

El lenguaje químico de los insectos

Julio C. **Rojas**

Los insectos son los animales más diversos y abundantes del planeta Tierra; de acuerdo con la Royal Entomological Society del Reino Unido hay un millón de especies descritas, pero se estima que puede haber algo así como 10 millones de especies que esperan ser identificadas (<https://www.royensoc.co.uk/understanding-insects/facts-and-figures/>). Esta misma sociedad científica estima que hay 1.4 billones de insectos por cada persona y que el peso total de los insectos es 70 veces mayor que el de todos los humanos. Así, la importancia de los insectos en los ecosistemas terrestres es enorme. Los insectos son polinizadores, degradadores de materia orgánica, depredadores o alimento de otros animales, entre muchas funciones dentro de los ecosistemas naturales. Ciertamente, hay un número muy reducido de insectos (< 1 %) que dañan cultivos agrícolas y productos almacenados o son vectores de enfermedades de plantas, animales y humanos (Jankielsohn, 2018).

Varios factores han influido para que los insectos sean tan exitosos, destacando su ciclo de vida corto, su tamaño reducido, su capacidad de colonizar diferentes hábitats del planeta y tener una comunicación extraordinariamente eficiente.

Los insectos se comunican entre ellos y su ambiente usando estímulos físicos (oído, vista y tacto) o químicos (olfato y gusto). Sin duda, los compuestos químicos son fundamentales en la vida y, de manera muy importante, en la conducta reproductiva de los insectos.

Por ejemplo, la mayoría de los insectos usan compuestos para comunicarse entre individuos de su misma especie (feromonas). Existen diferentes tipos de feromonas que van desde aquellas que afectan el comportamiento de los insectos hasta otras que causan cambios fisiológicos de largo plazo (Rojas y Guerenstein, 2016).

De las primeras, hay feromonas sexuales, de alarma, de ruta y reclutamiento y de marcaje, entre otros tipos. De las segundas, se han descrito aquellas que suprimen el desarrollo ovárico de las obreras y la cría de otras reinas o aquellas que aceleran el crecimiento y sincronizan la maduración sexual. En la abeja melífera, la feromona mandibular de la reina tiene ambas funciones ya que actúa como feromona sexual, regula el comportamiento social y la armonía de la colonia, evita que las obreras críen una nueva reina para crear una nueva colonia (enjambrazón) e inhibe el desarrollo ovárico de las obreras (Rojas y Guerenstein, 2016).

Por otra parte, los insectos pueden usar compuestos volátiles (olores) y no volátiles de sus huéspedes para encontrar un recurso alimenticio o para evitar a sus enemigos.

Los compuestos que median las interacciones entre individuos de diferentes especies son conocidos como aleloquímicos. En este artículo ejemplificaremos el uso del lenguaje químico en diferentes actividades de los insectos.

Figura 1. Hembra del gusano cogollero liberando su feromona sexual (Foto Samuel Cruz-Esteban).



BUSCANDO PAREJA

Las feromonas más estudiadas en insectos son las del tipo sexual. La primera feromona sexual de un animal fue identificada en 1959 por el bioquímico alemán Adolf Butenandt, quien previamente había ganado el premio Nobel por su investigación con hormonas sexuales de humanos. El modelo de estudio fue la palomilla del gusano de la seda, que tenía la ventaja de que era criada masivamente en Asia. Para identificar la feromona se tuvieron que usar 500 mil abdómenes de hembras. La hembra de esta especie, como la mayoría de las palomillas, libera una feromona sexual para atraer al macho a copular (Figura 1).

Interesantemente, en algunas especies de palomillas la feromona es producida solamente después de que las hembras perciben los compuestos volátiles de la planta huésped.

En otros casos, los volátiles de la planta huésped sinergizan la atracción de los machos a la feromona sexual; es decir, la respuesta de los machos se incrementa en la presencia de los volátiles. En el primer caso, la posible función de la percepción de los volátiles podría ser una forma para que las palomillas aseguren el alimento de su progenie: ¿para qué aparearse si no hay alimento disponible para su progenie? En el segundo caso, los volátiles pueden facilitar la búsqueda de la pareja (Xu y Turlings, 2018). Cuando el macho se acerca a la hembra, este también puede liberar una feromona afrodisiaca de corto alcance. Esta feromona puede ser usada por las hembras para evaluar la calidad (e.g., tamaño, salud) del macho atraído antes de su aceptación. Actualmente se han identificado las feromonas sexuales de cientos de especies de palomillas y de otros 12 órdenes de insectos.

Las feromonas de agregación, las cuales son producidas por un sexo, pero atraen a ambos sexos, en ocasiones también puede tener una función secundaria de tipo sexual. Este tipo de feromonas fue primeramente documentado en los escarabajos descortezadores (Macías-Sámamo y Zuñiga, 2016). En este caso, un sexo, dependiendo de la especie, coloniza la planta huésped atraído por sus volátiles,

y una vez ahí empieza a liberar la feromona para atraer a ambos sexos que colonizan masivamente al huésped con el objetivo de debilitar sus defensas. Al estar ambos sexos en el mismo sitio se facilita el apareamiento. Cuando la densidad de descortezadores se incrementa y el alimento decrece, ellos empiezan a liberar feromonas de antiagregación para indicar a sus congéneres que el recurso se ha agotado. En otros escarabajos, tijerillas, chinches, trips, langostas, piojos de libros, pescaditos de plata y piojos, también se han encontrado feromonas de agregación, aunque su función es menos clara.

BUSCANDO ALIMENTO

La búsqueda de alimento para un animal o para su progenie es una importante tarea; el reto consiste en satisfacer las necesidades calóricas sin ser depredado. Los insectos sociales están divididos en castas, una de las cuales tiene la función de buscar alimento y una vez encontrado comunicárselo a sus compañeros de nido. Un ejemplo de esto es la danza desplegada por la forrajera de la abeja melífera que ha descubierto un recurso floral para indicarle a sus congéneres la cantidad, calidad, dirección y distancia del alimento. Este fenómeno fue descubierto por Karl von Frische, un etólogo austroalemán, quien ganó el premio Nobel por este descubrimiento.

Las forrajeras de hormigas usan feromonas de ruta y reclutamiento, junto con estímulos visuales, para dar información sobre el recurso a sus compañeros. Muchos de nosotros, particularmente los que vivimos en el trópico, hemos visto cómo las hormigas forman filas de ida y vuelta. La explicación de este comportamiento es que cuando una forrajera descubre un alimento regresa al nido poniendo una marca química en el suelo. Una vez en el nido, la obrera puede usar compuestos químicos, exhibiciones motoras (e.g., balanceo lateral de la cabeza y tórax o tamborileo antenal) y trofalaxis (intercambio de alimento) para atraer la atención de sus compañeras e incitarlas a seguir la ruta química dejada por ella (Czaczkes *et al.*, 2019). Al regresar al nido, las forrajeras colocan la marca química hasta que el recurso se agota.



Figura 2. Avispa parasitoide ovipositando sobre la hembra de la broca del café, quien a su vez esta barrenando un fruto de café (Foto Alfredo Castillo Vera).

Los insectos herbívoros usan los volátiles de las plantas para discriminar entre huéspedes y no huéspedes, los cuales pueden funcionar como atrayentes o repelentes. Una vez que aterrizan en la planta, los insectos proceden a evaluar la calidad de la planta usando metabolitos primarios (e.g., fructosa, glucosa, sorbitol) y secundarios (e.g., taninos, alcaloides, etc.), además de estímulos físicos, para aceptarla o rechazarla (Rojas, 2012). En algunos lepidópteros y dípteros, después de que la hembra oviposita pone una feromona de marcaje en el recurso para evitar que otras hembras lo usen, con lo que disminuye la competencia. En otras ocasiones, las larvas liberan compuestos que repelen a las hembras grávidas del recurso ya ocupado.

En el caso de los insectos hematófagos ocurre algo similar: a cierta distancia usan los volátiles junto con estímulos térmicos y visuales emanados por el huésped, algunos de los cuales son producidos por los microorganismos que viven con él

(Manrique *et al.*, 2023). Cuando contactan al huésped evalúan la calidad de este a través de algunos componentes emanados por la piel (e.g., lípidos, ácidos grasos) o de la sangre que pueden funcionar como fagoestimulantes (e.g., ATP, glucosa, NaCl,) o inhibidores (e.g., quinina, cafeína).

Los insectos carnívoros (*i.e.*, depredadores y parasitoides) pueden usar los volátiles de plantas de su huésped, la feromona de su huésped o los volátiles de plantas inducidos por la herbívora (Figura 2). Sin embargo, hay que considerar que, si bien los volátiles de las plantas son más detectables por su mayor biomasa, esto no significa que el huésped se encuentre en la planta; es decir, no es una señal confiable. En contraste, las feromonas son menos detectables, pero son estímulos más confiables. Así, la mejor solución para los insectos carnívoros es que usen los volátiles inducidos por herbivoría, ya que son detectables y confiables. No obstante, existe controversia acerca de si la función primaria de estos volátiles es reclutar a los enemigos de los insectos herbívoros, particularmente porque en ocasiones hay un conflicto de interés entre el primer y el tercer nivel trófico. Por ejemplo, algunos estudios han documentado que las larvas parasitadas comen más o que las defensas de las plantas pueden afectar a los insectos carnívoros. Además, se ha descubierto que estos compuestos son liberados por las plantas cuando son sometidas a estrés hídrico o calórico, por lo que algunos investigadores sugieren que esta podría ser la función primaria de los llamados volátiles inducidos por herbivoría.

ALERTANDO SOBRE LA PRESENCIA DE ENEMIGOS

En insectos que viven agregados o en sociedad, cuando un depredador ataca al grupo, inmediatamente alguno de ellos libera una señal de alarma para alertar a sus congéneres del peligro (Rojas y Guerenstein, 2016). El significado evolutivo de las feromonas de alarma es difícil de explicar; ¿por qué un insecto debería de alertar a sus conespecíficos

poniendo en riesgo su propia vida? Los beneficios de emitir una señal de alarma tendrían sentido en el caso de grupos de individuos que son genéticamente relacionados (parientes) o idénticos (clones), como es el caso de las abejas, hormigas o pulgones. Pero la emisión de señales de alarma en individuos no relacionados genéticamente es más difícil de explicar. Existen dos estrategias para el uso de feromonas de alarma por los insectos. En la primera, cuando el insecto (e.g., pulgones, chinches) detecta al depredador, libera la feromona y sus compañeros se alejan o se tiran al suelo, evitando ser depredados. La segunda estrategia es activa y el insecto (e.g., abejas, avispas), al percibir al depredador, libera la feromona de alarma para reclutar a sus compañeros con el fin de atacarlo, y después del ataque replegarse. Una importante característica para poder clasificar a un compuesto como una feromona de alarma es que este pueda ser percibido por sus congéneres, si no es el caso, entonces el compuesto tiene una función defensiva. Además de los pulgones, chinches, avispas y abejas, también se ha reportado que las termitas, trips y escarabajos producen feromonas de alarma.

OLIENDO AL ENEMIGO

Hipotéticamente, los insectos deben de poder detectar a sus enemigos a fin de evitarlos, pero existen pocos estudios al respecto. Las moscas efímeras o de mayo (Ephemeroptera), que en su estado larvario son acuáticas, perciben la presencia de su depredador y restringen su forrajeo para evitar ser comidas, lo cual tiene un efecto positivo en la biomasa de su alimento (algas). Los olores de una chinche depredadora causan que el escarabajo de la papa de Colorado reduzca su alimentación. Los dos casos de arriba son ejemplos de interacciones indirectas mediadas por volátiles. Recientes estudios de laboratorio han documentado que los picudos de la palma son repelidos por los volátiles liberados por hongos y nematodos entomopatógenos. Las hembras de palomillas prefieren ovipositar en plantas de menor calidad que en las de mayor calidad (e.g., más nutritivas, menos defensas),



Figura 3. Trampa con un liberador de la feromona sintética para monitorear al picudo del agave (Foto Héctor Hernández González).

si parasitoides están presentes en estas últimas. Sin embargo, no se conoce cuál es el estímulo que usan las palomillas para evaluar el riesgo.

EL CÓDIGO DESCIFRADO POR SUS ENEMIGOS

Una vez que los insectos o cualquier otro organismo libera sus volátiles al ambiente ya no puede controlar quién puede usarlos. Por ejemplo, los parasitoides de huevos usan feromonas sexuales, de agregación o antiafrodisiacas de sus huéspedes para localizarlos (Fatouros *et al.*, 2008). En este último caso, los machos de algunas palomillas y chinches transfieren un compuesto químico a las hembras durante el apareamiento a fin de hacerlas no atractivas a los machos rivales y así proteger su inversión genética. Sin embargo, los parasitoides han descifrado esta información química de sus huéspedes y la usan para localizar a las hembras grávidas, que al poner sus huevos son parasitados.

En otros casos, el uso indebido de la información química del huésped es todavía más sofisticada (Vereecken y McNeil, 2010). Algunas de las especies de los escarabajos ampolladores (Meloidae) son parásitos de abejas solitarias. Las larvas recién eclosionadas o de primer estadio (triangulinos) de los escarabajos mimetizan la feromona sexual de las abejas, la cual es producida por las hembras. Así, las hembras de los escarabajos colocan los triangulinos en la parte superior de plantas; una vez ahí,

empiezan a liberar la feromona, que al ser percibida por los machos de las abejas son atraídos y contactan a los triangulinos, los cuales se suben al macho. Eventualmente, el macho de abeja encuentra una hembra y se aparea con ella. Durante el apareamiento, los triangulinos se pasan a la hembra, quien eventualmente los introduce a su nido.

La mayoría de las especies de las mariposas de la familia Lycaenidae son herbívoras; sin embargo, algunas especies tienen un mutualismo con hormigas. Las larvas de las mariposas ofrecen alimento a las hormigas a cambio de protección. En algunos casos, sin embargo, las mariposas se convierten en parásitos de las hormigas. En este caso, las mariposas ponen sus huevos en plantas específicas y los primeros tres estadios larvales se alimentan de estas. Al llegar al cuarto estadio, las larvas se tiran al suelo y son recogidas por las hormigas e introducidas al nido. Las larvas mimetizan el olor de las larvas de las hormigas y así pueden entrar al nido sin ser atacadas. La mayoría de las especies parásitas de Lycaenidae son depredadoras y se alimentan de la colonia a su ingreso. Sin embargo, algunas especies permanecen en el nido y son cuidadas y alimentadas por las hormigas hasta su etapa adulta. Estas especies *cuckoo*, además del mimetismo químico, han desarrollado la habilidad de emitir sonidos similares a los de las larvas de las hormigas.



© Héctor Salazar. Ciudad.
100 x 150 cm, mix media, stencil, acrylic on canvas, 2019.

APLICACIÓN PRÁCTICA

Descifrar el lenguaje químico de insectos nocivos nos permite usar los compuestos para su manejo (Figura 3). Las feromonas pueden ser usadas en cuatro estrategias de manejo: monitoreo/detección, trapeo masivo, atracción-aniquilación e interrupción del apareamiento (Rojas *et al.*, 2008). Los volátiles vegetales se pueden usar para monitoreo/detección y trapeo masivo de las plagas. Las feromonas y los volátiles del huésped (atrayentes) y no huésped (repelentes) pueden ser usados para diseñar un sistema de repulsión/atracción para insectos de importancia agrícola, médica o veterinaria.

En resumen, la comunicación química juega un papel fundamental en muchos aspectos de la vida de los insectos, incluyendo la localización de alimento y parejas y la detección de competidores y enemigos naturales. Desde el punto de vista práctico, descifrar el lenguaje químico de los insectos nos permite desarrollar estrategias para el manejo de insectos nocivos y benéficos.

REFERENCIAS

- Czaczkes TJ, Beckwith JJ, Horsch AL and Hartig F (2019). The multi-dimensional nature of information drives prioritization of private over social information in ants. *Proceedings of the Royal Society B* 286 (1909):20191136.
- Fatouros NE, Dicke M, Mumm R, Meiners T and Hilker M (2008). Foraging behavior of egg parasitoids exploiting chemical information. *Behavioral Ecology* 19(3):677-689.
- Jankielsohn A (2018). The importance of insects in agricultural ecosystems. *Advances in Entomology* 6(2):62-73.
- Macías-Sámamo JE y Zuñiga G (2016). Conocimiento y uso de los semioquímicos que median las interacciones entre insectos descor-tezadores y sus hospederos las coníferas, pp 531-559. En: Anaya AL, Espinosa-García FJ y Reigosa-Roger MJ (eds), *Ecología Química y Alelopatía: Avances y Perspectivas*. Plaza y Valdés S. A. de C. V.
- Manrique G, Rojas JC, Figueiras ANL, Barrozo RB and Guerenstein PG (2023) Highlights, challenges, and perspectives in basic and applied chemical ecology of triatomines. *Current Opinion in Insect Science* 59:101101.
- Rojas, JC, Malo EA and Macías-Sámamo JE (2008) Uso de semioquímicos en el manejo de insectos plaga, pp 167-183. En: Toledo J y F Infante (eds), *Manejo Integrado de Plagas*. Editorial Trillas S. A. de C. V.
- Rojas JC (2012). El papel del estímulo químico durante la búsqueda de hospederos por lepidopteros herbívoros, pp. 287-314. En Rojas JC y Malo EA (eds), *Temas selectos en ecología química de insectos*. El Colegio de la Frontera Sur, Tapachula, Chiapas.
- Rojas JC y Guerenstein P (2016). Comunicación animal por feromonas: Aspectos básicos y aplicados, pp 425-470. En: Anaya AL, Espinosa-García FJ y Reigosa-Roger MJ (eds), *Ecología química y alelopatía: Avances y perspectivas*. Plaza y Valdés S. A. de C. V.
- Vereecken NJ and McNeil JN (2010) Cheaters and liars: chemical mimicry at its finest. *Canadian Journal of Zoology* 88(7):725-752.
- Xu H and Turlings TC (2018). Plant volatiles as mate-finding cues for insects. *Trends in Plant Science* 23(2):100-111.

Julio C. Rojas
Departamento de Ecología de Artrópodos
y Manejo de Plagas
El Colegio de la Frontera Sur
jrojas@ecosur.mx