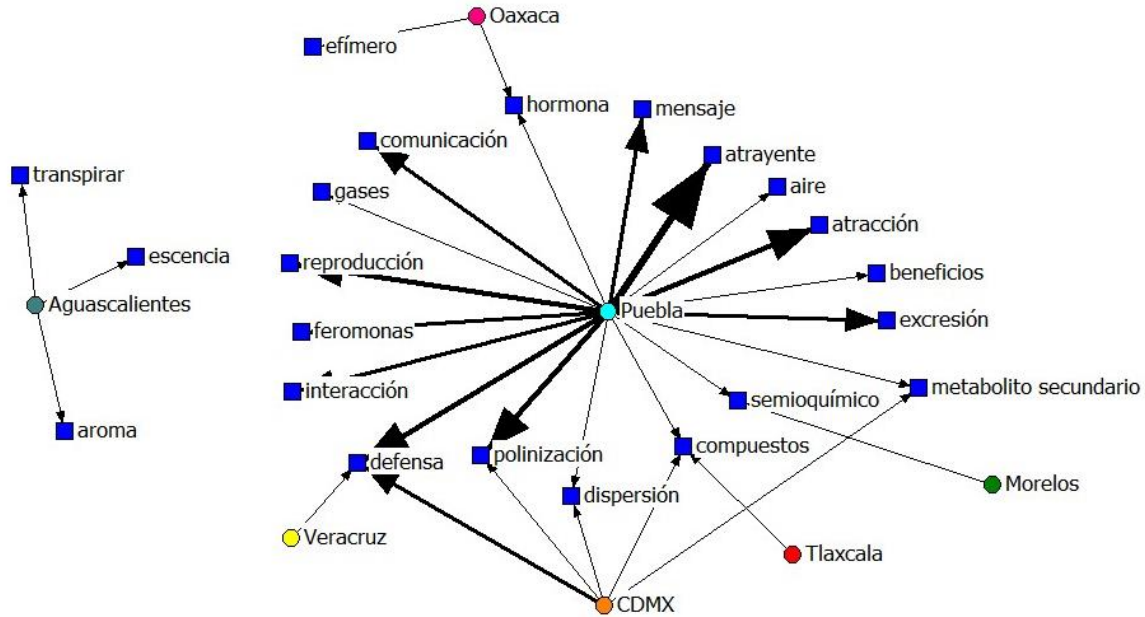


Figura 19. Red de la pregunta 3 “Mencione tres palabras que piensa al escuchar la palabra volátiles de plantas”, separada por estados del país. Los cuadros azules describen las palabras y los puntos morados denotan los estados. Las flechas más grandes reflejan las respuestas más mencionadas.

Los resultados de las encuestas indican que existe una diversidad de información alta, siendo el valor más alto observado en la pregunta número 1 “Menciona tres palabras al escuchar la palabra plaga” ($H' = 3.30$) y el índice más bajo en la pregunta de los volátiles ($H' = 2.42$). No se observa equidad en las respuestas; tienen información distinta sobre estos y mucha de la información que describen no es la adecuada. En el Cuadro 6 se observan los índices de las preguntas descritas observadas en las redes, así como el número de respuestas obtenidas.

Cuadro 6.- Índices de información, para analizar la diversidad de palabras en la encuesta número 1; diseñada para personas no cercanas a este escarabajo.

#Pregunta	(H')	(D)	N0	N1	N2	Hmax	(Q)	(I)
1	3.30	0.06	62	15	27	4.12	0.19	0.81
2	3.19	0.07	51	14	24	3.93	0.18	0.74
3	2.42	0.13	23	7	11	3.13	0.22	0.71

H' = Diversidad verdadera de Shannon-Weaver (abundancia de creencias), D = Diversidad de Simpson (qué tan socializada está la información), $N0$ = riqueza de respuestas obtenidas, $N1$ =ideas

importantes, N2=ideas más dominantes, Q= índice de organización, Hmax= diversidad máxima posible, I= índice de información.

Los resultados de la segunda encuesta dirigidos al personal de jardines botánicos se describen a continuación: El 53% corresponde a hombres y el 47% a mujeres, perteneciendo en su mayoría al JEFP.

El 100% de los encuestados conoce a la especie *M. mexicanus* y lo conocen como “frailecillos”, estos los describen principalmente como insectos que se “alimentan de hojas y pétalos”, “voraces” y “plagas de temporada”. Mencionan haberlos visto principalmente en árboles frutales, pinos y encinos.

El 67% considera que *M. mexicanus* no es importante para el Jardín Botánico ya que para ellos es una plaga y causa daños importantes en las plantas, “provocando defoliaciones”, “disuadiendo polinizadores” y “dañando hojas y flores” (Figura 20) y el 33% menciona que es importante porque sirve como alimento para animales más grandes.

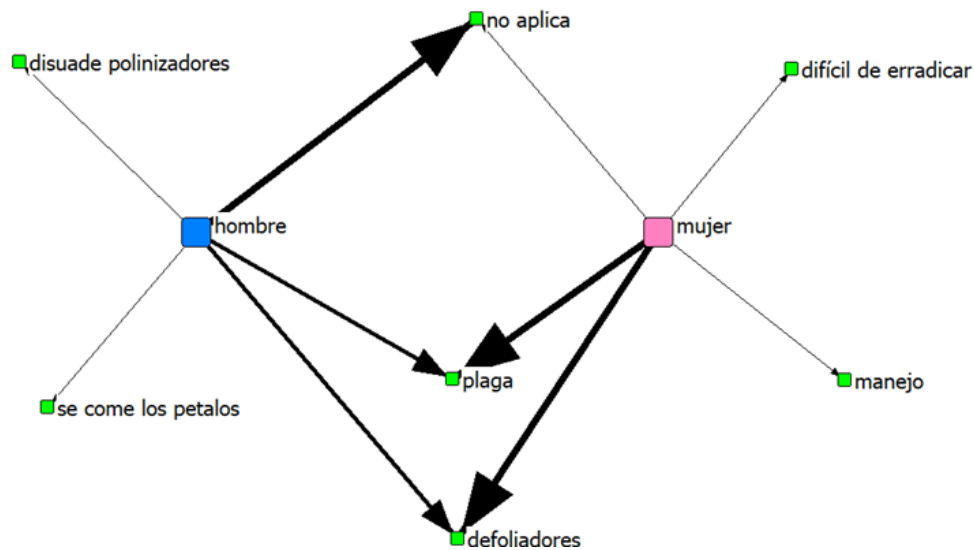


Figura 20. Red de la pregunta: “Mencione dos razones por las que cree que este insecto no es importante”. Los cuadros azules describen las palabras y los puntos rojos denotan si son mujeres u hombres, las flechas más grandes reflejan las respuestas más mencionadas.

9. DISCUSIÓN

9.1.- Modelos de las interacciones *M. mexicanus*-*M. mexicanus* y *M. mexicanus*-encino

Ya se cuentan con trabajos en donde se incluyen etogramas relacionados con el comportamiento precopulatorio de *M. mexicanus* en laboratorio (Benítez-Herrera, 2014) y del comportamiento alimentario en campo (Morales-Blancas y Romero-López; 2019; Moctezuma-Vega y Romero-López, 2020). Sin embargo, en ninguno se presenta el comportamiento precopulatorio en campo, además de contener de manera conjunta ambos tipos de comportamiento. Algunos patrones vistos en registros de laboratorio son similares, por ejemplo, los intentos de cópula y cópula, así como movimientos en sus alas.

En el Modelo 1 se pudieron observar patrones generales de comportamiento precopulatorio y alimentario, como acercamientos por parte de los machos y la liberación de los AS en el momento en que las hembras se encuentran en su planta hospedera; sin embargo, los patrones que no se visualizaron, son patrones específicos como movimientos abdominales, movimiento de antenas, desplegamiento/plegamiento de alas, frotamiento de partes bucales y desplazamiento en hojas. Se han utilizado este tipo de herramientas para escarabajos pertenecientes a otras familias, como es el caso de adultos de *Agrilus planipennis* Fairmaire, en donde se representó las interacciones de los adultos de esta especie con árboles de fresno a través de un modelo basado en agentes, logrando observar los procesos que anteceden el comportamiento del escarabajo (Anderson y Dragičević, 2018).

En los Modelos 2 y 3 se simularon los dispositivos de atracción y cómo sería su efecto en condiciones naturales. Tanto los biopolímeros como los dispositivos escarabajo mostraron ser útiles para este tipo de insectos, sin embargo, los biopolímeros parecían ser más eficientes en cuanto al tiempo, ya que terminaban días antes que el otro dispositivo. Se han empleado modelos de simulación con trampas, para escarabajos de otras familias como Cerambycidae (Manoukis *et al.*, 2014) y también para insectos de otros grupos, como dípteros (Manoukis y Hill,

2021) utilizando cálculos matemáticos y probabilidades para observar la relación que tenía el número de trampas y su distribución, así como los atrayentes colocados y la probabilidad de que una población invasora sea atraída a lo largo del tiempo. Describiendo que la probabilidad de captura dependía del atrayente de las trampas.

En la Figura 13 se observan los dos tipos de dispositivos de atracción, denotando que no todos los machos responden de manera similar en el transcurso de los días, esto es muy visible en campo, ya que las respuestas dependen no solo de los atrayentes empleados, también del estado interno del insecto, el cual es distinto para cada individuo (Nehaniv *et al.*, 1999). La información generada en el presente estudio, en este sentido, resulta fundamental para complementar el conocimiento sobre el esquema de comunicación química y los eventos de atracción de esta especie de Melolonthidae, ya que así podemos inferir que patrón es importante para que ocurra la cópula en condiciones naturales y así facilitar la implementación de alguna estrategia de manejo (Romero-López, 2012). Al mismo tiempo, gracias al modelo diseñado en este trabajo, se logró visualizar el dispositivo de atracción que se podría usar para esta especie de Melolonthidae.

9.2. Estandarización de biopolímeros

Todos los compuestos se encapsularon mediante la técnica de secado por aspersión, esta se ha descrito como una herramienta adecuada para compuestos sensibles a altas temperaturas, proporcionando estabilidad al producto final con bajos costos de procesamiento y facilidad de implementación (Ceballos *et al.*, 2016). Se han reportado las condiciones de encapsulación por la técnica de secado por aspersión del ácido hexanoico (Niebla-Bárceñas, 2009); sin embargo, en esta investigación las condiciones empleadas: 20% de solutos, temperaturas de entrada de 100° C y de salida de 53°C, mostraron respuestas por parte de los adultos de esta especie, además de un rendimiento del 53%. En el caso del limoneno, se ha encapsulado a través de emulsiones, empleando agentes tensoactivos de bajo peso molecular, como es el Tween 60.

Las condiciones óptimas para el proceso de secado por aspersión fueron: temperatura de entrada y salida del aire de secado 156.7°C y 90°C respectivamente, se obtuvo un rendimiento de 90.9% (Rubiano-Charry, 2015); sin embargo, en este trabajo se obtuvo un 50% de rendimiento, lo cual podría deberse a que la temperatura de entrada fue de 90°C. No todos los compuestos encapsulados se encontraron en la literatura, enfocándose la atención en trabajos con encapsulaciones de compuestos con características similares (Ceballos *et al.*, 2016). El rendimiento se describe como la relación entre el contenido de sólidos totales en el polvo resultante y el total de sólidos contenidos en la mezcla de alimentación o en la mezcla inicial y este se expresa en porcentaje. Algunos terpenos muestran un mayor rendimiento que los observados en este trabajo; sin embargo, el material pared empleado era distinto: goma arábica, maltodextrina o almidón de malanga (Ceballos *et al.*, 2016; Hoyos-Leyva *et al.*, 2018).

9.3.- Bioensayos en laboratorio y campo

En los bioensayos de laboratorio tanto con los compuestos individuales como en las mezclas, a pesar de que algunos frailecillos no presentaban contacto con alguno de los compuestos, sí presentaron movimientos antenales, patrón que se ha descrito como parte del comportamiento alimentario y precopulatorio de los adultos de *M. mexicanus* y demás Melolonthidae, además de estar relacionado con la recepción de información química (Romero-López, 2016; Romero-López *et al.*, 2017). En laboratorio y en campo, los machos se dirigieron principalmente hacia el ácido hexanoico, lo cual coincide con lo observado por Martínez-Bonilla (2019) también con adultos de esta especie. En el caso de las hembras, los bioensayos en campo no mostraron respuestas hacia los ácidos hexanoico y oleico, pero sí respuestas aisladas hacia el ácido oleico en laboratorio; esto es consistente con lo que se ha mencionado en términos de la comunicación química de estos insectos: las hembras de esta y otras especies de Melolonthidae, aunque cuentan con quimiorreceptores placoideos y aurículos propios de la recepción de AS y feromonas sexuales, los presentan en un número significativamente menor y con una distribución escasamente homogénea, en comparación con lo que se encuentra en los machos (Romero-López *et al.*, 2010; Romero-López *et al.*, 2017).

Las hembras y los machos fueron atraídos de manera consistente y estadísticamente con significancia hacia los dispositivos con pineno, tanto en laboratorio como en campo. Esto es congruente con lo sugerido por Romero-López *et al.* (2010, 2017) en torno a que machos y hembras de Melolonthidae, en este caso de *M. mexicanus*, poseen quimiorreceptores especializados en la captación de COVs (basicónicos y celocónicos) con una distribución lamelar prácticamente similar, por lo cual la respuesta es a este nivel. Es importante mencionar que en la zona de San Andrés Calpan se registraron respuestas positivas de algunos adultos de *M. nigripes* hacia dispositivos con pineno (no incluidas en el análisis estadístico), lo cual también es consistente con lo mencionado por Romero-López (2016) y Romero-López *et al.* (2017) denotando que hembras y machos de ambas especies captan esta y otras sustancias volátiles como parte de sus esquemas de comunicación química alimentaria, principalmente por compartir el tipo, número y distribución de sensilas lamelares.

Del mismo modo, se ha propuesto que *M. mexicanus* y *M. nigripes*, además de estos caracteres químico-ecológicos, comparten caracteres morfológicos y moleculares que las relacionan aún con mayor cercanía filogenética de la que se ha reportado (González-Martínez, 2018). El D-limoneno, descrito como parte del perfil químico de COVs de *Q. grahamii* (Moctezuma-Vega, 2022), en los bioensayos de laboratorio provocó respuestas significativas por parte de las hembras con respecto al control, con una incidencia menor a la de los demás compuestos, esto es contrastante con lo observado en Nieves-Silva *et al.* (2019) en donde realizaron pruebas de atracción para este compuesto con adultos de *M. nigripes*, en el laboratorio y no se observaron respuestas significativas. El ácido hexanoico, se ha descrito como un compuesto atrayente de otros insectos pertenecientes al mismo género, como es el caso de *M. subspinosus*; sin embargo, se encontraron respuestas positivas hacia la combinación de este compuesto con ácido valérico, octil butirato, alfa-ionona y trans-2-nonanol, en comparación con el control (Williams *et al.*, 2000).

En el caso de las mezclas, tanto machos como hembras tuvieron respuestas significativas, destacando más las respuestas por parte de los machos, esto puede deberse a que el número de microcápsulas que contenían el ácido hexanoico pudo ser mayor a las que contenían el pineno, por lo que el efecto de ambos compuestos juntos se veía disminuido. En el caso de los bioensayos en campo no se pudieron observar tantas respuestas, debido al ciclo de vida de los escarabajos, el cual estaba por terminar al momento de los experimentos, sin embargo, estos resultados denotan que las mezclas de los COVs con los AS funcionan no solo para atraer a machos de esta especie, sino que también se atraen a las hembras mostrando un efecto positivo y sinérgico como lo que se describe en algunos trabajos: Reinecke *et al.* (2002), Xu y Turlings (2019). En algunos experimentos con mezclas se observó que la hembra llegaba al sitio donde se encontraba el dispositivo y acto seguido el macho se desplazaba hacia ella y comenzaban la cópula.

El tipo de dispositivo de atracción empleado en los bioensayos de campo es distinto a los que se han empleado para individuos de la familia Melolonthidae; para el uso de AS se reportan los descritos por Romero-López y Arzuffi (2010), Arakaki *et al.* (2003), Martínez-Bonilla (2019) con dispositivos elaborados de algodón rodeando de una tela y colgando de un alambre, con las especificaciones de la especie de interés; así como para COVs empleando trampas pegajosas (Nieves-Silva, 2019). La forma en la que el AS y COVs se encontraba en esta investigación era polvo, caso contrario de los trabajos descritos líneas arriba, en donde se ha realizado con el compuesto en su forma líquida. El tubo Eppendorff se ha empleado anteriormente como dispensador de COVs, en Nieves-Silva (2019) sin embargo el compuesto no se encontraba directamente depositado en el tubo, estaba en un pedazo de algodón y este tubo pegado a una trampa pegajosa. Se ha observado que el diseño de un dispositivo para individuos considerados como plaga debe ser eficaz, práctico y que llame la atención del insecto, pero si el atrayente es lo suficientemente específico el diseño puede ser secundario (Barrera *et al.*, 2006). *M. mexicanus* mostró respuestas positivas hacia el tipo de dispositivo empleado en este trabajo, sin embargo, se sugiere realizar más pruebas en campo en el momento.

9.4. Análisis de la percepción sobre la presencia de adultos de *Macroductylus* en zonas de encinos

En el caso de la encuesta 1, las respuestas descritas sobre lo que conocen de estos escarabajos, son mayormente descriptivas, es decir, hablan sobre sus colores, tamaño, si son bonitos o feos; en algunos trabajos se ha descrito que tienen respuestas positivas hacia los insectos cuando poseen valores estéticos, utilitarios o ecológicos (Rodríguez *et al.*, 2007). Al mismo tiempo no creían que fueran perjudiciales o plaga, aunque el porcentaje de personas que no sabían nada de esta especie era considerable (38%). Se han realizado estudios sobre la percepción de insectos, como es el caso de Costa Neto y Carvalho (2000) en donde se hicieron encuestas a alumnos de una universidad, y se observó que la palabra “insecto” provocaba mayormente reacciones de miedo. Esto concuerda con algunas respuestas, sobre todo en el caso de las mujeres que empleaban términos descriptivos negativos sobre estos individuos, como: “miedo”, “asco”, “pegajoso”, “feo”, “sucio”; se ha observado que las mujeres generalmente contestan negativamente hacia este tipo de organismos y los hombres son más tolerantes (Rodríguez *et al.*, 2007). De manera general cuando se habla sobre insectos, se inclinan a que son “animales malos”, “son ponzoñosos”, “son plaga” (Ornelas, 2006)

En el caso de la encuesta dirigida al personal de los jardines botánicos, esta especie causaba daños importantes, defoliaciones, e incluso disuaden a los polinizadores que se encuentran cerca del lugar. Para estas personas, los escarabajos necesitan un control y son plagas, lo cual llama la atención ya que la mayoría de los entrevistados eran biólogos o entomólogos, esto fue contrastante a lo mencionado en la encuesta 1, puede deberse a que estos especialistas mantenían un contacto directo con este organismo y resaltaban solo las partes negativas de esta especie, dejando a un lado aspectos ecológicos sobre estos escarabajos. En un estudio se realizó una investigación sobre la percepción de los insectos a maestros de ciencias y alumnos, describiendo que cada organismo vivo contribuye de alguna manera al medio ambiente, a pesar de eso tenían un desagrado hacia este grupo (De Moura Lima, 2020).

Algunas personas encuestadas, mencionaban que no sabían realmente cuál era la función de estos escarabajos en el ambiente. De manera general se ha observado que las personas se interesan por los insectos cuando estos representan una amenaza o les provoca daños directos e indirectos (Rodríguez *et al.*, 2007)

La información recabada permitió conocer más sobre estos coleópteros y su interacción con sus plantas hospederas, denotando que las ideas en general son escasas y heterogéneas. Asimismo, observar cuales son las soluciones que ellos ejecutarían ante problemas como las plagas. La información recopilada sobre feromonas y COVs fue escasa y poco homogénea. Se propone que la información recabada en este estudio comience a divulgarse a través de trípticos o infografías que permitan explicar con un lenguaje adecuado la importancia de estas interacciones y los interactuantes, generando así que la población se apropie del tema, sugiriendo estrategias de manejo y conservación sustentables a través de investigación, educación y acción.

10. CONCLUSIONES

- El modelo basado en agentes resultó una herramienta útil para representar las interacciones de *M. mexicanus*- *M. mexicanus* y *M. mexicanus*- *Q. grahamii* con el uso de semioquímicos, siendo consistente con lo observado en los bioensayos de laboratorio y campo.
- En el modelo 1 se describió la secuencia general del comportamiento precopulatorio y su interacción con *Q. grahamii*. Mientras que el modelo 2 y 3 permitieron predecir la respuesta de adultos de *M. mexicanus* hacia dispositivos de atracción en condiciones naturales.
- Las microcápsulas con AS y COVs ofrecieron un rendimiento mayor al 50%, particularmente el ácido hexanoico, pineno y limoneno.
- En los bioensayos de laboratorio y campo, las microcápsulas provocaron respuestas positivas similares por parte de hembras y machos de *M. mexicanus* (hacia ácido hexanoico y pineno) además de un comportamiento relacionado con la comunicación química de esta especie.
- A partir de la percepción de las personas encuestadas, *M. mexicanus* causa afectaciones importantes en algunas plantas, por lo cual es denominada como plaga. Con esto se plantea un esquema de manejo de esta especie, desde el uso de un modelo de simulación virtual y de semioquímicos

11. LITERATURA CITADA

- Agudelo-Aguirre, F. (2011). Síntesis orgánica. Universidad del Quindío, Facultad de Ciencias Básicas y Tecnologías. Ediciones Elizcom.
- Alfaro-Galarza, O. (2019). Microencapsulación de *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei* mediante secado por aspersión. Maestría en Ciencias de los alimentos. Instituto de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Alfaro-Galarza, O., López-Villegas, E.O., Rivero-Pérez, N., Tapia-Maruri, D., Jiménez-Aparicio, A.R., Palma-Rodríguez, H.M. y Vargas-Torres, A. (2020). Protective effects of the use of taro and rice starch as wall material on the viability of encapsulated *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei*. *LWT - Food Science and Technology*, 117, 108686.
- Anderson, T. M. and Dragičević, S. (2018). Network-agent based model for simulating the dynamic spatial network structure of complex ecological systems. *Ecological Modelling*, 389, 19-32.
- Anguita, J. C., Labrador, J. R. y Campos, J. D. (2003). La encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos (I). *Atención primaria*, 31(8), 527-538.
- Aragón, A., Morón, M. A., Rodríguez-Velázquez, S. Y., Cortés-Meza, A. N., Zarázua-Carvajal, M. and Damián-Huato, M. Á. (2010). Description of the larvae of three species of *Macrodactylus* Dejean (Coleoptera: Scarabaeidae: Melolonthinae) from Mexico with notes on the reproductive behavior of *Macrodactylus ocreatus* Bates. *The Coleopterist Bulletin*, 64 (3), 193-200.
- Arakaki, N., Wakamura, S., Yasui, H., Sadoyama, Y. and Kishita, M. (2003). Sexually differentiated functions of female-produced pheromone of the black chafer *Holotrichia loochooana loochooana* (Sawada) (Coleoptera: Scarabaeidae). *Chemoecology*, 13,183–186.
- Arce-Pérez, J. R. y Morón, M. Á. (2000). Taxonomía y distribución de las especies de *Macrodactylus* Latreille (Coleoptera: Melolonthidae) en México y Estados Unidos de América. *Acta Zoológica Mexicana* (nueva serie), 79, 123–239.
- Arce-Pérez, J. R. y Morón, M. Á. (2012). Las especies de escarabajos *Macrodactylus* de Guatemala (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae). *Biodiversidad*, vol. 2, 193-196.
- Barrera, J. F., Montoya, P. y Rojas, J. (2006). Bases para la aplicación de sistemas de trampas y atrayentes en manejo integrado de plagas. In Simposio de trampas y atrayentes en detección, monitoreo y control de Plagas de importancia económica. Sociedad Mexicana de Entomología y el Colegio de la Frontera Sur. Manzanillo, Colima, México. Pp (pp. 1-16).
- Bautista-Lozada, A., Bravo-Monzón, A. E. y Espinosa-García, F. J. (2012). Importancia ecológica de la emisión de compuestos volátiles vegetales. Temas selectos en Ecología Química de Insectos.
- Benítez-Herrera, L.N. (2014). Anatomía del aparato reproductor de *Macrodactylus mexicanus* (Coleoptera: Scarabaeoidea: Melolonthidae) y la relación con aspectos básicos de su comunicación química sexual. Tesis para obtener el título de Licenciado en Biología, Escuela de Biología, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.

- Benítez-Herrera, L.N., Martínez, I. y Romero-López, A. A. (2015). Anatomía del aparato reproductor de *Macrodactylus mexicanus* (Coleoptera: Scarabaeoidea: Melolonthidae) y su posible participación en su comunicación química sexual. *Southwestern Entomologist*, 40(1), 189-198.
- Benjamin-Kaup, U. (2010). Olfactory signalling in vertebrates and insects: differences and commonalities. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(3), 188-200.
- Biganzoli, F. y Zuloaga, F. (2015). Análisis de diversidad de la familia Poaceae en la región austral de América del Sur. *Rodriguésia*, 66(2), 337-351.
- Bourtoom, T. and Chinnan, M. S. (2008). Preparation and properties of rice starch–chitosan blend biodegradable film. *LWT - Food Science and Technology*, 41(9), 1633–1641.
- Brilli, F., Loreto, F. and Baccelli, I. (2019). Exploiting plant volatile organic compounds (VOCs) in agriculture to improve sustainable defense strategies and productivity of crops. *Frontiers in Plant Science*, 10, 264.
- Byers, J. A. and Naranjo, S. E. (2014). Detection and monitoring of pink bollworm moths and invasive insects using pheromone traps and encounter rate models. *Journal of Applied Ecology*, 51(4), 1041-1049.
- Carraher, C. E. (2013). Carraher's polymer chemistry, Ninth Edition. A CRC.
- Caselín-Castro, S., Carrillo-Sánchez, J. L., Llanderal-Cázares, C. y Bravo-Mojica, H. (2003). Incidencia de *Macrodactylus nigripes* Bates (Coleoptera: Melolonthidae) en maíz y haba en Tlaxcala, México. *Agrociencia*, 37, 291-297.
- Ceballos, M. A., Hurtado, A. M. y Figueroa, P. M. (2016). Microencapsulación mediante secado por aspersion de aceite de mora (*Rubus glaucus*) extraído con CO₂ supercrítico. *Revista Colombiana de Química*, 45(2), 39-47.
- Cherman, M. A. y Morón, M. A. (2014). Validación de la familia Melolonthidae Leach, 1819 (Coleoptera: Scarabaeoidea). *Acta Zoológica Mexicana* (n.s), 30(1), 201-220.
- Conchou, L., Lucas, P., Meslin, C., Proffit, M., Staudt, M. and Renou, M. (2019). Insect odorscapes: from plant volatiles to natural olfactory scenes. *Frontiers in Physiology*, 10, 972.
- De Moura Lima, A. G., Maciel-Cabral, H. M. y da Silva, C. C. (2020). Entomologia: percepções dos alunos do ensino médio sobre os insetos através das sequências didáticas. *REAMEC-Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática*, 8(1), 152-162.
- Dhivya, B., Latha, B. R., Raja, M. D., Sreekumar, C. and Leela, V. (2014). Control of brown dog tick, *Rhipicephalus sanguineus* using assembly pheromone encapsulated in natural polymer, chitosan. *Experimental and Applied Acarology*, 63(1), 85-92.
- Dias, A. B., Müller, C. M. O., Larotonda, F. D. S. and Laurindo, J. B. (2010). Biodegradables films based on rice starch and rice flour. *Journal of Cereal Science*, 51(2), 213–219.
- Dicke and Sabelis, M. W. (1998). Infochemical terminology: based on cost-benefit analysis rather than origin of compounds? *Functional Ecology*, 2(2), 131-139.
- Eberhard, W. G. (1993). Copulatory courtship and genital mechanics of three species of *Macrodactylus* (Coleoptera Scarabaeidae Melolonthinae). *Ethology Ecology and Evolution*, 5(1), 19-63.
- Enkerlin, E., Cano, G., Garza, R. y Vogel, E. (1997). Ciencia ambiental y desarrollo sostenible. México: International Thomson Editores, 393.
- Farré-Armengol, G. I., Filella, J. L. and Pañuelas, J. (2013). Floral volatile organic compounds: Between attraction and deterrence of visitors under global change. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 15(1), 56-67.

- Fenoglio, M. S., Videla, M. and Morales, J. M. (2017). Evaluating trap cropping strategies for insect pest control through simulation models. *Journal of Pest Science*, 90(2), 601-610.
- Fuchs-Gómez, O. L., Campos-Méndez, M., Vera Cervantes, E. y Reyes-Lazalde, A. (2010). Ventajas que presentan los nuevos ambientes virtuales en el desarrollo de habilidades cognitivas y en los aprendizajes de algunos conceptos de Física y de Fisiología. Décimo Congreso Internacional Retos y Expectativas de la Universidad. Instituto Politécnico Nacional.
- García-Canales, S. C. y Romero-López, A. A. (2017). Respuesta de machos *Macrodactylus mexicanus* Burmeister (Coleoptera: Melolonthidae) en pruebas de olfatómetro y extracción de compuestos con posibles implicaciones químico-ecológicas. *Entomología mexicana*, 4, 443-449.
- García-Hernández, J. (2016). Uso de un polímero biodegradable para la difusión de compuestos orgánicos volátiles (VOC'S). Tesis para obtener el grado de Ingeniería Química Industrial. Universidad de Jaén.
- Gliessman, S. R. (2002). Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 2002, 359.
- González-Martínez, A. G. (2018). Obtención del código de barras de ADN del gen MT-COI de *Macrodactylus mexicanus* y *Macrodactylus nigripes* (Coleoptera: Melolonthidae). Licenciatura. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Griebeler, E. M. and Seitz, A. (2002). An individual based model for the conservation of the endangered Large Blue Butterfly, *Maculinea arion* (Lepidoptera: Lycaenidae). *Ecological Modelling*, 156(1), 43-60.
- Gries, G., Nolte, R. and Sanders, W. (1989). Computer simulated host selection in *Ips typographus*. *Entomologia experimentalis et applicata*, 53(3), 211-217.
- Heath, J. J., Williams, R. N. and Phelan, P. L. (2002). Aggregation and male attraction to feeding virgin females in *Macrodactylus subspinosus* (F.) (Coleoptera: Scarabaeidae: Melolonthinae). *Environmental entomology*, 31(6), 934-940.
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L. y Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology*, 28(3), 718-726.
- Hoyos-Leyva, J.D., Bello-Pérez, L. A., Agama-Acevedo, J.E., Alvarez-Ramírez, J. y Jaramillo-Echeverry, L.M. (2018) Characterization of spray drying microencapsulation of almond oil into taro starch spherical aggregates, *LWT - Food Science and Technology*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.079>.
- Leal, W.S. (1998). Chemical ecology of phytophagous scarab beetles. *Annual Reviews of Entomology*, 43(1), 39-61.
- Leal, W.S. (2017). Reverse chemical ecology at the service of conservation biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114 (46), 12094-12096.
- Leitch, K. J., Ponce, F. V., Dickson, W. B., van Breugel, F. and Dickinson, M. H. (2021). The long-distance flight behavior of *Drosophila* supports an agent-based model for wind-assisted dispersal in insects. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(17).
- López-Jiménez, L. N. y Chan-Quijano, J. G. (2016). Marco conceptual del manejo de recursos naturales. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 12(1), 27-35.

- López-Téllez, M. C., Campos-Cabral, V. y Ramírez-Carmona, G. (2019). Parque Nacional La Malinche y el impacto ecológico social de su decreto como Área Natural Protegida. *Regiones y Desarrollo Sustentable*, 19(36).
- Macal, C. M. and North, M. J. (2009). *Agent-based modeling and simulation. Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (WSC)*.
- Manoukis, N. C. and Hill, M. P. (2021). Probability of Insect Capture in a Trap Network: Low Prevalence and Detection Trapping with TrapGrid. *arXiv preprint arXiv:2110.11432*.
- Manoukis, N. C., Hall, B. and Geib, S. M. (2014). A computer model of insect traps in a landscape. *Scientific reports*, 4(1), 1-8.
- Marín-Loaiza, J. C. y Céspedes, C. L. (2007). Compuestos volátiles de plantas. Origen, emisión, efectos, análisis y aplicación al agro. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30 (4), 328-351.
- Martínez-Bonilla, O. K. (2019). Atracción de adultos de *Macrodactylus mexicanus* y *Macrodactylus nigripes* (Coleoptera: Melolonthidae) a infoquímicos y su relación con la morfología del sistema olfativo de adultos y larvas. Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Centro de Agroecología, BUAP, Puebla, México.
- Martín-Villena, M. J., Morales-Hernández, M. E, Gallardo-Lara, V. and Ruiz-Martínez, M. A. (2009) Técnicas de microencapsulación: una propuesta para microencapsular probióticos. *ARS Pharmaceutica*, 50, 43-50.
- McClendon, R. W., Mitchell, E. B., Jones, J. W., McKinion, J. M. and Hardee, D. D. (1976). Computer simulation of pheromone trapping systems as applied to boll weevil population suppression: a theoretical example. *Environmental Entomology*, 5(5), 799-806.
- Mello, M. O. and Silva-Filho, M. C. (2002). Plant-insect interactions: an evolutionary arms race between two distinct defense mechanisms. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 14(2), 71-81.
- Meneses, J., Corrales, C. M. y Valencia, M. (2007). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Revista EIA*, (8), 57-67.
- Moctezuma-Vega B. X. y Romero-López A. A. (2020). Patrones de comportamiento de *Macrodactylus mexicanus* (Coleoptera: Melolonthidae) sobre hojas de encinos. 4to Congreso Nacional de Investigación Interdisciplinaria. Ciudad de México, México, 150-152.
- Moctezuma-Vega, B. X. (2019). Obtención del código de barras de ADN de especies de *Quercus* (Fagaceae) hospederas de adultos de *Macrodactylus* (Coleoptera: Melolonthidae). Tesis de grado. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Moctezuma-Vega, B. X. (2022). Interacción entre adultos de *Macrodactylus mexicanus* (Coleoptera: Melolonthidae) con *Quercus grahamii* y *Quercus sartorii* (Fagaceae), mediada por volátiles. Tesis de Maestría. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Morales-Blancas, G. I. y Romero-López, A. A. (2019). Comportamiento de adultos de *Macrodactylus mexicanus* Burmeister, 1855 (Coleoptera: Melolonthidae) en su acercamiento a árboles de *Eysenhardtia polystachya* (Ortega) Sarg. 1892 (Fabaceae). *Entomología mexicana*, 6, 352–357.
- Morales-Blancas, G. I. y Romero-López, A. A. (2020). Observaciones del comportamiento de “frailecillos” (Coleoptera: Melolonthidae) en campo y laboratorio que evidencian

- atracción de estos hacia flores y brotes de su planta hospedera. *Entomología mexicana*, 6, 352–357.
- Morón, M. A., Nogueira, G., Gómez, C. V. y Pérez, R. (2014). Biodiversidad de Melolonthidae (Coleoptera) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, S298-S302.
- Morón, M. A., Ratcliffe, B. C. y Deloya, C. (1997). Atlas de escarabajos de México. Coleoptera Lamellicornia, Vol. 1. Familia Melolonthidae. CANABIO y Sociedad Mexicana de Entomología, A.C. México.
- Nava-Reyna, E., Michelena-Álvarez G., Iliná, A. y Martínez-Hernández, J. L. (2015). Microencapsulación de componentes bioactivos. *Investigación y Ciencia*, 23(66), 64-70.
- Nehaniv, C. L., Dautenhahn, K. and Loomes, M. J. (1999). Constructive biology and approaches to temporal grounding in postreactive robotics. In *Sensor Fusion and Decentralized Control in Robotic Systems II* (Vol. 3839, pp. 156-167). SPIE.
- Niebla-Bárceñas, L. (2009). Evaluación de encapsulamiento de compuestos de sabor en matrices de almidón. Maestría en tecnología avanzada.
- Nieves-Silva, E. (2019). Compuestos volátiles de *Prunus persica* (L.) para el manejo agroecológico de *Macrodactylus nigripes* (Coleoptera: Melolonthidae). Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Centro de Agroecología, BUAP, Puebla, México.
- Nieves-Silva, E. y Romero-López, A. A. (2016). Olfatómetro portátil para el estudio de interacciones entre "frailecillos" (Coleoptera: Melolonthidae) y plantas. *Entomología mexicana*, 3, 516–522.
- Nieves-Silva, E. y Romero-López, A. A. (2019). Perfil químico de volátiles de *Baccharis salicifolia* (Asteraceae) e interacción con *Macrodactylus nigripes* (Coleoptera: Melolonthidae). *Acta agronómica*, 68(3), 222-227.
- Ninkovic, V., Markovic, D. and Rensing, M. (2021). Plant volatiles as cues and signals in plant communication. *Plant, Cell & Environment*, 44(4), 1030-1043.
- Nixon, K. C. (1993). The genus *Quercus* in Mexico. In: Ramammorthy, T.R., Bye, R., Lot, A., y Fa, J., 1993. Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution. Oxford University Press. 812.
- Nordlund, D.A. and Lewis, W.J. (1976). Terminology of chemical releasing stimuli in intraspecific and interspecific interactions. *Journal of Chemical Ecology*, 2(2), 211-222.
- Oliveira, L. J. y García, M. A. (2003). Flight, feeding and reproductive behavior of *Phyllophaga cuyabana* (Moser) (Coleoptera: Melolonthidae) adults. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38, 179-186.
- Ontiveros, A. A. y Calvo, M. P. (2017). Introducción al modelado basado en agentes: Una aproximación desde NetLogo. El Colegio de San Luis. 1ª edición.
- Ornelas, M. D. L. N. (2006). Percepciones e importancia de los insectos en el ámbito urbano de la Ciudad de México, México. *SITIENTIBUS série Ciências Biológicas*, 6(4), 334-342.
- Ospina, J. y Aldana, H. (2001). Enciclopedia Agropecuaria, producción Agrícola. Tomo 1. Terranova.
- Primack, R. y Massardo, F. (2001). Restauración ecológica. Fundamentos de conservación biológica: perspectivas latinoamericanas, México. Fondo de Cultura Económica, 559–582.



- Quezada, A. y Caenessa, E. (2010). Modelo basado en agentes: una herramienta para complementar el análisis de fenómenos sociales. *Avances en Psicología Latinoamericana/Bogotá*, 28(2), 226-238.
- Ravve, A. (2013). Principles of Polymer Chemistry. Springer US.
- Reddy, G. V. P. and Guerrero, A. (2004). Interaction of insect pheromones and plant semiochemicals. *Trends Plant. Sci*, 9, 253–261.
- Reinecke, A., Ruther, J. y Hilker, M. (2002). The scent of food and defence: green leaf volatiles and toluquinone as sex attractant mediate mate finding in the European cockchafer *Melolontha melolontha*. *Ecology Letters*, 5, 257–263.
- Rodrigues, S. R., Fuhrmann, J., y Amaro, R. A. (2019). Aspects of mating behavior and antennal sensilla in *Anomala inconstans* Burmeister, 1844 (Coleoptera: Scarabaeidae: Rutelinae). *Biota Neotropica*, 19.
- Rodríguez, B. G., Neto, E. C. y Baptista, G. S. (2007). Percepción y conocimiento de los insectos: un estudio de caso con los niños de educación primaria en dos zonas urbanas de Iztapalapa, Distrito Federal, México. *Boletín de la SEA*, (41), 485-493.
- Rojas, J. C. (2012). El papel del estímulo químico durante la búsqueda de hospedero por Lepidópteros herbívoros. 287-314. En: Rojas, J.C. y Malo, E.A. (Eds.). Temas selectos en Ecología Química de insectos. El Colegio de la Frontera Sur. México. 446.
- Romero-López, A. A. (2012). Uso de feromonas sexuales para el conocimiento y manejo de los “ensambles gallina ciega” en México. *Interciencia*, 37, 559-564.
- Romero-López, A. A. (2016). Comunicación química de coleópteros Melolonthidae distribuidos en México: a una década de distancia. *Dugesiana*, 23(1), 59-73.
- Romero-López, A. A. y Arzuffi, R. (2010). Evidencias sobre la producción y liberación de compuestos bioactivos de un melolóntido mexicano. Publicación especial del Instituto de Ecología A.C, 203-222.
- Romero-López, A. A., Aragón, A. y Arzuffi, R. (2007). Estudio comparativo del comportamiento sexual de cuatro especies de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae). *Entomología mexicana*, 6, 275- 281.
- Romero-López, A. A., Arzuffi, R. y Morón, M. A. (2005). Feromonas y atrayentes sexuales de coleópteros Melolonthidae de importancia agrícola. *Folia Entomológica Mexicana*, 44(2), 233-245.
- Romero-López, A. A., Benítez-Herrera, L. N, Martínez-Bonilla, O. K., Yanes-Gómez, G. and Aragón-Sánchez, M. (2017). Comparative study of distribution of antennal chemoreceptors of *Macrodactylus* of Mexico. *Southwestern Entomologist*, 42(1), 11-119.
- Romero-Rangel, S. (2006). Revisión taxonómica del complejo *Acutifoliae* de *Quercus* (Fagaceae) con énfasis en su representación en México. *Acta Botánica Mexicana*, (76), 1-45.
- Rubiano-Charry, K. D. (2015). Efecto de la adición de agentes de tensión activa en la microencapsulación de d-limoneno mediante técnicas de secado por aspersión. *Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos*.
- Ruiz-Avilés, G. (2005). Polímeros biodegradables a partir del almidón de yuca. Tesis de Maestría en Ingeniería de Procesamiento de Polímeros.
- Ruiz-Flores, Z. (2020). Comportamiento de larvas de *Phyllophaga vetula* (Coleoptera: Melolonthidae) en respuesta a volátiles de sustratos Alimentarios y polvos vegetales. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, BUAP.

- Ruther, J., Meiners, T. and Steidle, J. L. M. (2002). Rich in phenomena - lacking in terms. A classification of kairomones. *Chemoecology*, 12, 161-167.
- Ruther, J., Reinecke, A. and Hilker, M. (2002). Plant volatiles in the sexual communication of *Melolontha hippocastani*: response towards time-dependent bouquets and novel function of (Z)-3-hexen-1-ol as a sexual kairomone. *Ecological Entomology*, 27(1), 76-83.
- Serapio-Jerónimo, M.A., Guzmán-Mendoza, R., del Carmen Herrera-Fuentes, M. y Orendain, J. (2014). Ciclo de vida y comportamiento de *Macrodactylus nigripes* Bates, 1887 (Coleoptera: Melolonthidae) en Ixtlahuaca, México. *Entomología mexicana*, 1, 710-714.
- Valencia, S. (2004). Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 75, 33-53
- Valero-Valdivieso, M. F. (2013). Biopolímeros: avances y perspectivas. *Dyna*, 80(181), 171-180.
- Valladares, G.A. (2014). Diseño de matrices poliméricas biodegradables para la liberación controlada de feromonas en el control de plagas. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Córdoba.
- Valladares, G.A., González-Audino, P. and Strumia, M. C. (2016). Preparation and evaluation of alginate/chitosan microspheres containing pheromones for pest control of *Megaplatus mutatus* Chapuis (Platypodinae: Platypodidae). *Polymer International*, 65(2), 216-223.
- Van Donk, E., Lanora, A. and Vos, M. (2011). Induced defences in marine and freshwater phytoplankton: a review. *Hydrobiologia*, 668, 3-19.
- Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C. y Torres, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista Chilena de Nutrición*, 45(3), 271-278. <https://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271>
- Villena, M. M., Hernández, M. M., Lara, V. G. y Martínez, M. R. (2009). Técnicas de microencapsulación: una propuesta para microencapsular probióticos. *Ars Pharmaceutica*, 50(1), 43-50.
- Wang, Z., Li, Y., Jain, A. and Pierce, N. E. (2021). Agent-based models reveal limits of mark–release–recapture estimates for the rare butterfly, *Bhutanitis thaidina* (Lepidoptera: Papilionidae). *Insect Science*. doi:10.1111/1744-7917.12949
- Ward, A. C., Moore, V., Wightman, A. J. and Rogers, D. J. (2002). Identification of the sex pheromone of *Holotrichia reynaudi*. *Journal of Chemical Ecology*, 28, 515- 522.
- Wicher, D. (2015). Chapter two–olfactory signaling in insects. In: *Progress in Molecular Biology and Translational Science*, 130, 1-131.
- Wilensky, U. (1999). Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University. <http://ccl.northwestern.edu/nlogo>
- Williams, R. N., Fickle, D. S., McGovern, T. P. and Klein, M. G. (2000). Development of an attractant for the scarab pest *Macrodactylus subspinosus* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Journal of Economic Entomology*, 93(5), 1480-1484.
- Witzgall, P., Stelinski, L., Gut, L. and Thomson, D. (2008). Codling moth management and chemical ecology. *Annual Review of Entomology*, 53, 503-522.
- Xu, H. and Turlings, T. C. (2018). Plant volatiles as mate-finding cues for insects. *Trends in Plant Science*, 23(2), 100-111.
- Young, J. C., Rose, D. C., Mumby, H. S., Benitez-Capistros, F., Derrick, C. J., Finch, T., García, C., Home, C., Marwaha, E., Morgans, C., Parkinson, S., Shah, J., Wilson, K.A.

- and Mukherjee, N. (2018). A methodological guide to using and reporting on interviews in conservation science research. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(1), 10-19.
- Zavala-Chávez, F. (1999). Variabilidad y riqueza de los encinos de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 5(2), 113-121.

12. ANEXO

Datos del encuestado	
Nombre:	Localidad en la que vive:
Edad:	¿Es originario de esa localidad?
Sexo:	¿Ha migrado?
Máximo grado de estudios:	En caso de que su respuesta sea afirmativa, mencione el lugar al cual ha migrado y el tiempo que migró. Si la respuesta fue "no", coloque "no aplica"
Ocupación:	

Conocimiento del insecto (<i>frailecillo</i>) del árbol (encino) y de los volátiles	
Diga con tres palabras lo que piensa al escuchar la palabra "escarabajo":	¿Conoce este árbol? 
Mencione tres funciones que cree que tienen los escarabajos en la naturaleza:	Mencione tres características:
¿Conoce a este escarabajo? 	Mencione tres palabras que representen la importancia de estos en la naturaleza:
Si la respuesta fue sí, ¿Con qué nombres comunes lo conoce?	¿Ha escuchado sobre el uso de trampas para el control de plagas de insectos?
Mencione tres características de ellos:	Si la respuesta fue sí, mencione qué tipo de trampas:
Mencione tres lugares en donde ha visto a estos insectos:	¿Ha escuchado la palabra "feromona"?
Mencione tres palabras en las que piensa al escuchar la palabra "plaga":	Si la respuesta fue sí, mencione con tres palabras lo que entiende por feromona:
¿Cree que estos escarabajos son plaga o dañinos para el ambiente?	¿Ha escuchado sobre los llamados "volátiles de plantas"?
Si la respuesta fue sí, mencione tres maneras de cómo podría "controlarse" o llevar a cabo el manejo de este insecto:	Si la respuesta fue sí, mencione con tres palabras lo que entiende por volátiles de plantas:



Encuesta para personal del Jardines Botánicos

INTERACCIÓN ESCARABAJO-ENCINO



Esta encuesta tiene como propósito evaluar el conocimiento que tiene el personal del Jardín Botánico (Jardín Botánico Universitario y Jardín Etnobotánico Francisco Peláez Roldán) sobre las interacciones planta-insecto (en particular, escarabajo-encino) como parte del trabajo de tesis de Maestría de la Facultad de Ciencias Biológicas de la BUAP. La información aquí recabada será utilizada con fines educativos.

Información general

Con la finalidad de que la recopilación de la información sea formal, se les pide de la manera más atenta responder esta sección. La información recabada es confidencial y no será expuesta a terceras personas ni se hará un mal uso de ella.

Nombre: _____

Nombre del Jardín Botánico en que trabaja:

Edad: _____

Ocupación: _____

¿Cuánto tiempo lleva trabajando en el Jardín Botánico?: _____

Sexo: _____

CONOCIMIENTO INTERACCIONES

Responda la primera idea que tenga; en caso de no poder responder a la pregunta, coloque la frase "NO APLICA".

1.- Mencione tres palabras que se relacionen con los insectos:

2.- Mencione tres insectos que usted conozca:

3.- Mencione cinco insectos que ha observado en el Jardín botánico:

4.- Mencione cinco plantas/árboles que conoce del Jardín botánico:

5.- Mencione cinco insectos que ha observado sobre las plantas/árboles del Jardín botánico:

6.- ¿Sabe que árboles son conocidos como "encinos" dentro de este lugar?

7.- Mencione tres encinos que ha observado dentro del Jardín Botánico:

8.- Mencione cinco insectos que ha observado en estos encinos:

9.- ¿Conoce a este insecto?

Sí

No



10.- ¿Con qué nombre lo conoce?

"Escarabajo"

- "Frailecillo"
- "Tache"
- "Mayate"
- Otro _____

11.- ¿En qué sitios del Jardín Botánico los ha observado?

- Árboles frutales
- Encinos
- Pasto
- Pinos
- Pavimento
- Interior de las oficinas y demás instalaciones
- Todas las anteriores
- Otro _____

9.- ¿Cree que este insecto sea importante para el Jardín Botánico?

- Sí
- No

10.- Mencione dos razones por las que cree que este insecto es importante (si su respuesta en la pregunta anterior fue "No", coloque "NO APLICA"):

11.- Mencione dos razones por las que cree que este insecto no es importante (si su respuesta en la pregunta 9 fue "Sí", coloque "NO APLICA")

12.- ¿Qué acciones se llevan a cabo en el Jardín Botánico para cuidar a estos escarabajos u otros insectos?



La Sociedad Latinoamericana de Etnobiología y la
Asociación Etnobiológica Mexicana

Otorgan la presente

CONSTANCIA

A: *Fernanda Salgado Farias, Angel Alonso Romero López y
María Concepción López Téllez*

Por su participación en el simposio: El conocimiento comunitario de recursos naturales e intervención de la educación formal e informal, con la ponencia titulada: *"Percepción sobre la presencia de adultos de *Macrodactylus mexicanus* (Coleoptera: Melolonthidae)"*

Durante el VII Congreso Latinoamericano y el XII Congreso Mexicano de Etnobiología, celebrados del 22 al 28 de octubre de 2022 en la Ciudad de Tlaxcala, México




Dra. Rumi Kubo
PRESIDENTA DE SOLAE


Dr. Andrés Camou
PRESIDENTE DE AEM

Adriana Montoya E.
Dra. Adriana Montoya
PRESIDENTA DEL COMITÉ LOCAL



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Otorgan la presente

Constancia

A: Fernanda Salgado Farias

Por su valiosa participación como **Ponente**
en las conferencias del **laboratorio a tu bolsillo**, exponiendo

el tema:

“La química como aliada de la biología”



Que se llevó a cabo el día 13 de mayo de 2021

H. Puebla de Z. 2 de agosto de 2021.

Pensar bien, para vivir mejor.

Dr. Jorge Raúl Cerna Cortez

Director de la Facultad de Ciencias Químicas





LA ACADEMIA MEXICANA DE ENTOMOLOGÍA APLICADA

Difundiendo el conocimiento entomológico en beneficio de la sociedad

OTORGA LA PRESENTE

CONSTANCIA

A:

Fernanda Salgado-Farias, Apolonio Vargas-Torres y Angel A. Romero-López

Por su participación como **PONENTE** en la modalidad **Oral** con el trabajo titulado:

BIOPOLÍMEROS LIBERADORES DE VOLÁTILES RELACIONADOS CON *Macrodactylus mexicanus* (COLEOPTERA: MELOLONTHIDAE).

DURANTE EL III CONGRESO NACIONAL DE ENTOMOLOGÍA APLICADA, REALIZADO DEL 31 DE AGOSTO AL 2 DE SEPTIEMBRE, EN OAXTEPEC, MORELOS, MÉXICO.

DR. NÉSTOR BAUTISTA MARTÍNEZ
PRESIDENTE DE LA ACADEMIA MEXICANA DE
ENTOMOLOGÍA APLICADA



DR. CLEMENTE DE JESÚS GARCÍA ÁVILA
SECRETARIO DE LA ACADEMIA MEXICANA DE
ENTOMOLOGÍA APLICADA



LVI

Congreso Nacional de Entomología



LA ACADEMIA ENTOMOLÓGICA DE MÉXICO A. C.
Y LA SOCIEDAD MEXICANA DE ENTOMOLOGÍA A. C.

Otorgan el presente RECONOCIMIENTO

a:

Fernanda Salgado Farias

Por su participación como
PONENTE ORAL del trabajo:

REPRESENTACIÓN DE LA LOCALIZACIÓN DE PAREJA DE *Macroductylus mexicanus* (COLEOPTERA: MELOLONTHIDAE) MEDIADA POR INFOQUÍMICOS. Con la autoría de: Fernanda Salgado-Farias, Carolina Contreras-González y Angel Alonso Romero-López.

Ciudad Victoria, Tamaulipas,
del 6 al 10 de septiembre de 2021

Dra. Juana María Coronado Blanco
Presidente

Dr. Jesús Alberto Acuña Soto
Presidente del Comité
Organizador Nacional

Dr. José Hugo T. Silva Espinosa
Presidente del Comité
Organizador Local



SEH²Bioinfo

Simposio de Estudiantes Hispanohablantes
de Bioinformática y Biología Computacional



CERTIFICADO DE PARTICIPACIÓN

Este documento certifica que

Fernanda Salgado Farías

ha participado con un poster titulado

*Uso de dispositivos en un modelo bioinformático para la atracción de
Macroductylus mexicanus (Coleoptera: Melolonthidae)*

en el

**I Simposio de Estudiantes
Hispanohablantes de Bioinformática
y Biología Computacional**

que tuvo lugar el 2 y 3 de junio de 2022.

Carla Luciana

Padilla Franzotti

Co-directora (RSG-Argentina)

Sara Monzón Fernández

Co-directora (RSG-España)

Regional Student Group (RSG) RSG Argentina; RSG Chile; RSG Colombia; RSG Costa Rica; RSG Ecuador; RSG España; RSG México; RSG Perú; RSG Venezuela - International Society for Computational Biology (ISCB)

