

---

## USO DE FEROMONAS SEXUALES PARA EL CONOCIMIENTO Y MANEJO DE LOS 'ENSAMBLES GALLINA CIEGA' EN MÉXICO

---

Angel Alonso Romero-López

### RESUMEN

Numerosas especies de 'melolántidos' (Coleoptera: Scarabaeoidea: Melolonthidae) son consideradas, en determinadas condiciones, como plagas agrícolas, sobre todo en su etapa larvaria ('gallinas ciegas'). La actividad de estas larvas puede provocar pérdidas en la producción agrícola en Latinoamérica y los daños pocas veces se han asociado con especies claramente identificadas, ya que históricamente se han atribuido a grupos de especies denominados 'complejos' o 'ensambles gallina ciega' (EGC). Para su control se ha recurrido a diferentes métodos, aunque a la fecha no se ha encontrado una solución

consistente. El estudio de la ecología química de los melolántidos se ha incrementado en años recientes a nivel mundial, principalmente por los beneficios obtenidos en el área agrícola con el uso de feromonas sexuales como herramientas de control y manejo. En la presente revisión se propone el uso del término EGC y se discuten las perspectivas para emplear estas sustancias como parte de una estrategia durante el monitoreo y manejo de especies de México. Asimismo, se analiza el potencial de las feromonas sexuales como elementos con valor taxonómico y filogenético.

### Introducción

Durante las dos últimas décadas se ha puesto un mayor énfasis en la determinación de los patrones de comportamiento de los insectos y de las sustancias químicas asociadas a éstos (Renou y Guerrero, 2000). El uso de atrayentes sintéticos para el control de insectos plaga, como es el caso de las feromonas sexuales, ha brindado resultados prometedores y se

vislumbra también como una alternativa atractiva en el marco de una agricultura sustentable (Villalobos, 2003). La mayor parte de los reportes publicados se han concentrado en feromonas de lepidópteros, aunque en fechas recientes el interés se ha extendido hacia otros grupos de insectos, como los coleópteros Melolonthidae (Leal, 1998; Romero-López *et al.*, 2005a). Para este grupo se han identificado y utilizado las

feromonas sexuales de algunas especies (Romero-López *et al.*, 2005a), sobre todo de los géneros *Paranomala* (Leal, 1998), *Melolontha* (Ruther *et al.*, 2002b) y *Phyllophaga* (Robbins *et al.*, 2006), con resultados alentadores en lo que a captura y monitoreo de poblaciones se refiere. Los estudios de este tipo para 'melolántidos' distribuidos en México se restringen a algunas especies de los llamados 'ensambles

gallina ciega' (EGC), sobre los cuales hay un interés particular por su papel ecológico, funcional e impacto en los cultivos agrícolas. A la fecha se cuenta con información sobre la comunicación química sexual, proceso conformado desde la producción de los atrayentes o feromonas sexuales en epitelios glandulares especializados hasta su captura en los quimiorreceptores antenales correspondientes (Rome-

---

### PALABRAS CLAVE / Atrayentes / Ecología Química / Manejo / Melolántidos / Taxonomía /

Recibido: 11/11/2010. Modificado: 23/05/2012. Aceptado: 26/05/2012.

Angel Alonso Romero-López.  
Biólogo, Universidad Nacional  
Autónoma de México (UNAM).  
Maestría y Doctorado, Centro

de Desarrollo de Productos  
Bióticos, Instituto Politécnico  
Nacional, México. Profesor-in-  
vestigador, Benemérita Univer-

sidad Autónoma de Puebla  
(BUAP), México. Dirección:  
Escuela de Biología, BUAP.  
Col. Jardines de San Manuel,

Código postal 72570, Puebla,  
México. e-mail: aaromelo@  
gmail.com

## THE USE OF SEX PHEROMONES FOR THE KNOWLEDGE AND MANAGEMENT OF 'WHITE GRUB GUILDS' IN MEXICO

Angel Alonso Romero-López

### SUMMARY

Many species of 'melolonthids' (Coleoptera: Scarabaeoidea: Melolonthidae) are considered, in certain conditions, as agricultural pests, because in their larval stages ('white grubs') they cause damage to a wide range of crops in Latin America. The importance of each species of melolonthid has not been fully defined because, historically, such damages had been attributed to the so called 'white grub complex' (WGC) or 'white grub guilds' (WGG). Several methods for the control of WGG have been used, although a consistent solution has not achieved since

knowledge of their biology, ecology and behavior is limited. World-wide interest in the chemical ecology of these insects has increased in recent years, mainly due to the benefits obtained in the agricultural area with the use of sex pheromones for pest management. In the present revision, the use of the term WGG and the perspective to use sex pheromones for the monitoring and management of Mexican species are discussed. Also, the potential of sex pheromones as taxonomical and phylogenetic tools in the study of this group is analyzed.

## USO DE FEROMONAS SEXUAIS PARA O CONHECIMENTO MANEJO DOS 'ENSEMBLES PÃO DE GALINHA' NO MÉXICO

Angel Alonso Romero-López

### RESUMO

Numerosas espécies de 'melolonthidae' (Coleoptera: Scarabaeoidea: Melolonthidae) são consideradas, em determinadas condições, como pragas agrícolas, sobretudo em sua etapa larval ('pão de galinha'). A atividade destas larvas pode provocar perdas na produção agrícola na América Latina e os danos poucas vezes têm sido associados com espécies claramente identificadas, já que historicamente se tem atribuído a grupos de espécies denominadas 'complexas' ou 'ensembles pão de galinha' (EGC). Para seu controle se tem recorrido a diferentes métodos, ainda que até esta data não tenha sido encontrada uma

solução consistente. O estudo da ecologia química dos melolonthidae se tem incrementado em anos recentes a nível mundial, principalmente pelos benefícios obtidos na área agrícola com o uso de feromonas sexuais como ferramentas de controle e manejo. Na presente revisão se propõe o uso do termo EGC e se discutem as perspectivas para empregar estas substâncias como parte de uma estratégia durante o acompanhamento e manejo de espécies de México. Da mesma forma, se analisa o potencial das feromonas sexuais como elementos com valor taxonômico e filogenético.

ro-López *et al.*, 2010a), de algunas especies de los géneros *Phyllophaga* (Romero-López *et al.*, 2004, 2009) y *Macrodactylus* (Romero-López *et al.*, datos no publicados).

Existen limitantes para un avance consistente en esta línea de investigación, como lo son el escaso interés en el tema y la poca formación de especialistas en el área. El objetivo de este ensayo es discutir acerca de esta situación y proponer algunas alternativas para despertar el interés de estudiantes y profesionales en el área. Asimismo, se propone el estudio de las feromonas sexuales de las especies que integran los EGC de México, tanto para la obtención de un mayor conocimiento de la ecología química y biosistemática del grupo como para considerar la inclusión de estas sustancias en un programa de manejo de plagas.

### Generalidades de los Melolontidos

Los integrantes de este grupo presentan un ciclo biológico variable en su duración y en el tiempo que transcurre entre una generación y otra (Ritcher, 1958). El ciclo completo (huevo, larva, pupa y adulto) puede variar de seis meses a varios años (Ritcher, 1958; Morón *et al.*, 1997, 2010). Como larvas ('gallinas ciegas') se desarrollan en el suelo o dentro de troncos en proceso de descomposición, alimentándose de raíces vivas y en proceso de descomposición, tejidos xilosos, hojarasca, humus (Morón *et al.*, 1997, 2010), composta y pilas de estiércol (Ramírez-Salinas y Castro-Ramírez, 2000), así como detritus de la hormiga *Atta mexicana* Smith (Navarrete-Heredia, 2001). Se ha reportado también que larvas del melolontido *Costelytra*

*zealandica* White, especie con actividad rizofágica evidente, pueden ingerir lombrices en pastizales introducidos de Nueva Zelanda y completar su ciclo de vida durante dos generaciones en suelos enriquecidos con estiércol ovino y desprovistos de raíces vivas (Villalobos, 1994). Por otro lado, los adultos pueden alimentarse con los tejidos vegetales vivos, ya sea hojas, tallos, flores y frutos, además de consumir los tejidos fibrosos presentes en los tallos de palmeras y gramíneas (Morón, 2004).

La actividad de la 'gallina ciega' en el suelo se asocia generalmente con daños a las raíces de diversas plantas cultivadas. Algunas especies se consideran como plagas agrícolas y pueden provocar pérdidas estimadas entre el 30 y 40% de la producción de grano de maíz por unidad de superficie en zonas agrícolas

mexicanas (Castro-Ramírez *et al.*, 2006; Aragón *et al.*, 2008; Morón y Rodríguez del Bosque, 2010). En Latinoamérica, las pérdidas anuales en el cultivo de maíz se pueden estimar en 135×10<sup>6</sup> USD asumiendo el daño conservador de 15% reportado por Arguello *et al.* (1999). Éstos y otros daños son atribuidos principalmente a especies del género *Phyllophaga*, de las cuales se estima que por lo menos 20 de ellas son las responsables de daños de intensidad variable en cerca de 18 cultivos básicos, industriales o de exportación y con frecuencia se carece de una identificación precisa de la especie a la que pertenecen sus larvas (Morón, 2003). Las grandes poblaciones de adultos también pueden constituir plagas importantes en cultivos de frutales, forrajeros y ornamentales (Morón *et al.*, 1996).

## ¿Complejos o Ensamblajes Gallina Ciega?

Para hacer referencia a las especies de melolóntidos con importancia agrícola, desde hace algunos años se les conoce como 'complejos gallina ciega', los cuales agrupan individuos inmaduros de géneros diferentes (Morón, 1993). Se considera que el complejo asociado a los cultivos está integrado en México por casi 600 especies incluidas en 12 géneros, entre los que destacan *Phyllophaga* y *Paranomala* (= *Anomala*) (Coleoptera: Melolonthidae; Morón, 1993; Ramírez-Ponce y Morón, 2009). El género *Phyllophaga* cuenta con 369 especies agrupadas en los subgéneros *Chlaenobia*, *Chirodines*, *Phytalus*, *Phyllophaga*, *Tostegoptera*, *Eugastra*, *Triodonyx* y *Listrochelus* (Morón, 2003). El uso del término 'complejo gallina ciega' se mantiene a la fecha, aunque algunos especialistas en este grupo de insectos han planteado la necesidad de restringirlo a cuestiones de taxonomía. De acuerdo a Miguel Ángel Morón (comunicación personal), cuando se habla de un 'complejo gallina ciega' se hace referencia a un aspecto taxonómico en particular, en donde se tiene un grupo de morfoespecies de una localidad aún no determinadas o para las cuales se tienen problemas con su identificación. Por ello, se ha propuesto la inclusión del término 'ensamble gallina ciega' (EGC), con el cual se centra la atención en un grupo de especies (previamente identificadas) que coexisten en tiempo y espacio, resaltando tanto su papel ecológico-funcional como su impacto en los cultivos agrícolas y/o en comunidades silvestres. Cabe señalar que desde el punto de vista biológico, el uso de la palabra 'ensamble' es apropiado. Un ensamble en biología es un conjunto de especies que coexisten dentro de los mismos límites de espacio y tiempo, con énfasis en la coexistencia (Halfiter y Moreno, 2005). Los ensambles locales pueden verse como conjuntos de especies cuya área de

distribución geográfica coincide en un punto (Arita y Rodríguez, 2004). Otra aproximación que respalda este enfoque es la propuesta por Fauth *et al.* (1996).

De acuerdo a lo anterior, el enfoque de los EGC resulta conveniente cuando se persiguen objetivos más allá del inventario entomofaunístico o del interés en aspectos relacionados con la sistemática del grupo. En el contexto de la comunicación química sexual de los melolóntidos (Romero-López *et al.*, 2010a), la visión de EGC encaja adecuadamente al momento de estudiar las sustancias químicas involucradas en las interacciones ecológicas de estos insectos, tanto para la obtención de conocimiento básico como para la búsqueda de estrategias de manejo. Así, en el presente ensayo se pone a consideración de la comunidad científica el empleo del término EGC, en un intento de ofrecer una visión más completa sobre el papel que desempeñan los melolóntidos en la naturaleza.

### EGC de México y las Feromonas Sexuales

La ecología química estudia las relaciones ecológicas entre dos o más organismos y las sustancias químicas involucradas en las interacciones intra e interespecíficas (Ruther *et al.*, 2002a). Entre dichas sustancias que provocan reacciones fisiológicas o de comportamiento en los individuos interactuantes están las denominadas como feromonas, las cuales son secretadas y liberadas al ambiente por un individuo y causan una reacción específica en otros miembros de la misma especie (Karlson y Butenandt, 1959). Para los fines del presente escrito la atención se enfocará en las feromonas sexuales, que son sustancias emitidas por individuos de un sexo que atraen a miembros del sexo opuesto, lo que resulta en la localización del emisor y posteriormente, en el apareamiento (Ward *et al.*, 2002).

Con los avances de las técnicas de análisis químicos, par-

ticularmente en cromatografía y espectrometría, los métodos de detección han alcanzado niveles altos de sensibilidad y resolución y no se requiere de coleccionar o cultivar cientos de insectos (Golub y Weatherston, 1984). En especial, destaca la cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG-EM), la cual es considerada una de las técnicas más poderosas y efectivas para la identificación de feromonas de insectos (Leal, 1998; Arakaki *et al.*, 2009). Su efectividad se ha potenciado con los análisis simultáneos por CG acoplado a un detector electroantegráfico (Robbins *et al.*, 2009) y a la realización de bioensayos de comportamiento, como las pruebas de electroantenografía, en túnel de viento y olfatómetro (Romero-López *et al.*, 2005b).

La identificación y posterior síntesis de los compuestos que constituyen las feromonas sexuales han permitido el diseño de trampas para la detección y monitoreo de poblaciones de insectos, así como para la alteración de su apareamiento. Estas sustancias son altamente específicas y su uso para el control de insectos generalmente no interfiere con otras interacciones biológicas dentro de un sistema de cultivo (Thomson *et al.*, 2000). Como en la mayoría de los casos son los machos los que responden a feromonas sexuales producidas por las hembras, entonces se diseñan trampas atrayentes que reproducen de manera muy cercana la proporción de componentes químicos y tasa de emisión de las hembras atrayentes (Flint y Doane, 1996). Debido a estas particularidades, las feromonas sexuales han sido contempladas para su uso en programas de manejo de plagas y, junto con otros métodos de control, ha permitido abordar las problemáticas agrícolas desde un enfoque multidimensional e integral (Enkerlin *et al.*, 1997).

En las décadas recientes, las investigaciones sobre la ecología química de los melolóntidos se han enfocado en la identificación de las feromonas

sexuales de algunas especies. Actualmente se cuenta con un respaldo bibliográfico importante, desde los trabajos pioneros con trampas para la captura de adultos de *Costelytra zealandica* White (Henzell, 1970; Henzell y Lauren, 1976) y *Popillia japonica* Newman (Klein *et al.*, 1973; Klostermeyer, 1985) hasta pruebas más recientes con diversas especies de *Paranomala*, *Melolontha* y *Phyllophaga* (Leal, 1998; Ruther *et al.*, 2002b; Romero-López, *et al.*, 2005a; Robbins *et al.*, 2006). Como se mencionó, en varias especies de melolóntidos se ha encontrado un esquema de comunicación química sexual centrado principalmente en la liberación de sustancias químicas por parte de las hembras, detonándose así la atracción de los machos y el apareamiento (Romero-López *et al.*, 2010a). Se ha logrado la identificación de atrayentes sexuales (principalmente el butilhidroxianisol) en las hembras de *Phyllophaga obsoleta* Blanchard, lo cual representa el primer registro de este tipo, en donde se han realizado pruebas de actividad biológica en laboratorio y campo (Romero-López y Arzuffi, 2010). Los estudios en esta línea de investigación han continuado con otras especies integrantes de EGC, tres del género *Phyllophaga* y dos del género *Macrodactylus*. En una primera fase de análisis por CG-EM se han detectado compuestos atrayentes en hembras de *Phyllophaga opaca* Moser, *P. ravidata* Blanchard, *Macrodactylus mexicanus* Bates y *M. nigripes* Bates (Romero-López *et al.*, datos no publicados). Este avance debe complementarse todavía con nuevos análisis de cromatografía y los bioensayos de confirmación biológica correspondientes. En paralelo, se ha logrado profundizar en otros aspectos de la comunicación química sexual de estas especies, tomando como referencia la información obtenida para *P. obsoleta* (Romero-López *et al.*, 2004, 2009; Romero-López y Arzuffi, 2010).

En el caso de *P. opaca* se ha estudiado la anatomía del

aparato reproductor de las hembras y se han obtenido datos sobre su comportamiento precopulatorio y los sitios donde podría estar produciéndose su feromona sexual (Romero-López *et al.*, 2010b). Para *P. ravidus* se ha logrado avanzar en torno a su comportamiento precopulatorio (Romero-López *et al.*, 2007) y en la morfología de los tipos de receptores sensoriales que se encuentran en las antenas de hembras y machos (Romero-López *et al.*, datos no publicados). Con respecto a *M. mexicanus* y *M. nigripes*, se ha encontrado un esquema de comunicación química sexual basado en feromonas sexuales, situación no reportada previamente para el género *Macroductylus* (Romero-López *et al.*, datos no publicados).

### Discusión y Perspectivas

Para el monitoreo de poblaciones de insectos existen compuestos químicos naturales y sintéticos que pueden ser feromonas sexuales, feromonas de agregación o atrayentes alimentarios; también se utiliza el color en modelos de diferentes formas y texturas como atrayentes visuales, que permiten la captura de los individuos atraídos (Fukaya *et al.*, 2004). En el caso de las feromonas sexuales, su utilidad principal 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). Sin embargo, existen diversos obstáculos técnicos que impiden un mayor desarrollo y una total aceptación de las feromonas en un programa de manejo: a) los altos costos de su procesamiento (aislamiento e identificación), b) dificultades para su aplicación en campo, c) la necesidad de controlar varias especies plaga (Thomson *et al.*, 2000), d) los factores bióticos y abióticos que pueden

influir en su emisión y recepción (McNeil, 1991), y e) su registro ante las autoridades competentes. Se hace obligatorio un buen diseño de trampas, el cual debe considerar tamaño, el dispositivo de liberación (fibras, microcápsulas, cuerdas, láminas), su ubicación, el número y distribución en el área de estudio y qué tipo de cebo se utilizará (Jutsum y Gordon, 1989; Flint y Doane, 1996). Todo ello depende directamente de las características generales del insecto que se necesita capturar y, de igual forma, de las condiciones ambientales (temperatura, humedad, velocidad del viento, intensidad de la luz) que prevalecen en la zona de trapeo (McNeil, 1991). En el momento en que se cuente con esta información básica, debe iniciarse un análisis socioeconómico con la finalidad de evaluar los aspectos de costo-beneficio de todo el proceso y, en consecuencia, para una adecuada toma de decisiones al momento de establecer un sistema de trapeo basado en feromonas sexuales. Se involucran todos los factores antes mencionados, con lo cual se tendrá una visión global del problema, conociendo más sobre el insecto, el cultivo, las condiciones del entorno y la composición química de la feromona.

Para el uso de feromonas sexuales de los melolontidos, a pesar del impacto que tienen estos insectos en la agricultura de México y de los contra-productos efectos provocados por el uso de agroquímicos para su control, no se ha valorado adecuadamente su empleo como una alternativa viable de manejo. Además de esta escasa valoración y de los inconvenientes técnicos mencionados, se pueden encontrar otro tipo de limitantes para su aceptación. En principio, se tienen las dificultades propias de la biología, hábitos y comportamiento de los melolontidos, como son sus ciclos biológicos (ciclos largos en la mayor parte de las especies mexicanas, con lo que se complica la obtención de hem-

bras vírgenes para la extracción de las feromonas sexuales), así como la dificultad para establecer crías en laboratorio y realizar observaciones *in vivo* de su actividad sexual. Del mismo modo, la infraestructura y equipamiento disponibles para el estudio de la ecología química de este grupo de coleópteros en México aún son incipientes y eso impide el trabajar con dos o más especies de manera simultánea. Por si fuera poco, el número de especialistas mexicanos y el apoyo por parte de las organizaciones gubernamentales y académicas es limitado. En consecuencia, se ha dificultado la formación de recursos humanos interesados en el área. A pesar de ello, se espera que los esfuerzos actuales incidan a mediano plazo en un cambio de la visión que se tiene sobre la ecología química. Se plantea promover la inclusión de esta área de estudio en programas básicos del conocimiento de las ciencias naturales, desde los niveles educativos medio-superiores. A partir de este acercamiento temprano a cuestiones químico-ecológicas, podría revertirse la situación actual en lo que a formación de recursos humanos se refiere, con un crecimiento paulatino de grupos especializados mejor preparados y equipados. En estas nuevas circunstancias, eventualmente podría darse continuidad al estudio de la ecología química de los integrantes de los EGC en México, intentando así el establecimiento de parámetros taxonómicos y filogenéticos del grupo, basados en el conocimiento de los diferentes elementos de comunicación química sexual de cada especie o de cada EGC.

En esta cuestión taxonómica, de manera general, se han obtenido evidencias que permiten complementar la información sobre la clasificación tradicional basada en caracteres morfológicos de los melolontidos. Al conocer la estructura química de las feromonas sexuales, pueden encontrarse consistencias en su composi-

ción química, incluso a nivel de subfamilias, como es el caso de los Rutelinae, para los cuales prevalecen los derivados de ácidos grasos y algunos alcaloides o de los Melolonthinae, donde predominan los derivados de aminoácidos y fenoles (Leal, 1998; Zarbin *et al.*, 2007). De igual forma, al comparar los diferentes sitios productores de las sustancias atrayentes se sabe que algunas hembras las producen en células epiteliales asociadas a la cutícula (Tada y Leal, 1997) y otras en un epitelio glandular especializado (Kim y Leal, 1999) o por la actividad de microorganismos simbióticos (Hoyt *et al.*, 1971). Al analizar cada variante de producción-liberación, la variante 'epitelial cuticular' es característica de los rutelinos y las otras dos son propias de los melolontinos, lo cual también coincide con la clasificación tradicional. La excepción a la regla es *Heptophylla picea* Motschulsky, especie ubicada originalmente en la subfamilia Melolonthinae pero que produce su feromona sexual como un rutelino (Tada y Leal, 1997); con esta situación iniciaron los cuestionamientos hacia la forma original de clasificar y surgió la propuesta de considerar los aspectos de ecología química ya mencionados. También el hecho de que los machos sean los receptores de los atrayentes y feromonas sexuales (Morón, 1986, Leal, 1998; Romero-López *et al.*, 2005a) y que esto coincida con un mayor número y diversidad de sensilas con respecto a las lamelas de hembras, permite pensar que este carácter morfológico podría brindar información importante desde el punto de vista taxonómico, como han propuesto Ahrens y Vogler (2008) para melolontidos de distintas regiones del mundo. De igual forma, Morón (1986) y Romero-López *et al.* (2004, 2010a) han sentado las bases para considerarlo así en especies distribuidas en México. Esta idea ha sido retomada recientemente en otras especies, como algunos integran-

tes de hoplinos (Carrillo-Ruiz y Morón, 2006; Romero-López *et al.*, datos no publicados), con una mayor profundidad en cuestiones filogenéticas, a la par de otros caracteres morfológicos.

Es probable que al conocer aquellos aspectos de la producción y liberación de las feromonas sexuales, los sitios de recepción de éstas, así como los principales patrones de comportamiento sexual, se adquieran más y mejores herramientas que aclaren las dudas que aún surgen al tratar de clasificar a los melolontidos y sobre aspectos evolutivos del grupo.

Asimismo, se podría aprovechar el aporte práctico de las feromonas sexuales, comenzando a establecer estrategias de manejo específicas y multiespecíficas. Por un lado y como se ha mencionado, se pretende el uso de estas sustancias químicas como estímulos únicos en trampas específicas para melolontidos (monitoreo y/o capturas de una sola especie). Por otro lado, se sabe también del empleo de trampas compuestas de una mezcla de feromonas sexuales y volátiles de las plantas hospederas de diversas especies, sobre todo del género *Melolontha* (Reinecke *et al.*, 2006), así como 'trampas multiespecíficas' basadas en las feromonas sexuales de una especie (*Phyllophaga anxia* LeConte), para la captura de adultos de varias especies de *Phyllophaga* (Robbins *et al.*, 2006). Estos reportes de mezclas feromona-volátiles corresponden principalmente a especies de Europa como *Melolontha melolontha* Fabricius (Ruther *et al.*, 2002c), *Holotrichia loochooana loochooana* Sawada de Japón (Yasui *et al.*, 2007) y *Phyllophaga japonica* de Estados Unidos (Loughrin *et al.*, 1995).

En México se ha pensado en establecer una estrategia similar, aunque el asunto aún está en etapa de planeación y desarrollo. En paralelo al conocimiento de la comunicación química sexual de cada especie, cabe proponer un pro-

grama de manejo conformado por tres fases principales: a) una primera etapa de monitoreo de poblaciones de especies dañinas, con capturas de alta especificidad, preferentemente de machos (uso exclusivo de feromonas sexuales); b) reducción de poblaciones de especies dañinas, con capturas masivas de alta especificidad, de ambos sexos (uso de mezclas de feromonas sexuales con volátiles de plantas) y c) fase de muestreo multiespecífico prospectivo, con la captura de varias especies plaga confirmadas o especies rizófagas o facultativas potencialmente dañinas (uso de feromonas sexuales y/o volátiles de plantas). La idea es aprovechar el conocimiento que se ha adquirido en años recientes en este sentido y aplicarlo en el manejo de los EGC presentes en el país. De manera complementaria y de acuerdo con las condiciones locales, también habrá que pensar en el uso de feromonas sexuales en combinación con atrayentes alimentarios (Arredondo-Bernal *et al.*, 1995; Camino-Lavín *et al.*, 1996), así como otro tipo de estímulos, tales como los visuales (Falach y Shani, 2000; Fukaya *et al.*, 2004).

En conjunto, todo lo anterior permitiría pensar en un programa de manejo para EGC de México con base en los fundamentos del manejo integrado de plagas (Enkerlin *et al.*, 1997; Foster y Harris, 1997; Kogan, 1998) o de otros programas de manejo que igualmente contemplen el uso de feromonas sexuales, aunque desde enfoques diferentes (Leal, 1999; Villalobos, 2003).

#### AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a Miguel Angel Morón por la revisión del manuscrito, y al INECOL Xalapa por el apoyo con una beca posdoctoral en el período 2008-2010.

#### REFERENCIAS

Ahrens D, Vogler AP (2008) Towards the phylogeny of chafers (Sericini): analysis of align-

ment-variable sequences and the evolution of segment numbers in the antennal club. *Mol. Phylog. Evol.* 47: 783-798.

Aragón GA, Nochebuena-Trujillo CD, Morón MA, López-Olguín JF (2008) Uso de trampas de luz fluorescente para el manejo de la gallina ciega (Coleoptera: Melolonthidae) en maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia* 42: 217-223.

Arakaki N, Shimoji Y, Wakamura S (2009) Camphor: An attractant for the cupreous polished chafer, *Protaetia pryeri pryeri* (Janson) (Coleoptera: Scarabaeidae). *Appl. Entomol. Zool.* 44: 621-625.

Arita HT, Rodríguez P (2004) Local-regional relationships and the geographical distribution of species. *Global Ecol. Biogeogr.* 13: 15-21.

Arguello H, Cáceres O, Morón MA (1999) *Guía Ilustrada para Identificación de Especies de Gallina Ciega* (Phyllophaga spp.) Presentes en las Principales Zonas Agrícolas de Nicaragua. PROMIPAC-Nicaragua, Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras. 18 pp.

Arredondo-Bernal HC, Cibrián-Tovar J, Williams RN (1995) Responses of *Macroductylus* spp. (Coleoptera: Scarabaeidae) and other insects to food attractant in Tlaxcala and Jalisco, México. *Fl. Entomol.* 78: 56-61.

Camino-Lavín MA, Jiménez-Pérez A, Castrejón-Gómez V, Castrejón-Ayala F, Figueroa-Brito R (1996) Comportamiento de una nueva trampa para escarabajos melolontidos, destructores de raíces. *Southwest. Entomol.* 21: 325-330.

Carrillo-Ruiz H, Morón MA (2006) Study on the phylogenetic relationships of the Hopliids (Coleoptera: Scarabaeoidea). *Proc. Entomol. Soc. Wash.* 108: 619-638.

Castro-Ramírez AE, Perales-Rivera HR, Parra-Tabla V (2006) Propuesta metodológica para la evaluación del daño ocasionado por "gallina ciega" (Coleoptera) al maíz (*Zea mays* L.). En Castro-Ramírez AE, Morón MA, Aragón A (Eds.) *Diversidad, Importancia y Manejo de Escarabajos Edafícolas*. ECO-SUR, Fundación PRODUCE Chiapas, BUAP. Puebla, México. pp. 163-180.

Enkerlin EC, Garza-Cuevas RA, Macías-Caballero C (1997) Herramientas y alternativas para la sostenibilidad de los recursos naturales. En Enkerlin EC, Cano-Cano G, Garza-Cuevas RA, Vogel E (Eds.) *Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible*. International Thomson. México. pp. 351-355.

Falach L, Shani A (2000) Trapping efficiency and sex ratio of *Maladera matrida* beetles in yellow and black traps. *J. Chem. Ecol.* 26: 2619-2624.

Fauth JE, Bernardo J, Camara M, Resetarits WJ, Van Buskirk J, McCollum SA (1996) Simplifying the jargon of community ecology: a conceptual approach. *Am. Nat.* 174: 282-286.

Flint HM, Doane CC (1996) *Comprensión de los Semioquímicos con Énfasis en Feromonas Sexuales de los Insectos en Programas de Manejo Integrado de Plagas*. National IPM Network-CICP, University of Minnesota. USDA-ARS-WCRL. <http://ipmworld.umn.edu/cancelado/Spchapters/FlintSP.htm>

Foster SP, Harris MO (1997) Behavioral manipulation methods for insect pest-management. *Annu. Rev. Entomol.* 42: 123-146.

Fukaya M, Arakaki N, Yasui H, Wakamura S (2004) Effect of color on male orientation to female pheromone in the black chafer *Holotrichia loochooana loochooana*. *Chemoeology* 14: 25-28.

Golub MA, Weatherston I (1984) Techniques for extracting and collecting sex pheromones from live insects and from artificial sources. En Hummel HE, Miller TE (Eds.) *Techniques in Pheromone Research*. Springer. Nueva York, EEUU. pp. 223-285.

Halffter G, Moreno CE (2005) Significado biológico de las diversidades alfa, beta y gamma. En Halffter G, Soberón J, Koleff P, Melic A (Eds.) *Sobre Diversidad Biológica: El Significado de las Diversidades Alfa, Beta y Gamma*. Vol. 4. CONABIO, SEA, Grupo Diversitas, CONACYT. Monografías Tercer Milenio. Zaragoza, España. pp. 5-18.

Henzell RF (1970) Phenol, an attractant for the males grass grub beetle (*Costelytra zealandica* (White) (Scarabaeidae: Coleoptera)). *N. Z. J. Agric. Res.* 13: 294-296.

Henzell RF, Lauren DR (1976) Use of sex attractant traps to estimate the development stage of grass grub, *Costelytra zealandica* (White) (Coleoptera: Scarabaeidae), in the soil. *N.Z. J. Agric. Res.* 20: 75-78.

Hoyt CP, Osborne GO, Mulcock AP (1971) Production of an insect sex attractant by symbiotic bacteria. *Nature* 230: 472-473.

Jutsum AR, Gordon FS (1989) Introduction. Pheromones: Importance to insects and role in pest management. En Jutsum AR, Gordon FS (Eds.) *Insect Pheromones in Plant Protection*. Wiley. Nueva York, EEUU. pp. 1-13.

- Karlson P, Butenandt A (1959) Pheromones (Ectohormones) in insects. *Annu. Rev. Entomol.* 4: 39-58.
- Kim JY, Leal WS (1999) Eversible pheromone gland in a melonlonthine beetle, *Holotrichia parallela*. *J. Chem. Ecol.* 25: 825-833.
- Klein MG, Lawrence KO, Ladd TL Jr (1973) A modified trap for the Japanese beetle. *J. Econ. Entomol.* 66: 275-276.
- Klostermeyer LE (1985) Japanese beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) traps: comparison of commercial and homemade traps. *J. Econ. Entomol.* 78: 454-459.
- Kogan M (1998) Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. *Annu. Rev. Entomol.* 43: 243-270.
- Leal WS (1998) Chemical ecology of phytophagous scarab beetles. *Annu. Rev. Entomol.* 43: 39-61.
- Leal WS (1999) Scarab beetles. En Hardie J, Minks AK (Eds.) *Pheromones of Non-Lepidopteran Insects Associated with Agricultural Plants*. CABI. Wallingford, RU. pp: 51-68.
- Loughrin JH, Potter DA, Hamilton-Kemp TR (1995) Volatile compounds induced by herbivory act as aggregation kairomones for the Japanese beetle (*Popillia japonica* Newman). *J. Chem. Ecol.* 21: 1457-1467.
- McNeil JN (1991) Behavioral ecology of pheromone-mediated communication in moths and its importance in the use of pheromone traps. *Annu. Rev. Entomol.* 36: 407-430.
- Morón MA (1986) *El género Phyllophaga en México (Insecta: Coleoptera). Morfología, Distribución y Sistemática Supra-específica*. Publicación N° 20. Instituto de Ecología, México. 342 pp.
- Morón MA (1993) Las especies de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae) del Estado de Veracruz, México. En Morón MA (Comp.) *Diversidad y Manejo de Plagas Subterráneas*. Sociedad Mexicana de Entomología e Instituto de Ecología. Xalapa, México. pp. 55-82.
- Morón MA (2003) Diversidad, distribución e importancia de las especies de *Phyllophaga* Harris en México (Coleoptera: Melolonthidae) En Aragón A, Morón MA, Marín-Jarillo A (Eds.) *Estudios sobre Coleópteros del Suelo en América*. BUAP. Puebla, México. pp. 1-27.
- Morón MA (2004) Revision of the cavata group of *Phyllophaga* (*Listrochelus*) Blanchard (Coleoptera: Melolonthidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 97: 77-96.
- Morón MA, Rodríguez del Bosque LA (2010) Importancia, historia y retos. En Rodríguez del Bosque LA, Morón MA (Eds.) *Plagas del Suelo*. 1ª ed. Mundi Prensa. México. pp. 3-17.
- Morón MA, Hernández-Rodríguez S, Ramírez-Campos A (1996) El complejo gallina ciega (Coleoptera: Melolonthidae) asociado con la caña de azúcar en Nayarit, México. *Fol. Entomol. Mex.* 98: 1-44.
- Morón MA, Ratcliffe BC, Deloya C (1997) *Atlas de los Escarabajos de México. Coleoptera: Lamellicornia. Vol. 1. Familia Melolonthidae. Rutelinae, Dynastinae, Cetoniinae, Trichiinae, Valginae y Melolonthinae*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Sociedad Mexicana de Entomología. Xalapa, México. 270 pp.
- Morón MA, Rodríguez del Bosque LA, Aragón A, Ramírez-Salinas C (2010) Biología y hábitos de coleópteros escarabaeoideos. En Rodríguez del Bosque LA, Morón MA (Eds.) *Plagas del Suelo*. 1ª ed. Mundi Prensa. México. pp. 65-82.
- Navarrete-Heredia JL (2001) Beetles associated with *Atta* and *Acromyrmex* ants (Hymenoptera: Formicidae: Attini). *Trans. Am. Entomol. Soc.* 127: 381-429.
- Ramírez-Ponce A, Morón MA (2009) Relaciones filogenéticas del género *Anomala* (Coleoptera: Melolonthidae: Rutelinae). *Rev. Mex. Biodiv.* 80: 357-394.
- Ramírez-Salinas C, Castro-Ramírez AE (2000) El complejo "gallina ciega" (Coleoptera: Melolonthidae) en el cultivo de maíz, en El Madronal, municipio de Amatepec del Valle, Chiapas, México. *Acta Zool. Mex.* 79: 17-41.
- Renou M, Guerrero A (2000) Insect paraperomone in olfaction research and semiochemical-based pest control strategies. *Annu. Rev. Entomol.* 45: 605-630.
- Richter PO (1958) Biology of Scarabaeidae. *Annu. Rev. Entomol.* 3: 311-334.
- Reinecke A, Ruther J, Mayer CJ, Hilker M (2006) Optimized trap lure for male *Melolontha* cockchafers. *J. Appl. Entomol.* 130: 171-176.
- Robbins PS, Alm SR, Armstrong CD, Averill AL, Baker TC, Bauernfiend RJ, Baxendale FP, Braman SK, Brandenburg RL, Cash DB, Couch GJ, Cowles RS, Crocker RL, DeLamar ZD, Dittl TG, Fitzpatrick SM, Flanders KL, Forgatsch T, Gibb TJ, Gill BD, Gilrein DO, Gorsuch CS, Hammond AM, Hastings PD, Held DW, Heller PR, Hiskes RT, Holliman JL, Hudson WG, Klein MG, Krischik VL, Lee DJ, Linn Jr. CE, Luce NJ, MacKenzie KE, Mannion CM, Polavarapu S, Potter DA, Roelofs WL, Royals BM, Salisbury GA, Schiff NM, Shetlar DJ, Skinner M, Sparks BL, Sutschek JA, Sutschek TP, Swier SR, Sylvia MM, Vickers NJ, Vittum PJ, Weidman RB, Weber DC, Williamson RC, Villani MG (2006) Trapping *Phyllophaga* spp. (Coleoptera: Scarabaeidae: Melolonthinae) with sex attractants in the United States and Canada. *J. Insect Sci.* 6: 1-124.
- Robbins PS, Nojima S, Polavarapu S, Koppenhöfer AM, Rodríguez-Saona C, Holdcraft RJ, Consolie NH, Peck DC, Roelofs WL (2009) Sex pheromone of the scarab beetle *Phyllophaga* (*Phytalus*) *georgiana* (Horn). *J. Chem. Ecol.* 35: 336-341.
- Romero-López AA, Arzuffi R (2010) Evidencias sobre la producción y liberación de compuestos bioactivos de la feromona sexual de un melolontido mexicano. En Rodríguez del Bosque LA y Morón MA (Eds.) *Ecología y Control de Plagas Edaficolas*. INECOL. Xalapa, México. pp. 204-222.
- Romero-López AA, Arzuffi R, Valdez J, Morón MA, Villalobos FJ, Castrejón-Gómez V (2004) Sensory organs in the antennae of *Phyllophaga obsoleta* Blanchard (Coleoptera: Melolonthidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 97: 1306-1312.
- Romero-López AA, Arzuffi R, Morón MA (2005a) Feromonas y atrayentes sexuales en los Coleoptera Melolonthidae de importancia agrícola. *Fol. Entomol. Mex.* 44: 233-245.
- Romero-López AA, Arzuffi R, Robledo N (2005b) Compuestos bioactivos contenidos dentro de la cámara genital eversible de *Phyllophaga obsoleta*. *Rev. Latinoam. Quím.* 33: 30-39.
- Romero-López AA, Aragón A, Arzuffi R (2007) Estudio comparativo del comportamiento sexual de cuatro especies de *Phyllophaga* (Coleoptera: Melolonthidae). En Estrada EG, Equihua A, Luna C, Rosas-Acevedo JL (Eds.) *Entomología Mexicana*. Vol. 6. Sociedad Mexicana de Entomología. México. pp. 275-281.
- Romero-López AA, Arzuffi R, Valdez J, Morón MA (2009) Morfología y protrusión-retracción de la cámara genital femenina de *Phyllophaga obsoleta* (Coleoptera: Melolonthidae). *Acta Zool. Mex.* 25: 315-321.
- Romero-López AA, Arzuffi R, Morón MA (2010a) Comunicación química sexual. En Rodríguez del Bosque LA, Morón MA (Eds.) *Plagas del Suelo*. 1ª ed. Mundi Prensa. México. pp. 83-96.
- Romero-López AA, Martínez I, Morón MA (2010b) Morphology of the genital chamber and accessory glands of *Phyllophaga opaca* Moser (Coleoptera: Scarabaeoidea: Melolonthidae) females. *World J. Zool.* 5: 210-216.
- Ruther J, Meiners T, Steidle JLM (2002a) Rich in phenomena - lacking in terms. A classification of kairomones. *Chemoecology* 12: 161-167.
- Ruther J, Reinecke A, Tolasch T, Hilker M (2002b) Phenol - Another cockchafer attractant shared by *Melolontha hippocastani* Fabr. and *M. melolontha* L. *Z. Naturforsch.* 57: 910-913.
- Ruther J, Reinecke A, Hilker M (2002c) 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. *Ecol. Entomol.* 27: 76-83.
- Tada S, Leal WS (1997) Localization and morphology of the sex pheromone glands in scarab beetles (Coleoptera: Rutelinae, Melolonthinae). *J. Chem. Ecol.* 23: 903-915.
- Thomson DR, Gut LJ, Jenkins JW (2000) Pheromones for insect control. Strategies and Successes. En Hall FR, Menn JJ (Eds.) *Methods in Biotechnology. Biopesticides: Use and Delivery*. Humana Press. Totowa, NJ, EEUU. pp. 385-412.
- Villalobos FJ (1994) The contribution of Melolonthid larvae to soil fertility. *Proc. 15th World Congr. Soil Science IVd*: 129-143.
- Villalobos FJ (2003) El manejo sustentable: un paradigma alternativo para lograr una solución pragmática al problema causado por la gallina ciega (Coleoptera: Scarabaeidae). En Tornero CM, López-Olguín JF y Aragón A (Eds.) *Agricultura, Ambiente y Desarrollo Sustentable*. BUAP. Puebla, México. pp. 183-207.
- Ward A, Moore C, Anitha V, Wightman J, Rogers DJ (2002) Identification of the sex pheromone of *Holotrichia reynaudi*. *J. Chem. Ecol.* 28: 515-522.
- Yasui H, Fukaya M, Wakamura S, Akino T, Yasuda T, Kobayashi A, Arakaki N (2007) Aggregation of the black chafer *Holotrichia loochooana loochooana* (Sawada) (Coleoptera: Scarabaeidae): Function of female pheromone and possible adaptive significance. *Appl. Entomol. Zool.* 42: 507-515.
- Zarbin PHG, Leal WS, Ávila CJ, Oliveira LJ (2007) Identification of the sex pheromone of *Phyllophaga cuyabana* (Coleoptera: Melolonthidae). *Tetrahedron Lett.* 48: 1991-1992.